

Universidad Austral de Chile

Facultad de Ciencias

**PROGRAMA DE MONITOREO AMBIENTAL
ACTUALIZADO DEL HUMEDAL DEL RÍO CRUCES Y SUS
RÍOS TRIBUTARIOS**

PM / HRC

**INFORME ANUAL CORRESPONDIENTE AL PERIODO
ABRIL 2016 - MARZO 2017**

MARZO 2017

Dirección · Campus Isla Teja · Valdivia · Chile

Casilla 567 · Fono: 56 63 221347 / email: fciencia@uach.cl · www.uach.cl

ÍNDICE

	Página
1. INTRODUCCIÓN	1
2. OBJETIVOS	7
3. ANÁLISIS DE DATOS AMBIENTALES DE LARGO PLAZO	8
3.1. Antecedentes climáticos del área de estudio	8
3.2. Objetivos	8
3.3. Material y métodos	9
3.3.1. Recopilación de datos históricos	9
3.3.2. Análisis de temperatura mínima del aire, precipitaciones, caudal hídrico y del espejo de agua	9
3.4. Resultados	12
3.4.1. Temperatura mínima del aire	12
3.4.2. Precipitaciones	16
3.4.3. Caudal hídrico del río Cruces	24
3.4.4. Nivel del espejo de agua	28
3.5. Conclusiones	33
3.6. Referencias	34
4. COMPONENTES DEL PROGRAMA	36
4.1. COMPONENTES ABIÓTICOS	36
4.1.1. CALIDAD DEL AGUA	36
4.1.1.1. Objetivos	36
4.1.1.2. Material y métodos	37
4.1.1.3. Resultados	43
4.1.1.4. Análisis comparativos en relación a la calidad de agua	175
4.1.1.5. Conclusiones	186
4.1.2. CALIDAD DEL SEDIMENTO	189
4.1.2.1. Objetivos	189
4.1.2.2. Material y métodos	189
4.1.2.3. Resultados	192
4.1.2.4. Análisis comparativos en relación a la calidad de sedimento	237
4.1.2.5. Conclusiones	250
4.1.2.6. Referencias	251

4.1.3. ANALISIS DEL FLUJO DE MATERIAL SUSPENDIDO EN UN CANAL DEL ESTUARIO DEL RÍO CRUCES, SECTOR PUNUCAPA	252
4.1.3.1. Antecedentes	252
4.1.3.2. Objetivos	255
4.1.3.3. Material y métodos	255
4.1.3.4. Resultados	259
4.1.3.5. Conclusiones	267
4.1.3.6. Referencias	268
4.1.4. PLANICIES SEDIMENTARIAS INTERMAREALES	271
4.1.4.1. Antecedentes	271
4.1.4.2. Objetivos	272
4.1.4.3. Material y métodos	272
4.1.4.4. Resultados	276
4.1.4.5. Conclusiones	297
4.1.4.6. Referencias	297
4.2. COMPONENTES BIOLÓGICOS	299
4.2.1. MACRÓFITAS ACUÁTICAS	299
4.2.1.1. Análisis espacio-temporal de la calidad del agua y cobertura de macrófitas acuáticas mediante sensores remotos	299
4.2.1.1.1. Antecedentes	299
4.2.1.1.2. Objetivos	300
4.2.1.1.3. Material y métodos	301
4.2.1.1.4. Resultados	313
4.2.1.1.5. Conclusiones	346
4.2.1.1.6. Referencias	348
4.2.2. MACROINFAUNA DE FONDOS SEDIMENTARIOS	350
4.2.2.1. Antecedentes	350
4.2.2.2. Objetivos	351
4.2.2.3. Material y métodos	351
4.2.2.4. Resultados	356
4.2.2.5. Conclusiones	412
4.2.2.6. Referencias	413
4.2.3. MACROFAUNA DE FONDOS RITRALES	415
4.2.3.1. Antecedentes	415
4.2.3.2. Objetivos	416
4.2.3.3. Material y métodos	416
4.2.3.4. Resultados	420

4.2.3.5. Conclusiones	435
4.2.3.6. Referencias	436
4.2.4. FAUNA DE CAMARONES	438
4.2.4.1. Antecedentes	438
4.2.4.2. Objetivos	439
4.2.4.3. Material y métodos	440
4.2.4.4. Resultados	444
4.2.4.5. Conclusiones	480
4.2.4.6. Referencias	482
4.2.5. ICTIOFAUNA	483
4.2.5.1. Antecedentes	483
4.2.5.2. Objetivos	486
4.2.5.3. Material y métodos	487
4.2.5.4. Resultados	493
4.2.5.4.1. Estudios comunitarios y poblacionales	493
4.2.5.4.2. Elementos y compuestos químicos en <i>Galaxias maculatus</i>	514
4.2.5.4.3. Estado sanitario y análisis histopatológicos	529
4.2.5.5. Conclusiones	544
4.2.5.6. Referencias	546
4.2.6. HERPETOFAUNA	550
4.2.6.1. Antecedentes	550
4.2.6.2. Objetivos	551
4.2.6.3. Material y métodos	552
4.2.6.4. Resultados	556
4.2.6.5. Conclusiones	566
4.2.6.6. Referencias	567
4.2.7. AVIFAUNA	576
4.2.7.1. Análisis comunitarios y poblacionales de la avifauna acuática	576
4.2.7.1.1. Antecedentes	576
4.2.7.1.2. Objetivos	576
4.2.7.1.3. Material y métodos	576
4.2.7.1.4. Resultados	582
4.2.7.1.5. Conclusiones	609
4.2.7.2. Composición de la comunidad, condición corporal y eficacia biológica de la avifauna de las riberas	610
4.2.7.2.1. Antecedentes	610

4.2.7.2.2. Objetivos	611
4.2.7.2.3. Material y métodos	612
4.2.7.2.4. Resultados	617
4.2.7.2.5. Conclusiones	627
4.2.7.2.6. Referencias	628
4.2.7.3. Elementos y compuestos químicos en Garza blanca (<i>Ardea alba</i>)	629
4.2.7.3.1. Antecedentes	629
4.2.7.3.2. Objetivos	630
4.2.7.3.3. Material y métodos	630
4.2.7.3.4. Resultados	632
4.2.7.3.5. Conclusiones	658
4.2.8. MAMIFEROS ACUATICOS	660
4.2.8.1. Antecedentes	660
4.2.8.2. Objetivos	660
4.2.8.3. Material y métodos	661
4.2.8.4. Resultados	663
4.2.8.5. Conclusiones	674
4.2.8.6. Referencias	674
4.3. ANÁLISIS COMPARATIVOS DE DATOS OBTENIDOS EN PROGRAMAS DE DIAGNÓSTICO Y MONITOREO CON ESTUDIOS PREVIOS DE RIESGO ECOLÓGICO	675
4.3.1. Antecedentes	675
4.3.2. Objetivos	676
4.3.3. Material y métodos	676
4.3.4. Resultados	678
4.3.5. Discusión	691
4.3.6. Conclusiones	691
4.3.7. Referencias	692
4.4. CAMBIOS DE USO DEL SUELO	693
4.4.1. Antecedentes	693
4.4.2. Objetivos	693
4.4.3. Material y métodos	694
4.4.4. Resultados	697
4.4.5. Conclusiones	720
4.5. CONOCIMIENTO ECOLÓGICO LOCAL	721
4.5.1. Antecedentes	721

4.5.2. Objetivos	722
4.5.3. Material y métodos	723
4.5.4. Resultados	731
4.5.5. Recomendaciones tendientes a implementar Programas de Ciencia Participativa	801
4.5.6. Conclusiones	802
4.5.7. Referencias	804
5. AMENZAS	806
6. SINTESIS FINAL Y ALCANCES	808
7. EQUIPO DE TRABAJO	826

1. INTRODUCCIÓN

Durante el periodo invierno - primavera del año 2004, ocurrieron en el humedal del río Cruces (en adelante HRC) y sus ríos tributarios (Fig. 1) cambios ambientales significativos, incluyendo entre otros la mortandad por causas desconocidas y emigración de la población del Cisne de cuello negro (*Cygnus melancoryphus*) y la reducción significativa en la cobertura de la macrófita acuática Luchecillo (*Egeria densa*), planta que, hasta antes del año 2004 era la fuente primaria de alimento de los cisnes en este humedal.

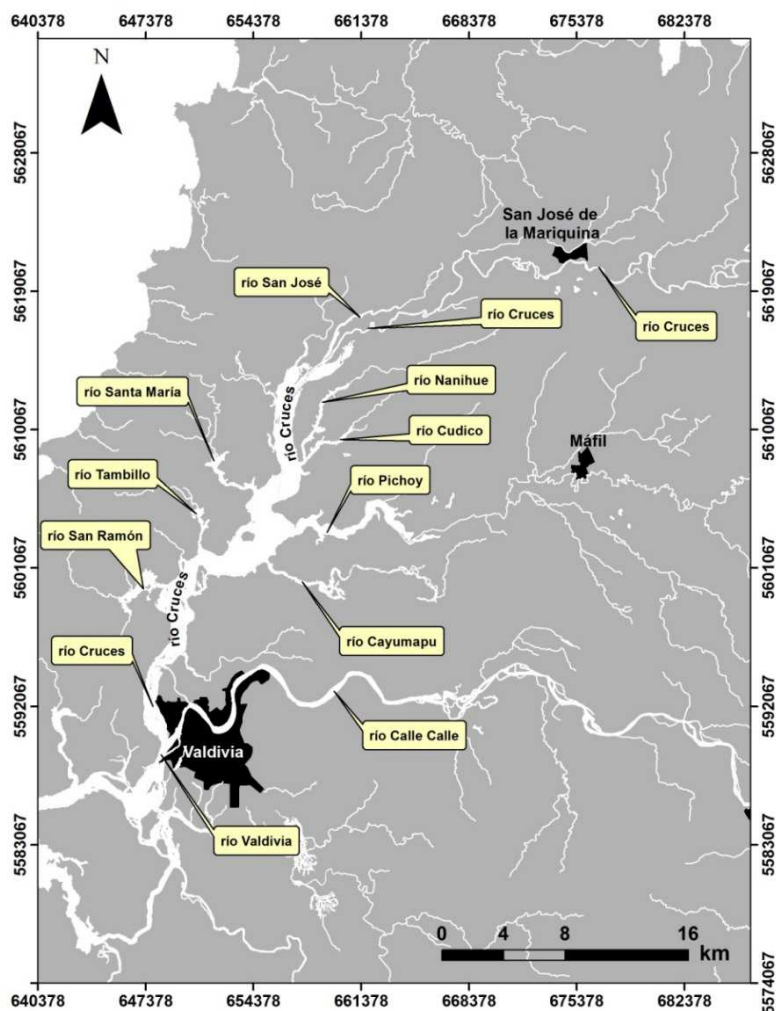


Figura 1. Ubicación del humedal del río Cruces (HRC) y los ríos tributarios de mayor importancia por su volumen hídrico.

Como consecuencia de lo anterior y en base a resultados de estudios realizados por la Universidad Austral de Chile, el Consejo de Defensa del Estado inició un juicio en contra de Celulosa Arauco y Constitución, cuya planta Valdivia fue sindicada como la responsable de los cambios ambientales anteriormente mencionados.

Con fecha 27 de julio de 2013, y como resultado del proceso judicial, la Jueza del Primer Juzgado Civil de Valdivia, Doña Gloria Hidalgo dictó sentencia en contra de Arauco indicando entre otras, la implementación de una serie de medidas entre las que se encuentra la de ***“Realizar un programa de monitoreo medio ambiental por parte de la empresa demandada, constante y por un período no inferior a cinco años, el que deberá efectuarse de acuerdo a las condiciones de calificación ambiental establecidas en la RCA 279/98 y sus modificaciones posteriores, por los organismos competentes, sin perjuicio de lo que éstos ordenen o hayan ordenado”***.

Por otra parte, Arauco en acuerdo con el Consejo de Defensa del Estado (CDE) conformó el 26 de noviembre del 2013 un Consejo Científico Social (en adelante CCS), cuyo objetivo fue realizar sugerencias y orientaciones a las medidas dictadas por la sentencia judicial anteriormente señalada.

Como ya se mencionó, una de estas medidas corresponde a la realización de un monitoreo medio ambiental del HRC y para lo cual el CCS encargó a la Facultad de Ciencias de la Universidad Austral de Chile (UACH), el diseño de una propuesta para dar cumplimiento a esta parte de la sentencia, considerando una serie de orientaciones para el diseño de ese monitoreo (ver Tabla siguiente).

ORIENTACIONES GENERALES PARA EL MONITOREO (medida 3)

TEMA	DEFINICIÓN
Área de estudio	<ul style="list-style-type: none"> Río + Santuario + Estuario (incluyendo los tributarios o afluentes. Importante acotar la cuenca a la zona de interacción).
Objetivos	<ul style="list-style-type: none"> Aportar información de calidad de manera sistemática, capaz de identificar efectos agudos y crónicos, que contribuya a la preservación y restauración del humedal.
Componentes (incluyendo las interacciones entre ellos)	<ul style="list-style-type: none"> Calidad del agua Calidad de sedimentos Estado de Fauna Estado de Flora
Metodología	<ul style="list-style-type: none"> Diseñar con metodologías propias del estado del arte, reconocidas y actualizadas. Considerar laboratorios acreditados. Considerar la metodología de Evaluación de Riesgos. Considerar todos los estudios diagnósticos y otros informes de monitoreo existentes para el ecosistema (UACH, CONAF, DGA, Gobernación marítima, SISS, Monitoreo RCA Planta de Celulosa, Norma Secundaria Calidad Ambiental, entre otros). Considerar la participación de la comunidad y su conocimiento ecológico local en el diseño y la implementación del monitoreo. Considerar el Diagnóstico como referencia para el diseño del sistema de monitoreo. Considerar algún procedimiento de re-diseño del monitoreo (diseño adaptativo) en función de los resultados del diagnóstico inicial y del monitoreo en el tiempo.
Usos de la información obtenida por el monitoreo	<ul style="list-style-type: none"> El monitoreo debe tener instancias de evaluación de los datos y de difusión pública de los resultados. Se espera que sus conclusiones puedan, además de describir el estado del humedal, proponer cursos de acción que contribuyan al objetivo de preservar y restaurar. La información del monitoreo (datos e interpretación de ellos) será entregada al "Centro de Investigación de Humedales" y será de carácter pública.
Entidad Técnica	<ul style="list-style-type: none"> Facultad de Ciencias de la Universidad Austral de Chile. Se

responsable del Pre-Diseño	sugiere que la Facultad considere la incorporación de otros actores como complemento en su propuesta de pre-diseño.
----------------------------	---

En base a las orientaciones indicadas en la Tabla anterior, la Facultad de Ciencias de la UCh, en conjunto con investigadores de la Universidad de Concepción y la Universidad Santo Tomás, sede Santiago, preparó una propuesta preliminar de Programa de Monitoreo Ambiental a ejecutarse en un plazo de cinco años (2015-2019) y que fue aceptada en marzo del año 2014 por el CCS. Sin embargo, en esa propuesta se mencionaba lo siguiente:

“No obstante lo anterior, es necesario señalar que el programa de monitoreo que aquí se propone, deberá ser revisado y re-evaluado acorde los resultados del Programa de Diagnóstico sugerido para el mismo humedal. Acorde a tal revisión, podría ser el caso por ejemplo, que el tipo de variable a analizar y el número de estaciones a muestrear aquí sugerido tenga modificaciones. Podría ser también, que haya que agregar aspectos no incluidos en las variables que se indican en la Tabla 1”.

Los resultados obtenidos del Programa de Diagnóstico Ambiental llevaron al equipo de trabajo del Programa de Monitoreo a actualizar ese Programa preliminar y transformarlo en el Programa Actualizado de Monitoreo. Entre los aspectos que se actualizaron (*i.e.*, no incluidos en la propuesta original de marzo 2014) destacan los siguientes:

- El estudio de las macrófitas o plantas acuáticas llevado a cabo durante el Programa de Diagnóstico Ambiental, evidenció la presencia en el humedal del río Cruces y sus ríos tributarios, de la planta nativa de vastas regiones de América del Sur *Sagittaria montevidensis* o Flecha de agua. En muchos de estos lugares, esta planta es dominante y ha ocupado vastas áreas donde originalmente se encontraba el Luchecillo, planta que era consumida preferentemente por aves herbívoras en el humedal, tales como cisnes y taguas. Queda la duda si la Flecha de

agua cumplirá o no un rol como alimento relevante para esas aves herbívoras del humedal; por lo tanto fue necesario incluir, como parte del mismo, el monitoreo de la distribución y expansión de *S. montevidensis* y su eventual efecto sobre otras macrófitas acuáticas en el área.

- La variedad de macrófitas acuáticas en las riberas del área de estudio es tal, que fue necesario aumentar la frecuencia de muestreos periódicos a fin de evaluar eventuales cambios en la riqueza de especies y distribución espacial de esas plantas. Se hizo necesario también aumentar la cobertura del área a monitorear para este componente biológico, aspecto del cual se hace cargo este Programa Actualizado de Monitoreo. Además de agregarse muestreos periódicos en todas las riberas del área de estudio, se aumenta el número de sitios fijos de muestreo estacional.

- Durante el desarrollo del Programa de Diagnóstico Ambiental, se observó un aumento en la cobertura espacial y elevación sobre el espejo de agua de planicies sedimentarias en riberas de diferentes áreas del humedal. En principio, esto podría ser el resultado de una combinación de factores incluyendo incremento en procesos de sedimentación producto de lavado de las cuencas aledañas al humedal y levantamiento tectónico continental. El aumento en la cobertura de tales planicies podría resultar en una disminución del espejo de agua, resultando en un detrimento negativo para las macrófitas acuáticas de las zonas someras del humedal y que son el alimento de las aves herbívoras del humedal. De ahí que fue incluido el monitoreo estacional de este fenómeno geomorfológico en el Programa Actualizado de Monitoreo.

- Análisis de Dioxinas y Furanos realizados en Inglaterra durante el Programa de Diagnóstico Ambiental, mostraron la presencia de estos compuestos en muestras de músculos en cuatro garzas (*Ardea alba* o Garza blanca grande) analizadas

durante marzo del año 2015. Debido a esto, se incluyó en el Programa de Monitoreo Actualizado, el estudio anual de elementos y compuestos químicos en *Ardea alba*.

Nota: lo anterior resalta la importancia del concepto de Monitoreo Adaptativo, es decir un monitoreo que se va actualizando, acorde por ejemplo a la aparición de fenómenos no observados al comienzo del mismo o a la variabilidad espacio – temporal de variables físicas y/o biológicas que van más allá de lo que hasta ese momento se conoce. Debido a lo anterior, se evaluarán continuamente los resultados del presente Programa de Monitoreo, a fin de analizar la eventual necesidad de realizar cambios o modificaciones tendientes a captar el tipo de variabilidad anteriormente mencionada.

las modificaciones anteriormente señaladas se dio inicio durante abril del año 2015 al primer año del Programa de Monitoreo Ambiental del HRC.

2. OBJETIVOS

Los objetivos del Programa de Monitoreo Ambiental del HRC son:

- Evaluar la variabilidad espacio - temporal del componente abiótico y biótico que dé cuenta del estado actual del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios.
- Integrar los resultados de este programa de monitoreo con los de otros programas en ejecución en el área de estudio y cuya modalidad de recolección de datos y análisis, sean similares a los de este programa.
- Integrar el conocimiento ecológico local con los estudios de los componentes abióticos y bióticos del medio acuático, a fin de integrar diferentes actores en el seguimiento del estado ambiental del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios.

3. ANALISIS DE DATOS AMBIENTALES DE LARGO PLAZO

3.1. Antecedentes climáticos del área de estudio

La zona de Valdivia posee un clima templado lluvioso con influencia mediterránea; según Köppen en Koepppe & de Long (1958) del tipo Cfb (C=clima templado, f=húmedo, b=mes más cálido inferior a 20°C). Las precipitaciones fluctúan entre 1.300 y 3.500 mm al año (datos 1900 – 2016, presente estudio), con importantes fluctuaciones interanuales originadas por el paso de sistemas frontales sobre la zona (Dirección Meteorológica de Chile, www.meteochile.cl). Durante los meses de mayo a agosto se concentra entre el 60 al 70% de las precipitaciones anuales, siendo junio y julio los meses más lluviosos cuando las precipitaciones pueden superar incluso los 400 mm de agua caída. Los meses más secos son enero y febrero con precipitaciones inferiores a 60 mm. Para la zona de Valdivia, se han registrado eventos máximos diarios superiores a 150 mm (Huber 1970) y, también ha indicado una tendencia de disminución de largo plazo de las precipitaciones (Rusticucci & Penalba 2000, Quintana & Aceituno 2012, González-Reyes & Muñoz 2013). Debido a la alta pluviosidad de la zona, la humedad relativa promedio anual es cercana al 80% (Dirección Meteorológica de Chile), aun cuando durante los meses de invierno esta puede superar el 90%.

La temperatura promedio anual del aire bordea los 12°C. La oscilación promedio entre el mes más cálido y el más frío, es de aproximadamente 10°C. Enero y julio son los meses más cálidos y fríos respectivamente, con temperaturas promedio cercanas a los 17 y 7°C, respectivamente (Huber 1970). La temperatura máxima absoluta del aire es cercana a 35°C y la mínima a -4°C. Las heladas que se registran en la zona, se producen principalmente durante noches despejadas de los meses de invierno.

3.2. Objetivos

- Actualizar la información existente relacionada a las características climáticas, hidrológicas y ambientales del área donde se inserta el humedal del río Cruces (HRC) y sus ríos tributarios a diciembre del año 2016.
- Identificar eventuales tendencias de largo plazo en esas características.

3.3. Material y métodos

3.3.1. Recopilación de datos históricos

En este Capítulo se analizan datos históricos relacionados a climatología (precipitaciones y temperatura mínima del aire) e hidrología (nivel del espejo de agua y caudal hídrico del río Cruces), en el área donde se ubica el humedal del río Cruces y sus ríos tributarios. Estos análisis incorporan los últimos cincuenta y siete años.

Este capítulo incluye también un análisis comparativo de la variabilidad temporal de las precipitaciones, con la altura del espejo de agua y el caudal del río Cruces en Rucaco durante el período 1970-2016.

La Tabla 3.1 muestra los tipos de datos ambientales recopilados y sistematizados, así como la identificación de las fuentes de origen de los mismos.

3.3.2. Análisis de temperatura mínima del aire, precipitaciones, caudal hídrico y nivel del espejo de agua

Se analizó el registro histórico diario de la temperatura del aire (°C) y precipitaciones (mm) de la UACH entre 1960 y 2016. Desde 1960 a 2010 los datos provienen de la estación meteorológica del ex - Instituto de Geociencias ubicado en el campus Isla Teja, a partir el 1 de enero al 10 de octubre de 2011 desde la estación meteorológica ubicada en el Fundo Santa Rosa ($39^{\circ}47'18.28''S$ y $73^{\circ}14'4.97''W$). Los datos de caudales hídricos y altura del espejo de agua cubren el período 1970-2016 y 2000 - 2016, respectivamente, y provienen de la Dirección General de Aguas (DGA), específicamente de la estación hidrológica localizada en el río Cruces, sector Rucaco.

Tabla 3.1. Catastro de fuentes de datos para realizar los análisis meteorológicos e hidrográficos. UACH: Universidad Austral de Chile, METEOCHILE: Dirección Meteorológica de Chile y DGA: Dirección General de Aguas.

tema	parámetro	fuente	estación	período	
				inicio	fin
Meteorología e hidrografía	Precipitaciones	UACH	Campus Isla Teja	1 ene 1960	31 dic 2010
			Fundo Santa Rosa	1 ene 2011	31 dic 2016
		METEOCHILE	Aeropuerto Pichoy	1 oct 2011	31 dic 2016
	Temperatura del aire	UACH	Campus Isla Teja	1 ene 1960	31 dic 2016
	Caudal río Cruces	DGA	Rucaco	1 ene 1969	31 dic 2016
	Nivel de agua	DGA	Rucaco	1 ene 2000	31 dic 2016

Los análisis se realizaron en R Core Team (2014). Para el caso específico de las series de tiempo se usaron las funciones *ts()*, *filter()* y *stl()* de la librería *stats*. La función *ts()* permite crear el objeto de la clase serie de tiempo; la función *filter()* se usó para realizar alisados de las series mediante promedios móviles, y la función *stl()*, se usó para descomponer aditivamente las series mediante una regresión polinómica local (Loess). Loess es uno de varios métodos modernos de construcción de modelos basados en los clásicos, como la regresión lineal y regresión no lineal. Este método se basa en el cálculo de aproximaciones locales para cada uno de los datos de entrada x_t . Dichas aproximaciones son polinomios de grado muy bajo (un grado 2 suele ser más que suficiente) ajustados mediante mínimos cuadrados, y que sólo tienen en cuenta de forma ponderada los k datos más cercanos al dato x_t en que se calculan.

La descomposición aditiva de una serie de tiempo, se expresa de la siguiente forma:

$$x_t = T_t + S_t + \varepsilon_t$$

Donde, x_t es el valor observado, T_t es la tendencia y representa un movimiento suave a lo largo del tiempo que puede ser constante o variable, S_t es la estacionalidad y se supone una oscilación dependiente de la estación y, ε_t corresponde a un ruido blanco compuesto por variaciones aleatorias no explicadas por los componentes de tendencia y estacionalidad.

Para analizar la tendencia de la serie de datos observados como de las anomalías estandarizadas de la componente de tendencia (T_t) originada desde la descomposición aditiva de la serie se usó la prueba de Mann-Kendall (Mann 1945, Kendall 1970).

Las anomalías estandarizadas (z_t) corresponden a desviaciones con respecto a la media (\bar{x}), escaladas por la desviación estándar (sd_{x_t}) de las observaciones (x_t).

$$z_t = \frac{x_t - \bar{x}}{sd_{x_t}}$$

La finalidad de esta transformación fue remover la influencia de la posición y de la dispersión del conjunto de datos.

3.4. Resultados

3.4.1. Temperatura mínima del aire

Datos

La serie diaria de temperaturas mínimas del aire comprende desde 1960 a 2016, pero es discontinua en los siguientes tramos: 1 agosto al 3 de septiembre de 1972, 1 de febrero al 18 de mayo, 12 de octubre al 31 de diciembre de 2011, 25 de febrero al 10 de abril, 17 julio al 31 de julio y 1 noviembre al 1 de diciembre del año 2014.

Los tramos de datos faltantes de la serie se completaron usando una distribución uniforme ($U(a,b)$) con el objeto de no tener vacíos en la serie mensual. El supuesto subyacente es que el valor faltante se encuentra entre los valores ocurridos el mismo día-mes del año anterior (a) y el mismo día-mes del año siguiente (b).

Variabilidad histórica mensual

Las temperaturas mínimas mensuales muestran el patrón típico estacional de la zona valdiviana. Durante la época estival (diciembre, enero y febrero) la media de la temperatura mínima del aire se ubica sobre los 10 °C. A partir de marzo se observa una disminución sostenida hasta el mes de julio, cuando alcanza su menor valor. A partir de agosto las temperaturas mínimas mensuales comienzan a ascender hasta ubicarse en diciembre por sobre el nivel de los 10 °C (Fig. 3.1).

Descomposición de la serie mensual

La descomposición aditiva de la serie mensual de temperaturas mínimas del aire mediante Loess (Local polynomial regression fitting), muestra claramente la componente estacional típica de la zona valdiviana y una tendencia no definida (Fig. 3.2).

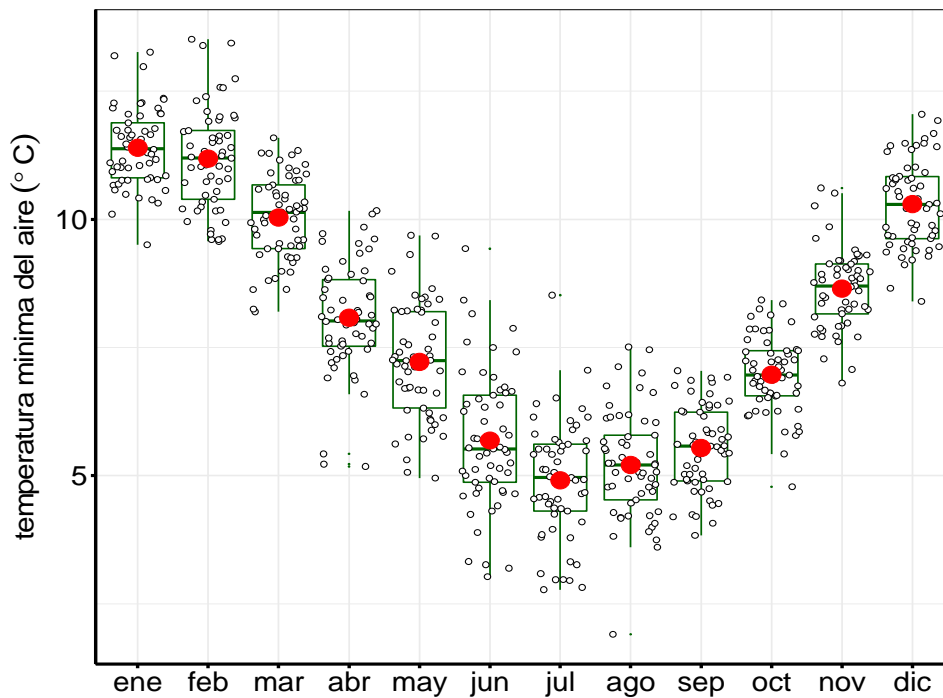


Figura 3.1. Patrón estacional de las temperaturas mínimas del aire en Valdivia. Los círculos negros con fondo blanco indican los promedios mensuales desde enero de 1960 a diciembre del año 2016; los puntos de color rojo indican el valor promedio de todos los valores mensuales.

Sin embargo, la componente tendencia (trend) de la serie presenta períodos con temperaturas altas y otros donde predominan temperaturas menores (Fig. 3.3 A). El análisis de la componente de tendencia mediante un modelo lineal, (Fig. 3.3 A), señala una tendencia suave de largo plazo ($p\text{-value} = 0.0484$). La prueba de Mann-Kendall sobre las anomalías estandarizadas indica que no existe suficiente evidencia para rechazar la hipótesis de no tendencia ($\tau = -0.00259$ $p\text{-value} = 0.9193$), de modo que las variaciones observadas en la temperatura mínima mensual en el periodo 1960 a 2016 fueron de carácter aleatorio (Fig. 3.3 B).

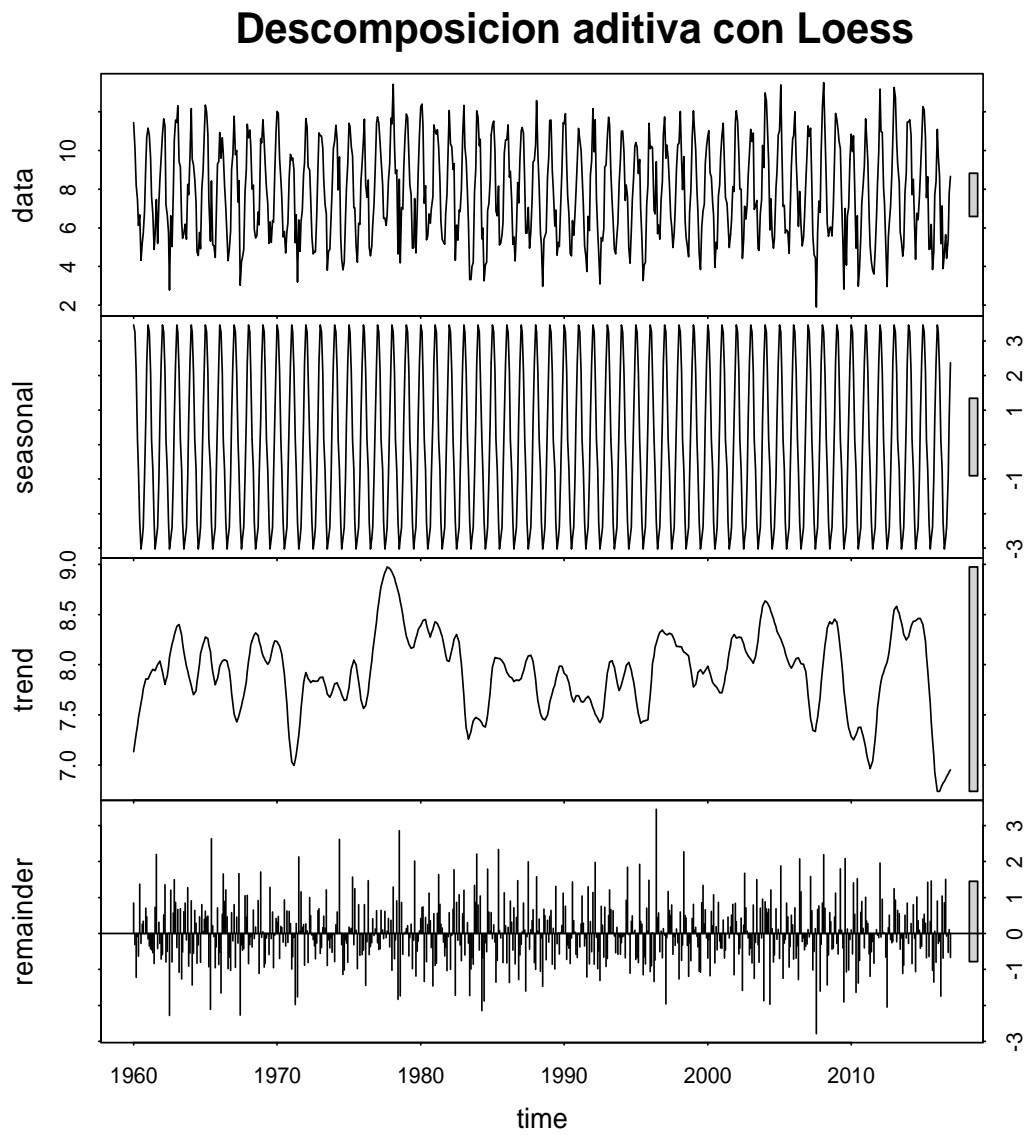


Figura 3.2. Descomposición aditiva con Loess de la serie de temperaturas mínimas mensuales de la zona de Valdivia, desde enero de 1960 a diciembre de 2016.

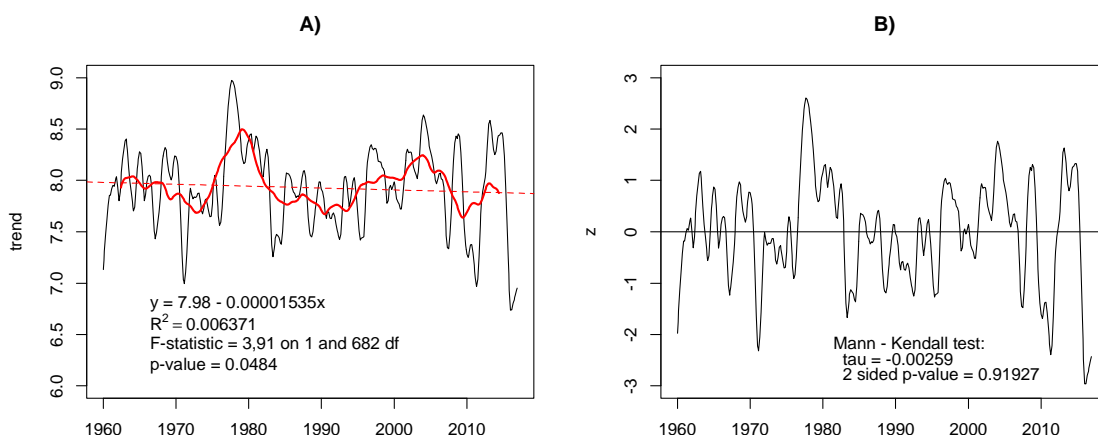


Figura 3.3. A) Componente de tendencia de las temperaturas mínimas mensuales en la zona de Valdivia desde 1960 a 2016, derivada de la descomposición por Loess. La línea roja continua indica el alisado de la serie para un periodo de 120 meses; la línea roja segmentada muestra el ajuste de un modelo lineal a la componente de tendencia.; **B)** Anomalías estandarizadas (z) de la componente de tendencia.

Variabilidad histórica anual

Las temperaturas mínimas anuales en Valdivia, desde 1960 al 2016, presentan una clara variabilidad interanual, sin mostrar tendencia definida en todo el período (Fig. 3.4 A). El ajuste de un modelo lineal a la serie 1960-2016 (Fig. 3.4 A, p -value = 0.8686) y la aplicación de la prueba de Mann-kendall a las anomalías estandarizadas (Fig. 3.4 B, p -value = 0.8685) indican que las temperaturas mínimas anuales no presentan tendencia.

Durante todo el período se observa una importante variabilidad interanual registrándose dos eventos, específicamente en los años 1971 y 2011, con temperatura mínimas sobresalientes producto de inviernos muy helados. En el año 1971 entre enero y septiembre las temperaturas mensuales variaron entre 3.19 °C a 6.66 °C y en el año 2011 entre junio a septiembre las temperaturas mensuales estuvieron bajo los 5 °C. Al igual que en la serie mensual, se observan fluctuaciones con periodos que podrían abarcar entre 10 y 11 años.

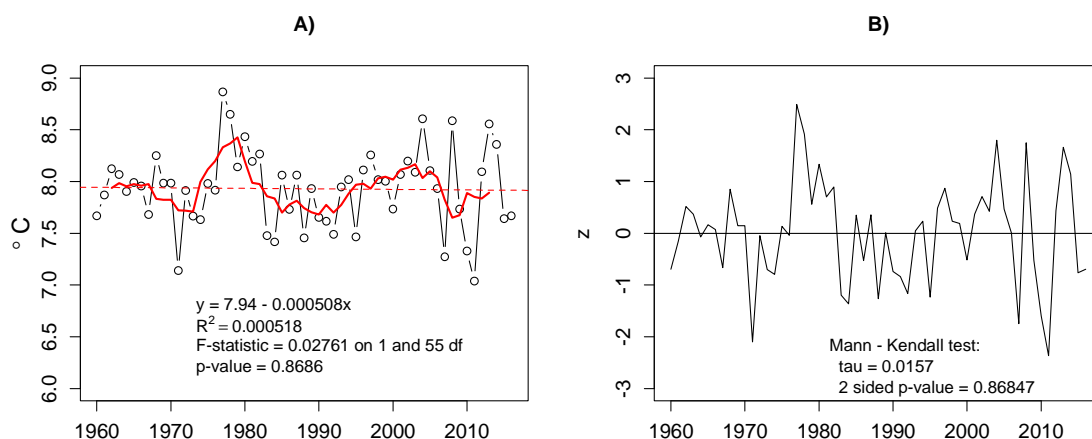


Figura 3.4. A) Temperaturas mínimas anuales promedio en la zona de Valdivia desde 1960 a 2016. La línea roja continua indica el alisado de la serie para un promedio móvil de 5 años; la línea roja segmentada muestra el ajuste de un modelo lineal a la serie; **B)** Anomalías estandarizadas (z) de la tendencia.

3.4.2. Precipitaciones

Datos

La serie de precipitaciones diarias comprende desde 1960 a 2016, pero es discontinua el año 2011, 2014 y 2015. Para el año 2011 existen registros continuos desde el 1 de enero al 10 de octubre. Para el año 2014 existe una laguna de datos entre el 25 de febrero al 10 de marzo y otra entre 31 de octubre y 30 de noviembre. En el 2015 existen datos faltantes entre el 1 de enero y el 16 de abril y desde el 21 al 27 de mayo. Se recopilaron datos de precipitaciones diarias desde la Dirección Meteorológica de Chile, específicamente de la estación del Aeropuerto Pichoy, ubicada en la parte norte del área de estudio ($39^{\circ}39'03.96''\text{S}$, $73^{\circ}04'54.12''\text{W}$), para completar los períodos con datos faltantes de la serie de la UACH.

Variabilidad histórica mensual

El patrón de precipitaciones mensuales derivada de la serie histórica, muestra un ciclo anual bien definido caracterizado por un máximo invernal y un período estival con un

monto significativamente menor, tal como ha sido descrito en trabajos anteriores (UACH 2014; Reyes 1981; Huber 1970). Entre enero y marzo existe un lapso de bajas precipitaciones asociadas a la estación de verano, cuyos montos promedios no superan los 85 mm mensuales (Fig. 3.5). A partir de abril comienza a manifestarse un aumento de las lluvias, para alcanzar entre junio y agosto el período de máximas precipitaciones, asociado evidentemente a la estación de invierno. En este patrón histórico, la tasa de cambio mensual en las precipitaciones aumenta a partir de abril existiendo; sin embargo, una alta variabilidad entre años (Fig. 3.5). Es así como en algunos años, el período de bajas precipitaciones puede extenderse hasta abril.

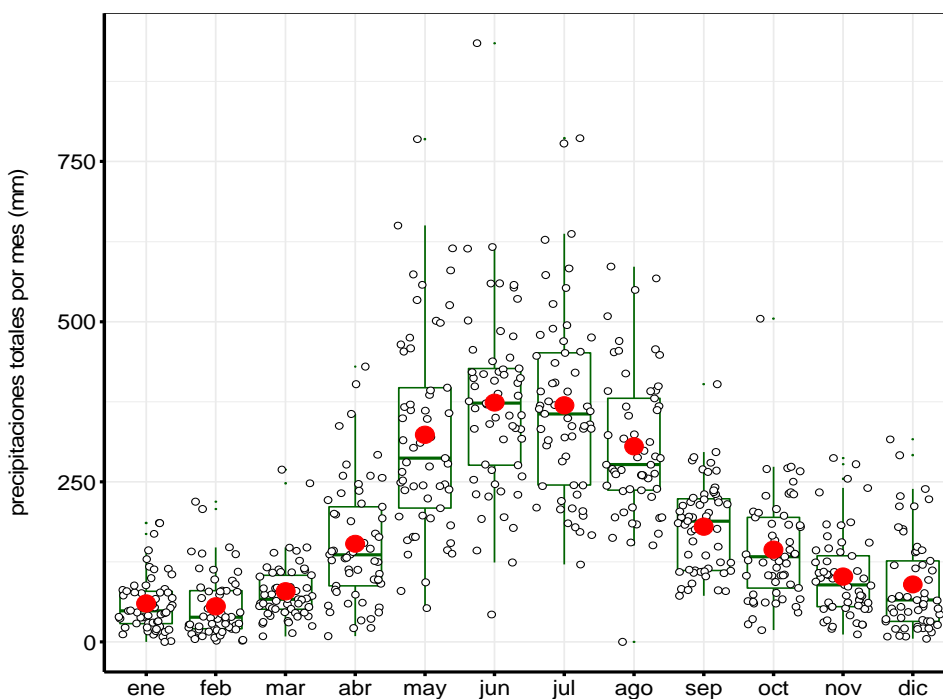


Figura 3.5. Variabilidad mensual y patrón histórico estacional de las precipitaciones registradas entre 1960 y 2016 en Valdivia. Los círculos negros con fondo blanco indican las precipitaciones mensuales desde enero de 1960 a diciembre de 2016; los puntos de color rojo indican el valor promedio de todos los valores mensuales. Fuente de datos: UACH, complementados con datos de la Dirección Meteorológica de Chile.

Precipitaciones enero - diciembre de 2016

Durante el periodo 2011 – 2016, se observa déficit de lluvias invernales prácticamente durante todos los años con excepción del año 2015. En este periodo destacan las bajas precipitaciones invernales del 2011, 2012, 2013 y especialmente las ocurridas el 2016. Todas las precipitaciones mensuales del año 2016, estuvieron bajo los promedios históricos, especialmente en los meses de invierno, donde el déficit mayor ocurrió en junio con un registro de sólo 42.7 mm de agua caída (Fig. 3.6).

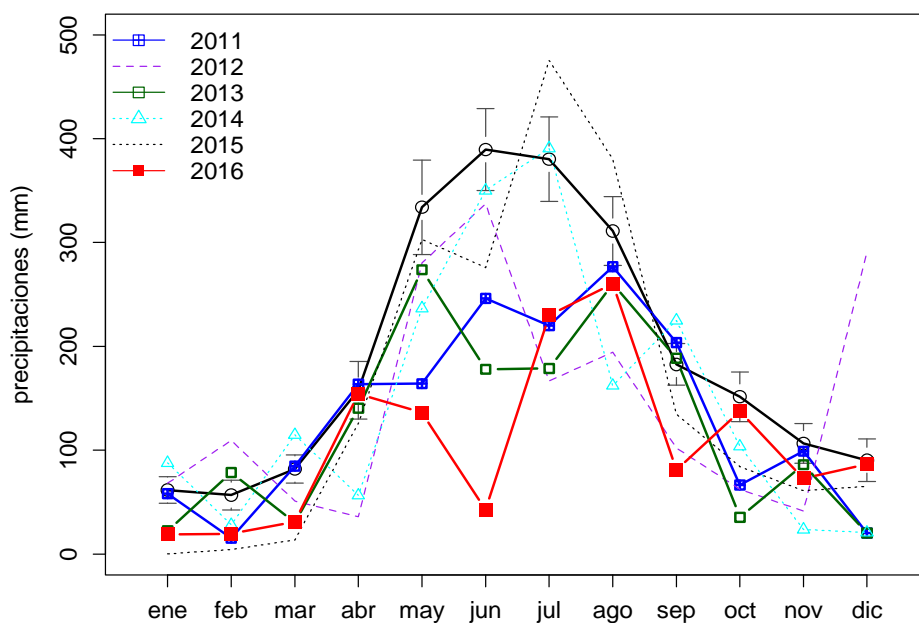


Figura 3.6. Patrón histórico estacional de las precipitaciones medias mensuales registradas entre 1960 y 2010 en Valdivia (círculos negros con fondo blanco y barras de error correspondientes a desviación estándar) y precipitaciones mensuales de los últimos 6 años (2011 a 2016).

Aunque abril del año 2016 presentó precipitaciones cercanas al patrón histórico, el comportamiento global se ajusta a lo señalado por González-Reyes & Muñoz (2013), quienes indican la ocurrencia de una extensión de la condición estival hacia la estación de otoño acompañada de una concentración más acentuada de las precipitaciones hacia la

estación de invierno junto con un decrecimiento en las precipitaciones anuales hacia los años más recientes.

Descomposición de la serie mensual

La descomposición de la serie mensual de precipitaciones se realizó mediante Loess (Local polynomial regression fitting) en R. El método usado detecta fácilmente la estacionalidad, tan evidente de las precipitaciones en el área de Valdivia, sin que se observe una tendencia evidente de la pluviosidad entre los años 1960 y 2016 (Fig. 3.7).

En la parte más reciente de esta serie se observa una disminución persistente de las precipitaciones entre el año 2004 y 2016, cubriendo un lapso entre 10 a 15 años (Fig. 3.7).

El análisis de la componente de tendencias (trend) de la serie de precipitaciones obtenida por Loess, indica que además de las fluctuaciones estacionales, existen otras de mayor período con ciclos de 120 a 156 meses, que originan a nivel decadal oscilaciones en torno a un nivel medio que decrece hacia los años recientes (Fig. 3.8 A). El ajuste de un modelo lineal ($p\text{-value} = 1.88e-14$) y la prueba de Mann-Kendall ($\tau = -0.175$, $p\text{-value} = 7.146e-12$, Fig. 3.8 B) indican que la hipótesis nula de no tendencia no es soportada por los datos; es decir, que el decrecimiento de las precipitaciones hacia los años recientes es estadísticamente significativa.

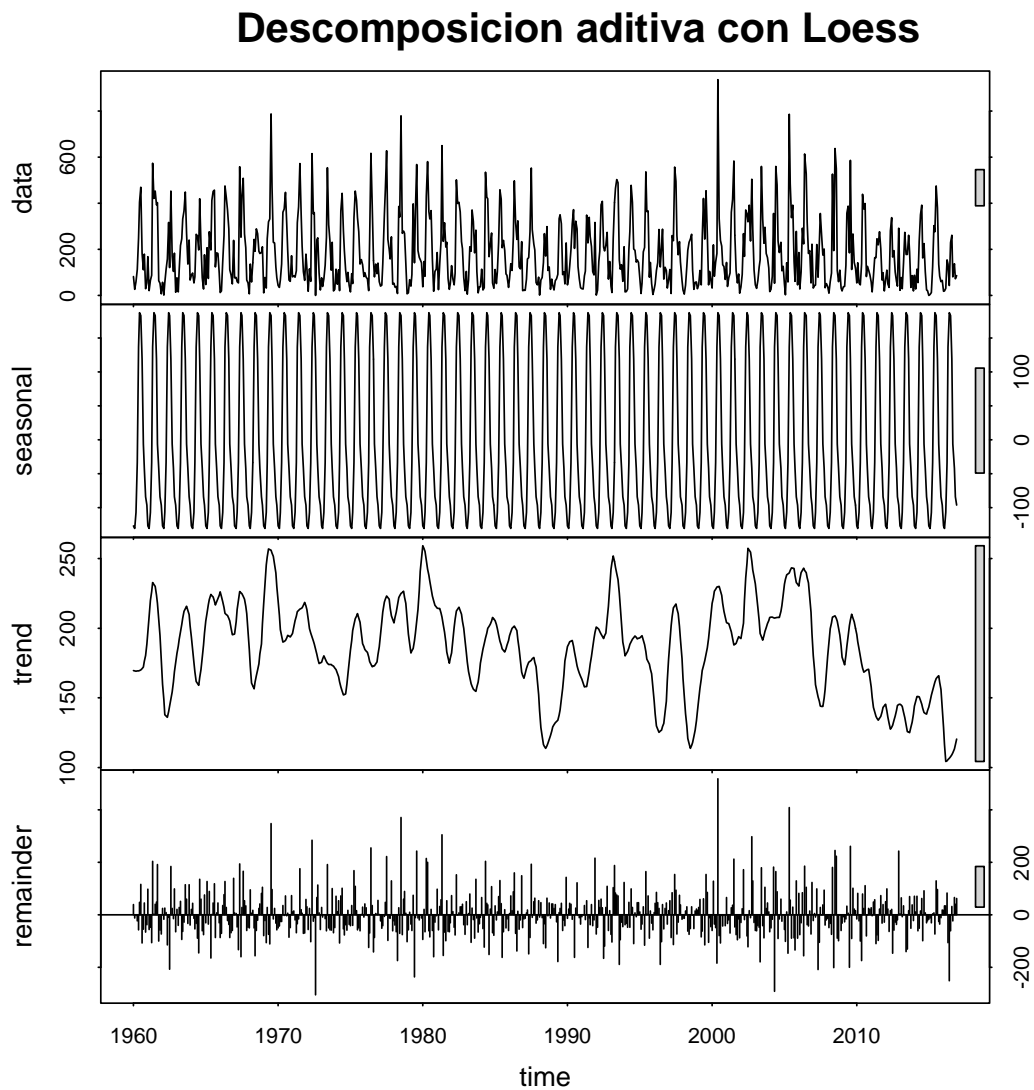


Figura 3.7. Descomposición aditiva con Loess de la serie de precipitaciones mensuales de la zona de Valdivia desde 1960 al 2016, compuestas por la serie UCh (1960-2016) y complementada con datos de la estación Aeropuerto Pichoy.

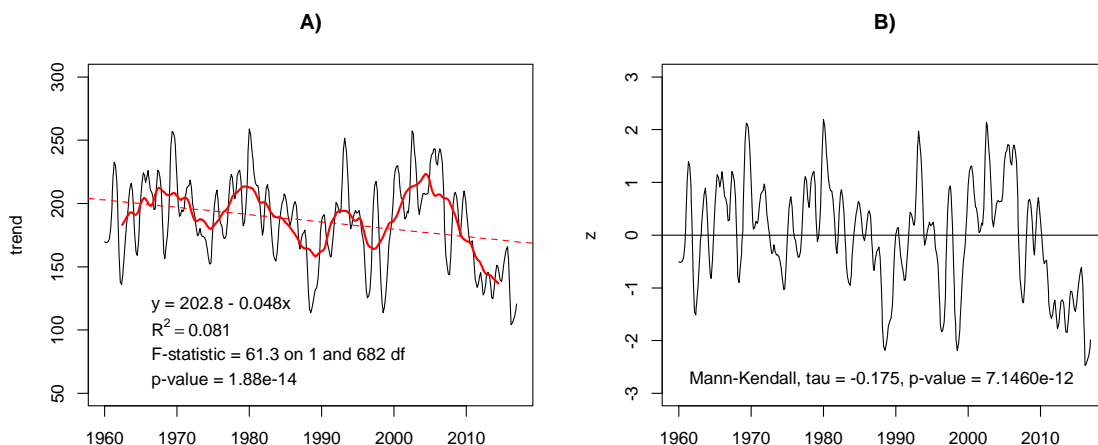


Figura 3.8. A) Componente de tendencia (trend) de la serie mensual de las precipitaciones en la zona de Valdivia desde 1960 a 2016, obtenida mediante descomposición aditiva con Loess. La línea roja indica un alisado lineal de la serie con periodo entre 120 a 136 meses. La línea roja segmentada indica el ajuste de un modelo lineal a la tendencia (trend). **B)** Anomalías estandarizadas (z) de la tendencia (trend) y test Mann – Kendall.

Variabilidad histórica anual

Las precipitaciones anuales en Valdivia, presentan también una evidente variabilidad interanual, detectándose una leve tendencia a disminuir en el período 1960 a 2016 (Fig. 3.9 A). El análisis de esta serie mediante un modelo lineal muestra que la tendencia observada es estadísticamente significativa ($p\text{-value} = 0.039$). La prueba de Mann – Kendall sobre las anomalías estandarizadas de la serie indica, en el límite del criterio, que no existe evidencia suficiente en los datos para rechazar la hipótesis de no tendencia ($\tau = -0.178$ $p\text{-value} = 0.0514$), de modo que las variaciones observadas en las precipitaciones medias anuales en el período 1960 a 2016 siguieron un patrón aleatorio (Fig. 3.9 B).

Años con precipitaciones bajo el promedio global fueron más frecuentes en los últimos 28 años (1989-2016). En este periodo los valores extremos de precipitaciones fueron más acentuados alcanzando valores menores a 1500 mm y también mayores a los 3000 mm. Lo cual es coincidente con el cambio de frecuencia e incremento de valores

extremos de bajas precipitaciones durante el siglo XX, los cuales se habrían acentuado durante la segunda mitad de dicho siglo (González-Reyes & Muñoz, 2013).

En esta serie, se observan fluctuaciones cíclicas de 10 a 13 años entre periodos de mayores y menores precipitaciones (Fig. 3.9 A). Asimismo, se perciben al menos dos períodos con una clara tendencia decreciente. El primero entre los años 1978 y 1988 y el segundo entre los años 2003 y 2016. En este último período, destaca la caída persistente de las precipitaciones en los últimos 7 años, alcanzando en el 2016 el menor valor entre 1960 y 2016.

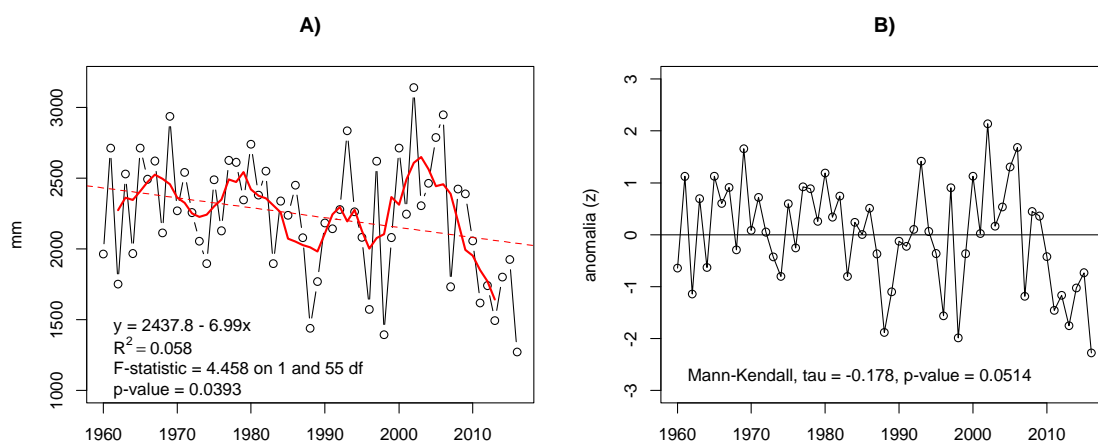


Figura 3.9. A) Serie anual de las precipitaciones en la zona de Valdivia desde 1960 a 2016, compuesta por la serie UCh (1960-2014) y complementada con datos de la Dirección Meteorológica de Chile (estación Aeropuerto Pichoy). La línea roja indica un suavizado lineal de 6 años. La línea roja segmentada corresponde al ajuste de un modelo lineal a los datos, **B)** Anomalías estandarizadas (z) de las temperaturas medias anuales.

La declinación global detectada en la serie anual precipitaciones desde el año 1900 al 2016 (Mann-Kendall $\tau = -0.248$, $p\text{-value} = 7.648e-5$), mostrada en la Figura 3.10, concuerda con la disminución anual de las precipitaciones señaladas por CONAMA (2007), Quintana & Aceituno (2012), González-Reyes & Muñoz (2013) y UCh (2014). Esto indica que la tendencia de las precipitaciones anuales (z) en el periodo 1960 - 2016, se vio afectada en su significancia estadística por lo corto de la serie de datos. Por otro lado se observa que: 1) el nivel de precipitaciones del año 2016 es el mínimo registrado en 117 años (Fig.

3.10 A), con 1247 mm de agua caída y 2) en los últimos 16 años (2001 - 2016) han ocurrido 4 casos con precipitaciones menores a un año normal con una probabilidad de ocurrencia de 0.25; mientras que en el periodo (1900 - 2000) ocurrieron sólo 6 casos con precipitaciones bajo el nivel de un año normal lo que arroja una probabilidad de 0,06. Este aumento de la frecuencia

Quintana & Aceituno (2012) sostienen que una tendencia negativa ha prevalecido a través del siglo XX intensificándose durante los 80 y principios de los 90, señalando que este rasgo también fue descrito por Rusticucci & Penalba (2000) y Quintana (2004), respecto de la evolución de las lluvias en Valdivia. González-Reyes & Muñoz (2013) detectaron un decrecimiento anual, estacional y mensual desde el año 1901 al 2005, e indican que esta reducción de las precipitaciones ha ido acompañado de una extensión de las condiciones estivales hacia parte del otoño y de una mayor concentración de las precipitaciones en invierno.

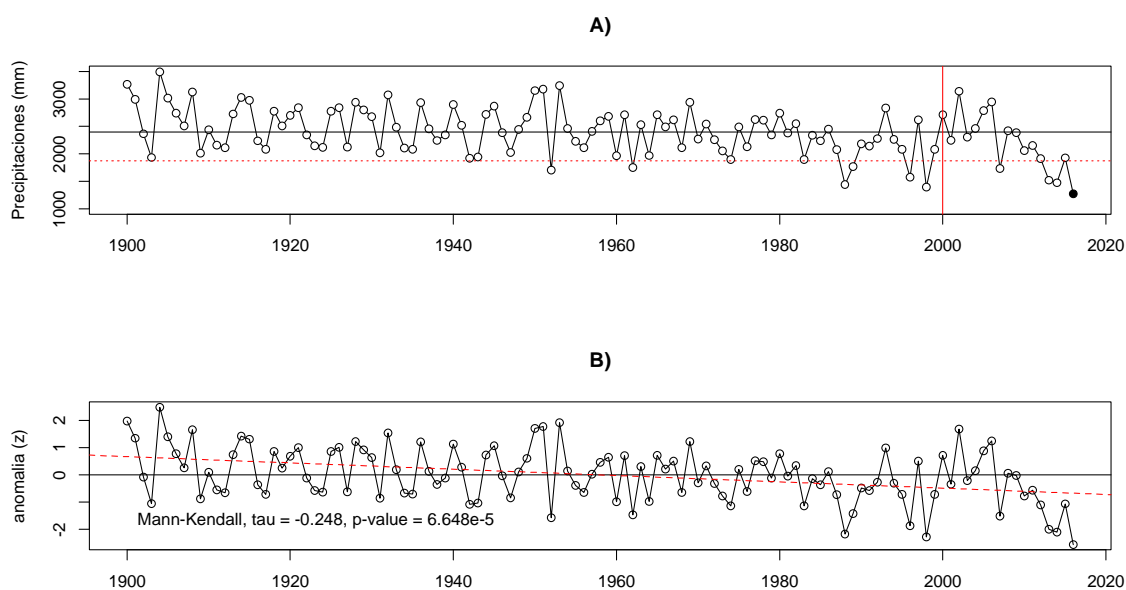


Figura 3.10. A) Serie anual de precipitaciones en Valdivia desde 1900 a 2016 y **B)** serie de anomalías estandarizadas para el mismo periodo. La línea roja segmentada en A) indica en nivel de pluviosidad para un año normal según la Dirección Meteorológica de Chile, la línea roja vertical representa un año de referencia y el punto de color negro señala el valor mínimo histórico de precipitaciones de la series (117 años). La línea segmentada en B) señala la tendencia lineal de la serie de anomalías. Los datos para el período 1900 a 1959 fueron obtenidos desde González-Reyes & Muñoz (2013) y desde 1960 a 2016 los recopilados en este estudio.

3.4.3. Caudal hídrico del río Cruces

Datos

La serie de datos diarios del caudal del río Cruces proviene de la Dirección General de Aguas (DGA), específicamente desde la estación de muestreo de Rucaco. Los datos abarcan desde el 1 de enero de 1970 al 31 de diciembre de 2016. Esta serie presenta algunos períodos con datos faltantes, los cuales fue necesario rellenar para obtener una serie de datos continuos. El relleno se llevó a cabo seleccionando un valor aleatorio entre los dos valores más cercanos correspondientes al día y mes del año anterior y posterior al dato faltante, lo que equivale a un muestreo aleatorio desde una distribución uniforme.

Variabilidad histórica mensual

Los valores históricos de caudal del río Cruces en el sector de Rucaco, muestran un claro patrón estacional a lo largo del año (Fig. 3.11), distinguiéndose un período de bajos caudales desde enero hasta abril. En mayo, el caudal comienza a aumentar rápidamente para alcanzar su máximo en el mes de julio. En agosto los caudales continúan altos y a medida que se aproxima la primavera los caudales disminuyen a una tasa constante hasta diciembre.

El caudal del río Cruces está claramente correlacionado al patrón estacional de precipitaciones en el área de estudio. La relación entre el caudal promedio anual del río Cruces en Rucaco y las precipitaciones anuales en Valdivia (1970 y 2016) es positiva y puede ser representada por un modelo lineal ($R^2 = 0.594$, $p\text{-value} = 1.45e-10$) tal como se muestra en la Fig. 3.12.

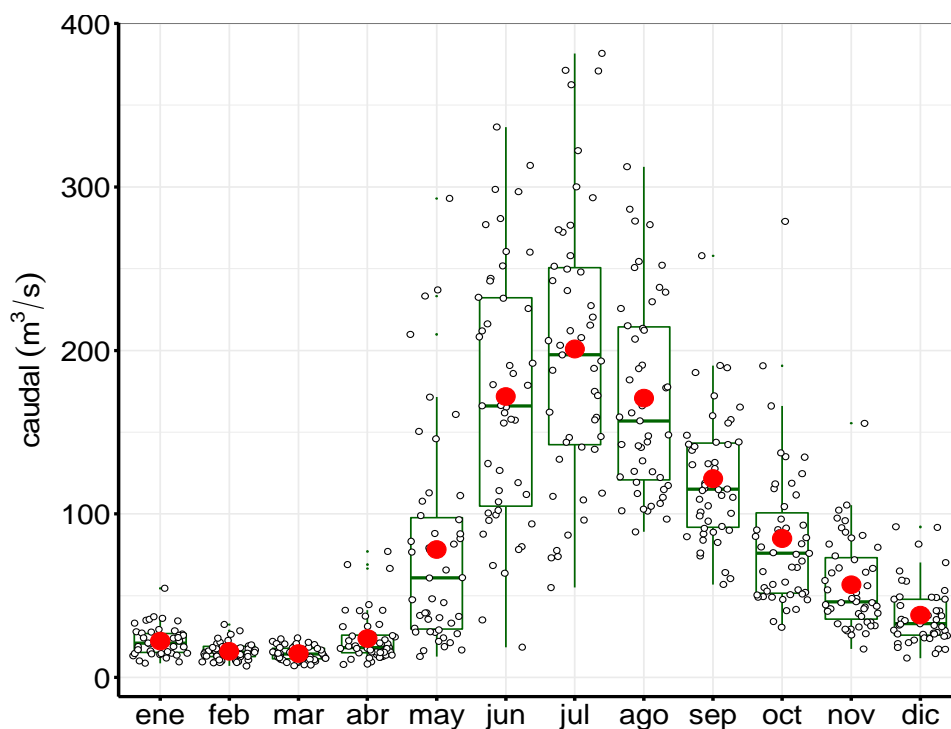


Figura 3.11. Patrón histórico estacional del caudal hídrico del río Cruces en el sector de Rucaco, obtenido a partir de datos diarios registrados por la Dirección General de Aguas entre el 1 de enero de 1970 y el 31 de diciembre de 2016. Los círculos negros vacíos indican los caudales promedio mensuales por año desde enero de 1960 a diciembre 2016; los puntos de color rojo indican los valores promedio totales del mes.

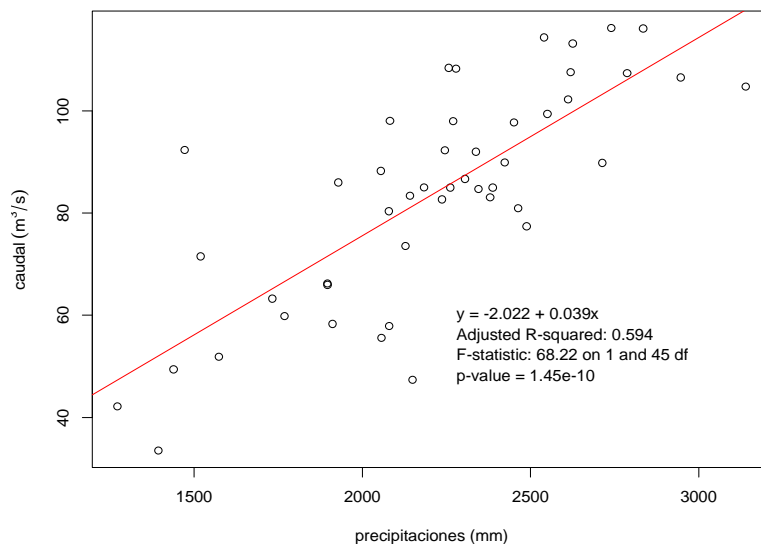


Figura 3.12. Relación lineal entre el caudal promedio del río Cruces (sector Rucaco) y las precipitaciones anuales en la zona de Valdivia.

Descomposición de la serie mensual

La descomposición con Loess de la serie mensual muestra claramente la estacionalidad y, la tendencia mensual en los caudales medios del río Cruces en Rucaco (Fig. 3.13). La serie de 56 años muestra la alternancia de períodos con mayores y menores caudales y una aparente tendencia a disminuir

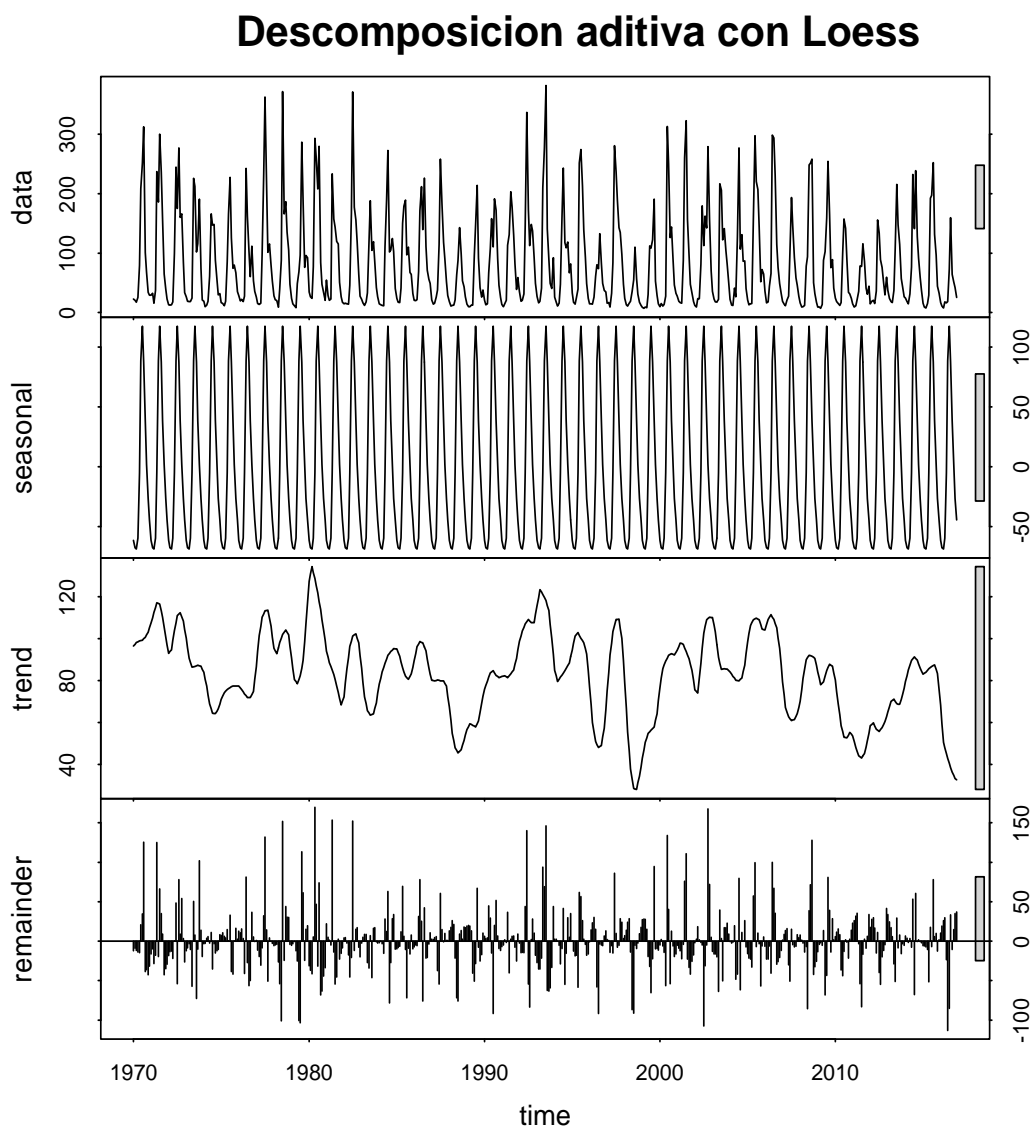


Figura 3.13. Descomposición aditiva con Loess de la serie de caudales medios mensuales en Rucaco desde el 01 enero 1970 al 31 diciembre de 2016, a partir de datos de la Dirección General de Aguas.

La alternancia de períodos con altos y bajos caudales de escala mayor a la estacional se observa de forma más clara en la Figura 3.14 A, los cuales emergen luego del alisado de la tendencia (trend) con períodos entorno de los 11 años.

La componente de tendencia (trend) de la serie de caudales medios, aparentemente disminuye de manera suave. El ajuste de un modelo lineal a los datos indica que la tendencia observada es significativa ($R^2 = 0.11$; $p\text{-value} = 3.88e-16$) tal como se muestra en la Figura 3.14 A. Similar resultado entrega la prueba de Mann-Kendall a las anomalías estandarizadas de la tendencia (trend) extraída con Loess (Fig. 3.14 B). Estos resultados se ajustan con la tendencia observada en las precipitaciones (cf. Fig. 3.10 B).

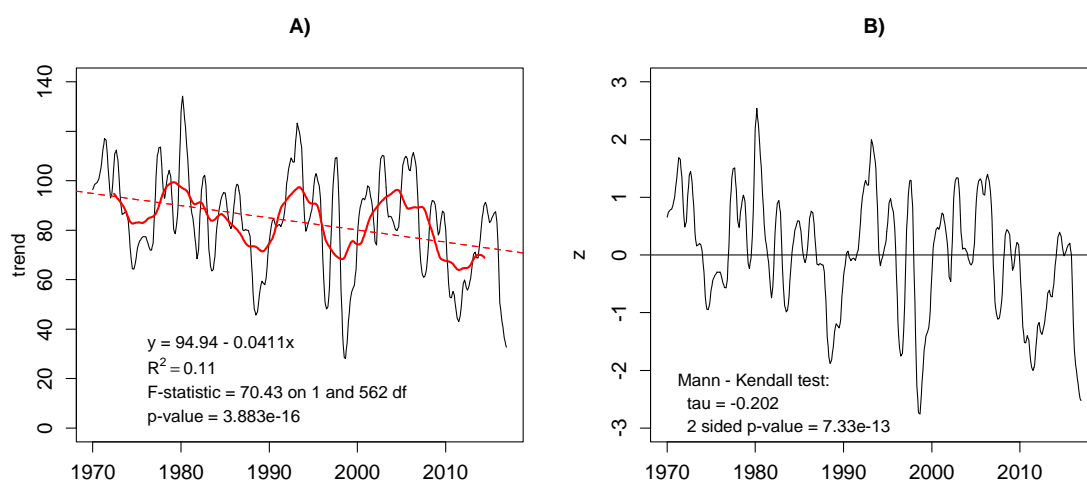


Figura 3.14. A) Componente de la tendencia (trend) obtenida a partir de la descomposición aditiva con Loess de la serie de caudales medios mensuales del río Cruces en Rucaco. La línea roja continua indica el suavizado de la serie para un período de 120 meses y la línea roja segmentada muestra el ajuste de un modelo lineal a la tendencia (trend). **B)** Anomalías estandarizadas (z) de la tendencia (trend) de los caudales medios mensuales y test de Mann-kendall.

Variabilidad histórica anual

La descomposición de la serie anual de caudales promedios no pudo hacerse con Loess pues esta serie no presenta una estacionalidad definida. Al igual que la serie mensual, la serie anual muestra tramos de 10 a 13 años con caudales altos y bajos y, una

aparente disminución de los caudales promedios anuales hacia los años más recientes. El ajuste de un modelo lineal a los datos observados señala que esta tendencia es significativa ($R^2 = 0.071$, $F = 5.291$ con 45 gl, $p\text{-value} = 0.026$) tal como se muestra en la Figura 3.15 A. El análisis de la tendencia de las anomalías estandarizadas con la prueba de Mann-Kendall ($\tau = -0.195$, 2 sided $p\text{-value} = 0.054$) indica que no existe evidencia suficiente en los datos para rechazar la hipótesis nula de no tendencia (Fig. 3.15 B).

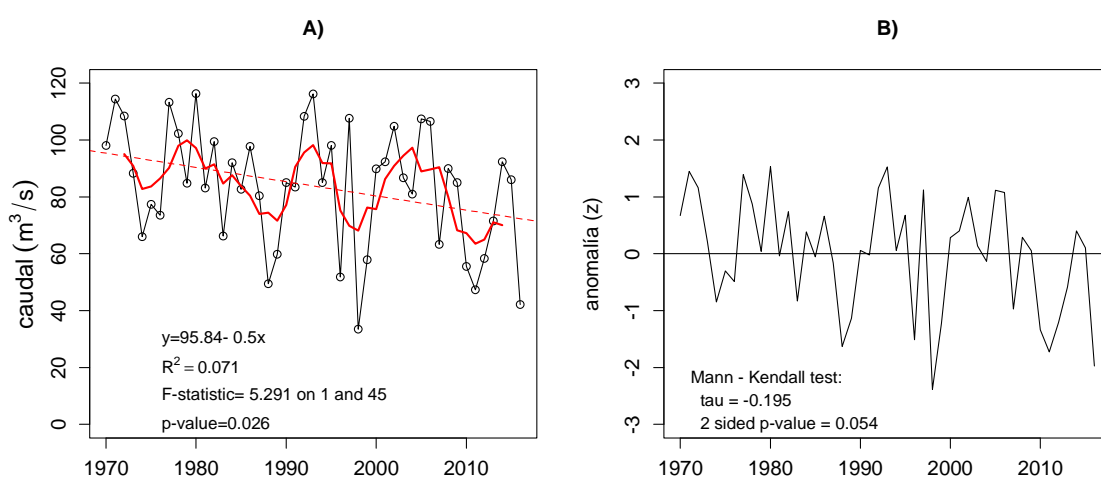


Figura 3.15. A) Serie de caudales medios anuales del río Cruces en Rucaco entre 1970 y 2016. La línea roja continua indica el alisado de la serie para un promedio móvil de 5 años y la línea roja segmentada el ajuste de un modelo lineal; **B)** Anomalías estandarizadas (z) de la componente de tendencia (trend) y test Mann – Kendall.

3.4.4. Nivel del espejo de agua

Datos

Se analizó una serie de datos diarios del nivel del espejo de agua desde el 1 enero del 2000 al 31 de diciembre de 2016, recopilados en la estación hidrológica de Rucaco, de la Dirección General de Aguas. La serie en cuestión fue construida considerando todas las mediciones diarias y desde las cuales se obtuvo el nivel mínimo para efecto del análisis.

Datos faltantes para días específicos fueron llenados con un valor aleatorio obtenido desde una distribución uniforme, restringido a los valores medidos en el día anterior y posterior más próximo.

Variabilidad histórica mensual

Se observa un claro patron estacional a lo largo del año. En la estación estival los niveles o altura del espejo de agua en Rucaco son bajos, principalmente en febrero y parte de marzo. A mediados de abril el nivel de las aguas comienza un marcado y vertiginoso aumento para alcanzar durante julio y agosto sus mayores niveles. Con la llegada de la primavera la altura del agua comienza a disminuir para alcanzar en el verano los menores valores (Fig. 3.16).

En la Figura 3.16 se observa que las menores alturas del espejo de agua ocurrieron hacia los años más recientes de la serie; específicamente, entre los años 2011 a 2016, durante el verano. En el año 2016, destaca el mes de junio con caudales diarios excepcionalmente bajos, lo cual es coincidente con el monto de precipitaciones producidas durante dicho mes (Fig. 3.6). De manera opuesta se observan casos con aumentos esporádicos del nivel del agua durante la estación de primavera e inicios de verano (octubre - diciembre). El pick observado en el año 2002, está correlacionado a un período lluvioso entre el 30 de septiembre y 18 de octubre, en el cual, el día 12 de octubre registró una precipitación excepcional de 155.7 mm de agua caída. En este mismo año los picos de noviembre y diciembre, también pueden ser explicados por sendas precipitaciones ocurridas. Idéntica causa se detecta para los picks de diciembre de 2006 y diciembre de 2012.

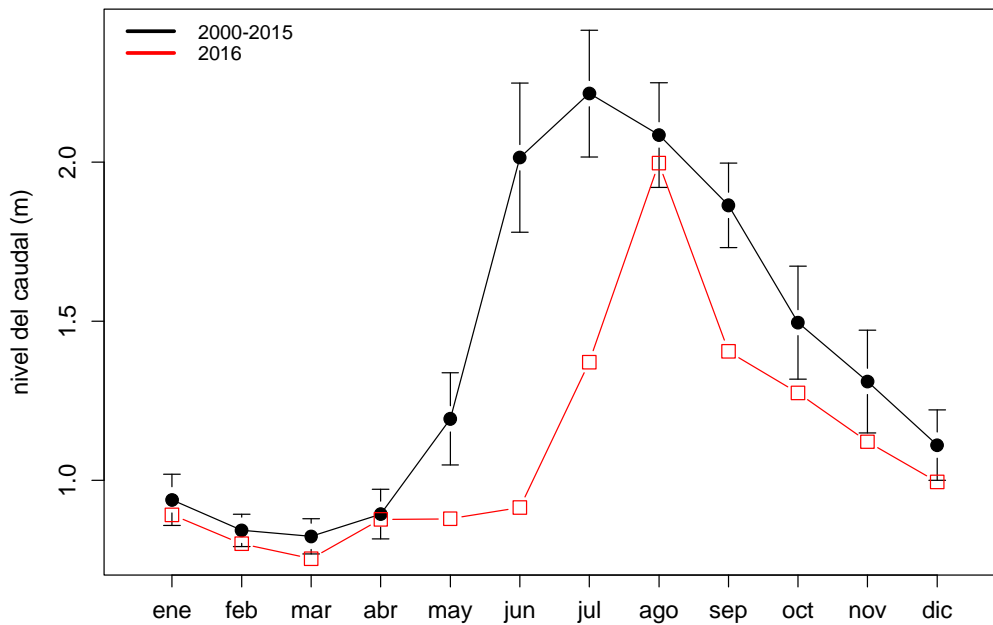


Figura 3.16. Patrón y variabilidad estacional del nivel del espejo de agua en el sector de Rucaco, río Cruces, entre el patrón histórico (2000-2015) y 2016.

Descomposición de la serie diaria

La serie diaria de altura del espejo de agua en Rucaco muestra la estacionalidad esperada, dada la fuerte correlación con las precipitaciones. Se observa en la componente de tendencia (trend), una declinación importante entre el año 2005 y 2012, y en el año 2016 (Fig. 3.17).

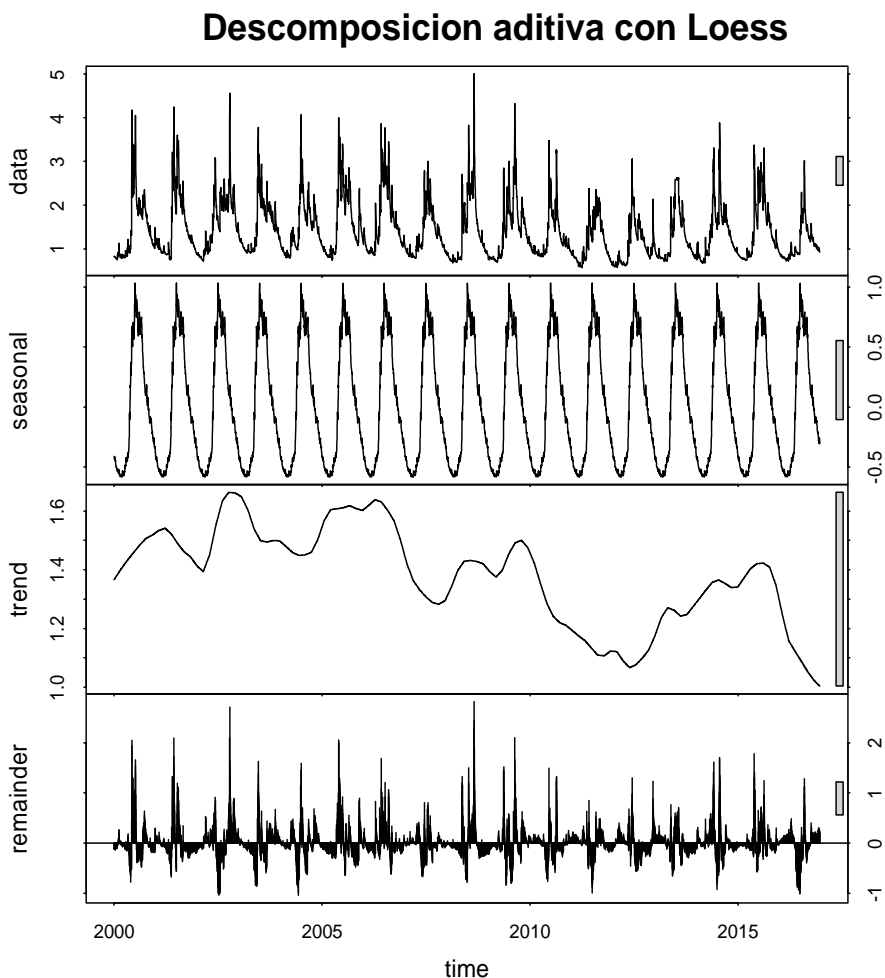


Figura 3.17. Descomposición aditiva de la serie de altura diaria del espejo de agua en el sector de Rucaco, río Cruces, entre el año 1 enero de 2000 y 31 de diciembre de 2016.

Un análisis más detallado de la señal de tendencia (trend), mediante el ajuste de un modelo lineal y la aplicación de la prueba de Mann-Kendall a las anomalías estandarizadas, ratifican lo observado anteriormente e indican que esta serie presenta una disminución hacia los años más recientes (Fig. 3.18). Esto es coincidente con la tendencia observada en las precipitaciones, tanto en la serie de largo plazo (Fig. 3.8 y 3.10) y con la correlación entre las precipitaciones y el nivel del espejo de agua a nivel diario (Fig. 3.19).

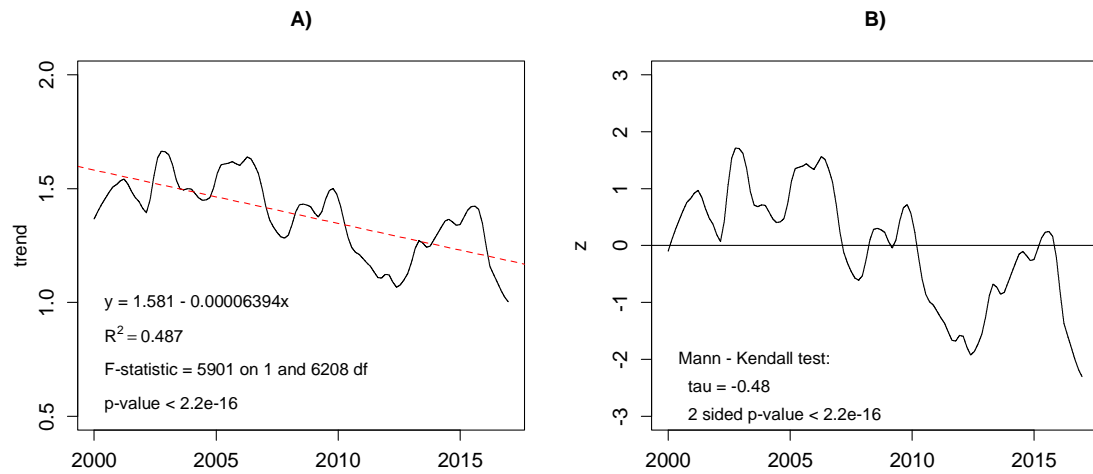


Figura 3.18. A) Componente de tendencia (trend) de altura diaria del espejo de agua del río Cruces en Rucaco entre el 1 de enero de 2000 y el 31 de diciembre de 2015. La línea roja segmentada señala el ajuste de un modelo lineal y, **B)** Anomalías estandarizadas (z) de la serie y test de Mann - Kendall.

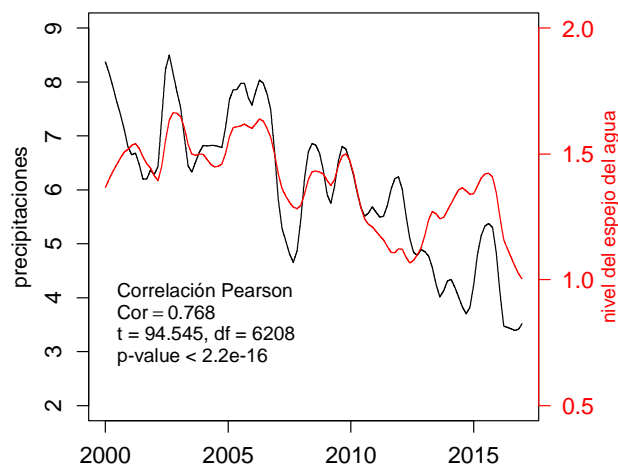


Figura 3.19. Correlación entre las precipitaciones y altura del espejo de agua del río Cruces en Rucaco, a nivel diario, entre el 1 de enero de 2000 y el 31 diciembre de 2016.

3.5. Conclusiones

- Las temperaturas mínimas del aire registradas desde 1960 a 2016, muestran la estacionalidad característica de la zona valdiviana. Estas comienzan a disminuir en otoño, específicamente en el mes de marzo, para alcanzar su mínimo en julio (*ca.* 5°C) y luego comenzar su ascenso a partir de septiembre.
- La variación promedio de las temperaturas mínimas mensuales a través de los años no muestra tendencias a aumentar o disminuir; sin embargo, se observan fluctuaciones con periodicidad en torno a los 120 meses.
- A nivel anual, la temperatura mínima del aire muestra la misma tendencia y estacionalidad observada a nivel mensual; es decir, con fluctuaciones a nivel de décadas en torno al promedio sin tendencia secular durante el período analizado.
- La serie histórica mensual de precipitaciones (1960 - 2016), muestra el claro y típico patrón estacionalidad de la zona valdiviana. Las lluvias comienzan a incrementar en otoño, específicamente hacia fines de abril, para alcanzar su máximo entre junio y agosto.
- El periodo de baja pluviosidad, típico de la época estival, se extendió hasta mediados de abril. Esto armoniza con la extensión de las condiciones estivales hacia parte del otoño y la concentración más acentuada de las precipitaciones en los meses de invierno señalado por González-Reyes & Muñoz (2013).
- Fuera de la estacionalidad típica de las precipitaciones en la zona de Valdivia y del HRC, se observa, tanto en la serie mensual como anual, fluctuaciones a nivel de décadas en torno a un nivel promedio, el cual presenta una tendencia de largo plazo a disminuir.
- Las precipitaciones totales en la zona de Valdivia muestran una disminución significativa entre 1960 y 2016, tendencia coincidente con lo señalado por Quintana (2004), Quintana & Aceituno (2012) y con el decrecimiento significativo de las precipitaciones anuales desde 1901 al 2005 señalado por González-Reyes & Muñoz (2013).

- Durante los últimos años se observa un aumento de eventos con pluviosidades menores al promedio histórico de la serie (2397 mm) y al normal anual de la Dirección Meteorológica de Chile (1871 mm), con un incremento de los valores extremos, corroborando la tendencia en el punto anterior.
- El 2016 se ha constituido en el año con la menor pluviosidad histórica en 117 años (1900 – 2016), y también en el mínimo global para el registro completo de precipitaciones en Valdivia entre 1853 y el 2016 (de acuerdo con datos publicados por González-Reyes & Muñoz, 2013).
- La serie histórica mensual de los caudales hídricos y espejo de agua del río Cruces en Rucaco, muestran una estacionalidad marcada entre invierno y verano, asociada directa y significativamente con el patrón estacional de las precipitaciones.
- El patrón histórico del caudal hídrico y el nivel del espejo de agua, dependientes de la pluviosidad, muestran además de la variabilidad estacional, la declinación de largo plazo observada en las precipitaciones.

3.6. Referencias

CONAMA. 2007. Final report: Study about climate variability in Chile during the 21 st century. Comisión Nacional sobre Medio Ambiente, Santiago-Chile, 63 pp.

González-Reyes, A., A.A. Muñoz. 2013. Cambios en la precipitación de la ciudad de Valdivia (Chile) durante los últimos 150 años. *Bosque* (Valdivia) 34: 191-200. Chile. DOI: 10.4067/S0717-92002013000200008.

Huber A. 1970. Diez años de observaciones climatológicas en la Estación Teja - Valdivia (Chile) 1960 – 1969. Valdivia. Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas 46 pp.

Kendall M.G. 1970. Rank Correlation Methods, 2nd Ed., New York: Hafner.

Koppe C., G. De Long. 1958. Weather and Climate. McGraw-Hill Company, Inc., New York, Toronto, London. 341 p.

Mann H.B. 1945. Nonparametric tests against trend. *Econometría* 13: 245-259.

Quintana J. 2004. Estudio de los factores que explican la variabilidad de la precipitación en Chile en escalas de tiempo interdecadal. Tesis Magister en Ciencias mención Geofísica. Santiago, Chile. Departamento de Geofísica Universidad de Chile. 88 p.

Quintana J.M. & P. Aceituno. 2012. Changes in the rainfall regime along the extratropical west coast of South America (Chile): 30-43 S. *Atmósfera (México)*, vol. 25, núm.1, pp. 1-22. Available in: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=56523435001>.

R Core Team. 2014. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <http://www.R-project.org/>.

Reyes J.C. 1981. Características de las precipitaciones de Valdivia: 1960-1976. Tesis. Universidad Austral de Chile, Valdivia, 1981.

Rusticucci M. & O. Penalba. 2000. Interdecadal changes in precipitation seasonal cycle over Southern South America and their relationship with surface temperature. *Climate Research*, 16: 1-15.

UACH. 2009. Informe Final. Recopilación y análisis de información en apoyo psara la elaboración del anteproyecto de la norma secundaria de calidad ambiental, para la protección de las aguas de la cuenca del río Valdivia. Junio de 2009. 220 pp.

UACH. 2014. Informe final: Diagnóstico ambiental del humedal del Río Cruces basado en la comparación de condiciones ambientales actuales e históricas: Bases para su monitoreo y sustentabilidad. Convenio Servicio de Evaluación Ambiental, Ministerio de Medio Ambiente y Universidad Austral de Chile. Marzo de 2014. 374 pp.

4. COMPONENTES DEL PROGRAMA

A continuación, se describen los resultados de la etapa correspondiente al segundo año del Programa de Monitoreo Ambiental del HRC (marzo 2016 - febrero 2017), los cuales se comparan con los resultados del Programa de Diagnóstico Ambiental (abril 2014-marzo 2015) y con los del primer año del Programa de Monitoreo del HRC (marzo 2015-febrero 2016).

4.1. COMPONENTES ABIÓTICOS

4.1.1. CALIDAD DEL AGUA

4.1.1.1. Objetivos

Medir y analizar en el agua superficial del HRC los siguientes parámetros:

- Temperatura, pH, conductividad y sólidos disueltos totales.
- Sólidos suspendidos totales (particulados) y transparencia.
- Oxígeno disuelto, demanda bioquímica (DBO₅) y química (DQO) de oxígeno.
- Carbono orgánico total.
- Nutrientes (Amonio, Nitrato, Nitrito, Nitrógeno total, Fosfato o Fósforo soluble y Fósforo total).
- Bacterias coliformes totales y fecales.
- Sulfatos y Cloruros.
- Metales pesados (fracción disuelta y particulada) (Hierro, Aluminio, Manganeso, Cobre, Zinc, Plomo, Cadmio, Arsénico y Mercurio).
- Ácidos grasos, Ácidos resínicos y compuestos Órgano-Halogenados Adsorbibles (AOX).
- Dioxinas y Furanos (17 congéneres incluidos en el Convenio de Estocolmo de 2001).

4.1.1.2. Material y métodos

Los muestreos estacionales destinados al análisis de los parámetros mencionados en el punto 4.1.1.1 para el segundo año del Programa de Monitoreo actualizado del HRC y sus ríos tributarios (abril 2016-marzo 2017), se realizaron en ocho estaciones (Fig. 4.1.1.1 y Tabla 4.1.1.1) y en dos campañas de muestreo durante los meses de abril (menor caudal hídrico) y julio (mayor caudal hídrico) del año 2016.

Además de lo anterior, se recolectaron datos mensuales de temperatura, pH, sólidos suspendidos totales, sólidos totales disueltos, oxígeno disuelto (porcentaje de saturación y concentración en mg/L) en el agua superficial de esas ocho estaciones en las cuales también se midió la transparencia del agua (disco Secchi), con el objetivo de realizar análisis comparativos con los resultados obtenidos durante el Programa de Diagnóstico Ambiental (abril 2014- marzo 2015) y con los del primer año del Programa de Monitoreo del HRC (marzo 2015- febrero 2016).

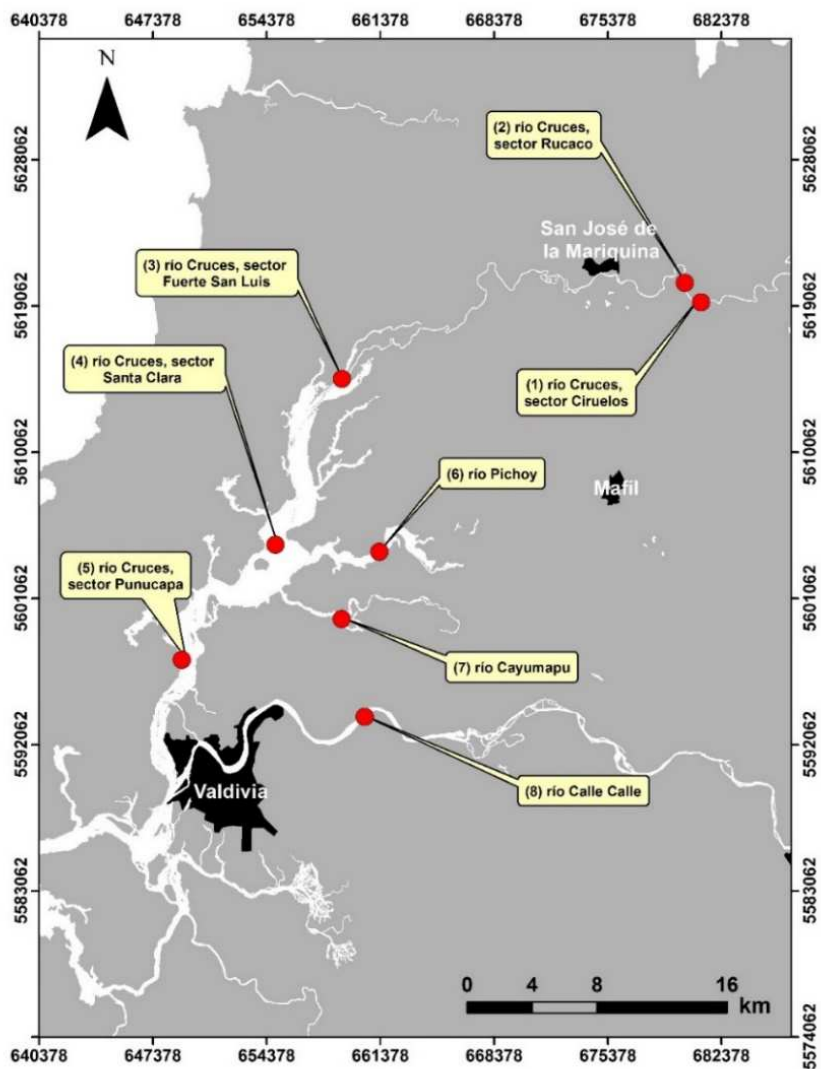


Figura 4.1.1.1. Ubicación de los sitios de muestreo (1 a 8) para análisis de calidad del agua en el área de estudio.

Tabla 4.1.1.1. Estaciones y fechas de muestreos de la calidad del agua durante abril y julio de 2016 en el área de estudio.

Estaciones	período de menor caudal	período de mayor caudal
Porción superior del río Cruces (sector límnico)		
1 (sector Ciruelos)	06-abr-2016	06-jul-2016
2 (sector Rucaco)	06-abr-2016	06-jul-2016
Eje central del río Cruces (sector estuarial)		
3 (sector Fuerte San Luis)	06-abr-2016	04-jul-2016
4 (sector Santa Clara)	05-abr-2016	04-jul-2016
5 (sector Punucapa)	05-abr-2016	04-jul-2016
Ríos tributarios del río Cruces		
6 (río Pichoy interior)	04-abr-2016	05-jul-2016
7 (río Cayumapu interior)	04-abr-2016	05-jul-2016
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios		
8 (río Calle Calle)	04-abr-2016	05-jul-2016

Las metodologías de obtención de muestras, mediciones *in situ* y análisis de laboratorio utilizadas para los **estudios de calidad del agua** fueron:

- Recolección de agua superficial (*ca.* 20 cm de profundidad) con: i) balde plástico (limpiado químicamente con detergentes no iónicos y enjuagados con agua desionizada y agua Tipo I) para llenar envases de vidrio previamente tratados para los análisis de Sulfatos, Cloruros, Oxígeno disuelto, DBO₅, DQO y compuestos orgánicos, y ii) vara de PVC con frascos limpios Nalgene® en su extremo para obtener agua, para los análisis de metales pesados y así evitar la eventual contaminación de las muestras por la cercanía de la embarcación.

- Temperatura, pH, conductividad y sólidos disueltos: uso de sonda multi-paramétrica para mediciones *in situ* (Unidades: °C, unidades de pH, $\mu\text{mS/cm}$ y mg/L , respectivamente).
- Sólidos suspendidos totales o particulados y transparencia: método gravimétrico (Unidad: mg/L) y Disco Secchi (Unidad: cm).
- Oxígeno disuelto: uso de sonda multi-paramétrica para mediciones *in situ* y titulación por Método de Winkler (A Manual of Chemical and Biological Methods for Seawater Analysis, First edition. Timothy R Parsons; Yoshiaki Maita; Carol M Lalli, 1984).
- Demanda de oxígeno (DBO_5): Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21st Edition. 2005. Method 5210 B.
- Demanda química de oxígeno (DQO): Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21st Edition. 2005. Method 5220.
- Carbono orgánico total: método de combustión catalítica (Unidad: % C).
- Nutrientes: (Amonio, Nitrato, Nitrito, Nitrógeno total, Fosfato o Fósforo soluble y Fósforo total): mediante absorción molecular (Unidades: mg/L , excepto amonio en $\mu\text{mol/L}$).
- Bacterias Coliformes totales y fecales: metodología de cultivo y recuento de colonias (NMP/100 ml).
- Sulfatos: gravimetría. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21st Edition. 2005. 4500-SO42-C y/o Cromatografía Iónica. EPA Method 300.0.
- Cloruros: volumetría. NCh2313/32. Of199 y/o Cromatografía Iónica. EPA Method 300.0.
- Metales pesados: i) separación de la fracción disuelta de la particulada mediante filtración de las muestras con una membrana de $0,45 \mu\text{m}$ de tamaño de poro, y ii) cuantificación mediante espectroscopía de masa de plasma inductivamente acoplado (ICP-MS). Análisis de Mercurio por espectrometría de absorción atómica de vapor frío (Unidades: metales disueltos: $\mu\text{g/L}$ y metales particulados: $\mu\text{g/g}$).

- Ácidos grasos: cromatografía gaseosa con detección de masa (Unidad: $\mu\text{g/L}$).
- Ácidos resínicos: cromatografía gaseosa con detección de masa (Unidad: $\mu\text{g/L}$).
- Compuestos Órgano-Halogenados Adsorbibles (AOX): titulación microcoulombimétrica con adsorción en carbono activado (Unidad: mg/L).
- Dioxinas y Furanos: Cromatografía gaseosa de alta resolución con detección de masa de alta resolución (HRGC/HRMS) y preparación automática de muestras (FMS) utilizando Extracción en Fase Sólida (SPE) (Unidad: ng/L).

Análisis estadísticos

Los análisis estadísticos realizados consideran que los sectores predefinidos en el área de estudio, representan una variación tal, que es posible categorizarlos como sigue:

- L = sector límnic del río Cruces; es decir, la parte del río que no es afectada por las mareas. Incluye las estaciones 1 (Ciruelos) y 2 (Rucaco) (Fig. 4.1.1.1).
- EE = eje estuarial y central del río Cruces; es decir, la parte del humedal afectada por mareas. Incluye las estaciones 3 (Fuerte San Luis; San Luis de aquí en adelante cuando se cita en el texto), 4 (Santa Clara) y 5 (Punucapa) (Fig. 4.1.1.1).
- T = ríos tributarios del humedal del río Cruces; es decir, ríos afectados por mareas - estuarios - y que se comunican con el eje central del mismo río. Incluye las estaciones 6 (Pichoy) y 7 (Cayumapu) (Fig. 4.1.1.1).
- F = fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios; área afectada por mareas. Incluye la estación 8 (Calle Calle), considerada como sitio control ya que se ubica fuera del HRC (Fig. 4.1.1.1).

De igual forma, la variabilidad registrada en las campañas de los años 2014, 2015 y 2016 permite categorizar la variabilidad temporal inter-anual. Así, en los análisis posteriores, ambas variables categóricas son consideradas como factores fijos. El análisis de las variables estudiadas se enfocó en la aplicación de básicamente dos técnicas:

Análisis Univariado y Análisis Multivariado.

El **Análisis Univariado** consideró la aplicación de Análisis de Varianza (ANDEVA), para evaluar la existencia o no de diferencias significativas entre los factores principales de interés (ver Sokal & Rohlf, 1994): **sectores del área de estudio y campañas realizadas en los diferentes años de muestreo (2014, 2015 y 2016)**, ambos considerados como factores fijos. Cuando los valores de cada variable fueron inferiores al límite de detección de la técnica, se usó dicho valor límite como representativo de cada muestra. En general, se consideró aplicar el ANDEVA sobre los datos sin transformar, evaluando los supuestos de normalidad en forma visual y mediante la prueba de Kolmogorov-Smirnov, la cual está basada en la función de distribución acumulativa empírica (FDCE) de la variable y cuyo gráfico de probabilidades esperadas vs observadas (plot Q-Q), permite inspeccionar visualmente la distribución de la variable. Este análisis fue realizado sobre las variables crudas y los residuos del modelo analizado de ANDEVA. Por otra parte, el supuesto de homogeneidad de varianzas u homocedasticidad se evaluó mediante el uso de las Pruebas de Bartlett y de Levene. La primera se aplica cuando los datos provienen de una distribución normal, pero no es muy robusta a fuertes desviaciones de la normalidad. La Prueba de Levene se aplica cuando la variable proviene de una distribución continua pero no necesariamente normal, dado que la misma considera la distancia de la observación a la mediana en lugar de la media (esto la hace más robusta en análisis de muestras pequeñas). Cuando no se cumplieron estos supuestos (indicado en cada caso), de igual manera se realizó ANDEVA, debido a que su capacidad de detectar diferencias es mayor que la de una prueba no paramétrica.

En general, los datos se analizaron sin ser transformados. Sin embargo, las excepciones necesarias fueron los datos de porcentajes de fracciones texturales del sedimento que fluctúan entre 1 y 100 (porcentajes) y por lo tanto requieren ser transformados, usando arcoseno de la raíz cuadrada del dato previo a la aplicación de ANDEVA. Se transformaron además los valores de otras variables, cuyas desviaciones de normalidad se transformaron mediante logaritmo en base 10. Tales transformaciones se

detallan en cada tabla de ANDEVA. Para los análisis estadísticos y representaciones gráficas de los valores en los casos en que estos se encontraron bajo el límite de detección del método utilizado, se utilizó el valor de límite de detección dividido en dos.

Luego de la aplicación del ANDEVA y en aquellos casos en que los factores principales sectores y campañas de muestreo, evidenciaron diferencias significativas ($p < 0,05$), se aplicó la prueba *a posteriori* de Tukey para determinar qué sector o campaña era el responsable de generar las diferencias entre niveles de cada factor. La prueba de Tukey permite comparar entre todas las medias de los niveles de un factor. Dado que el uso repetido de cada nivel comparado con el resto de niveles del factor, aumenta la probabilidad de cometer error de Tipo I (cuando no se acepta una hipótesis nula siendo ésta verdadera) y la prueba de Tukey no es tan conservadora, el valor de significancia de todas las comparaciones (tasa de error familiar) se fijó en 0,05. Los resultados de las pruebas de Tukey, se resumieron estableciendo relaciones de igualdad vs desigualdad entre niveles de cada factor. Todos los procedimientos anteriores se realizaron usando el módulo Generalized Linear Models implementado en MINITAB v13 (MINITAB 2003).

4.1.1.3. Resultados

Temperatura, pH, conductividad y sólidos disueltos totales (SDT)

Las Tablas 4.1.1.2 a 4.1.1.5, muestran la variabilidad espacial y temporal de la temperatura, pH, conductividad y sólidos disueltos totales durante los meses de abril, mayo y julio de 2014, abril a diciembre de 2015 y enero a diciembre de 2016.

Los datos de los meses correspondientes al año 2014 fueron generados durante la ejecución del Programa de Diagnóstico Ambiental del HRC, mientras que los correspondientes al año 2015 y 2016 corresponden al primer y segundo año del Programa de Monitoreo Ambiental del HRC.

En términos generales, la variabilidad espacial de la temperatura durante cada muestreo fue bastante homogénea, con la ocurrencia general de valores más altos en el eje central del río Cruces y ríos tributarios (Tabla 4.1.1.2 y Fig. 4.1.1.2).

Tabla 4.1.1.2. Comparación interanual de la temperatura (°C) en aguas superficiales del eje central del río Cruces y ríos Pichoy, Cayumapu y Calle Calle.

estaciones	temperatura (°C)											
	2014			2015								
	abr	may	jul	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
Eje central del río Cruces (sector límnic)												
1 (sector Ciruelos)	13,1	10,1	10,3	16,2	12,7	10,4	10,5	11,0	10,8	12,6	14,2	14,9
2 (sector Rucaco)	13,6	10,4	10,5	17,0	13,4	10,5	10,6	10,3	11,2	12,0	14,7	14,7
Eje central del río Cruces (sector estuarial)												
3 (sector Fuerte San Luis)	13,8	10,4	11,7	16,5	12,7	10,9	10,5	10,5	11,2	11,9	16,2	16,2
4 (sector Santa Clara)	14,7	10,0	10,5	17,2	13,5	10,2	10,8	11,1	12,7	14,9	16,7	18,1
5 (sector Punucapa)	15,1	11,6	10,4	17,7	13,5	10,3	11,0	11,4	12,6	14,9	17,5	19,3
Ríos tributarios del río Cruces												
6 (sector Pichoy)	13,3	8,8	10,2	15,7	12,6	9,6	10,5	10,7	11,8	12,9	14,3	16,8
7 (sector Cayumapu)	15,1	9,8	10,1	17,4	13,3	10,1	10,5	10,7	13,0	15,4	17,9	19,6
Fuera del humedal del río Cruces y ríos tributarios												
8 (sector Calle Calle)	15,6	11,6	10,1	17,8	14,0	12,2	10,4	10,3	11,0	11,8	14,0	16,5

Continuación **Tabla 4.1.1.2.**

estaciones	temperatura (°C)											
	2016											
	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
Eje central del río Cruces (sector límnic)												
1 (sector Ciruelos)	20,2	20,1	18,3	12,8	12,0	7,7	6,3	9,8	13,1	15,0	16,5	19,9
2 (sector Rucaco)	20,8	19,8	18,7	13,4	12,9	9,2	7,4	10,2	12,5	16,1	17,3	20,6
Eje central del río Cruces (sector estuarial)												
3 (sector Fuerte San Luis)	22,4	21,4	19,3	14,1	12,8	8,2	6,5	10,5	12,8	15,8	19,5	22,7
4 (sector Santa Clara)	24,4	22,8	21,2	15,7	13,2	8,6	6,6	9,7	14,3	18,8	23,2	23,2
5 (sector Punucapa)	23,5	22,7	20,7	16,3	13,6	9,4	7,7	9,9	14,4	18,9	23,3	23,3
Ríos tributarios del río Cruces												
6 (sector Pichoy)	23,2	22,0	20,3	15,5	12,0	7,3	6,1	9,6	13,4	16,7	23,5	23,1
7 (sector Cayumapu)	23,8	22,6	20,9	16,9	13,3	8,6	6,6	10,0	14,3	18,7	23,1	23,1
Fuera del humedal del río Cruces y ríos tributarios												
8 (sector Calle Calle)	22,2	21,7	20,1	17,0	14,5	10,5	9,2	10,0	12,2	15,5	17,2	20,7

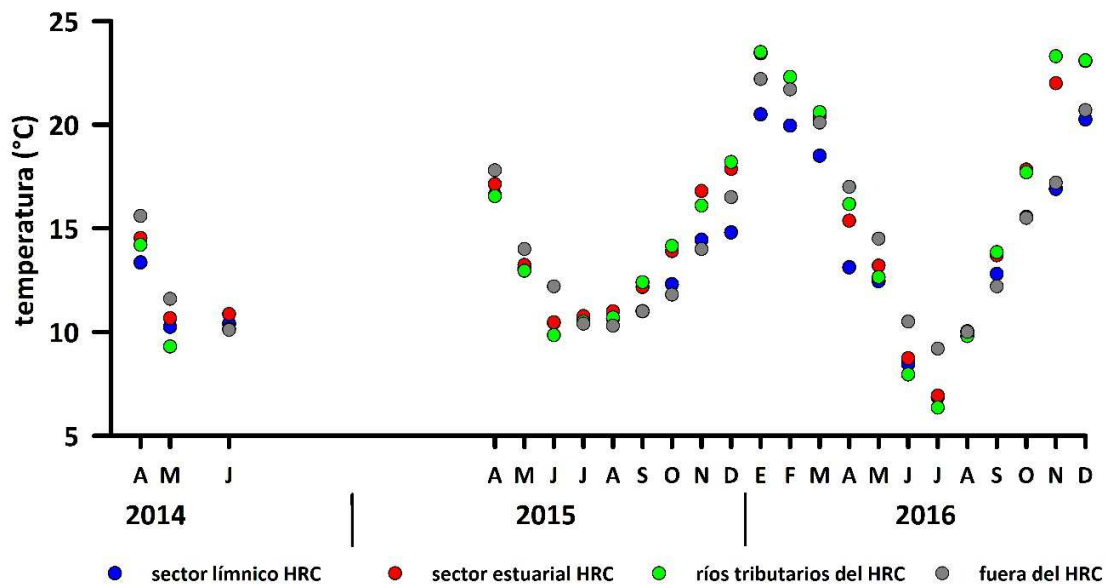


Figura 4.1.1.2. Comparación interanual de la temperatura (°C) en aguas superficiales del sector línico del río Cruces, sector estuarial del río Cruces, ríos tributarios del río Cruces y fuera del humedal del río Cruces.

Aun cuando no se encontró un patrón definido de variabilidad espacial del pH, los datos muestran que en general los valores más altos ocurrieron en el sector línico y fuera del humedal de río Cruces y sus ríos tributarios (río Calle Calle) (Tabla 4.1.1.3 y Fig. 4.1.1.3).

Tabla 4.1.1.3. Comparación interanual del pH en aguas superficiales del eje central del río Cruces y ríos Pichoy, Cayumapu y Calle Calle. SD=sin dato debido a problemas técnicos de la sonda de mediciones.

estaciones	pH											
	2014			2015								
	abr	may	jul	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
Eje central del río Cruces (sector límnic)												
1 (sector Ciruelos)	7,0	7,6	7,0	7,5	8,1	6,6	7,2	6,6	8,0	8,0	7,8	7,3
2 (sector Rucaco)	7,2	7,5	7,1	8,2	7,9	6,4	8,0	6,9	7,8	7,5	7,3	7,2
Eje central del río Cruces (sector estuarial)												
3 (sector Fuerte San Luis)	8,4	7,3	7,8	7,8	7,2	6,6	8,5	7,1	8,0	8,0	7,6	8,2
4 (sector Santa Clara)	8,3	7,5	7,8	8,1	7,8	7,0	6,8	7,0	7,4	7,9	8,7	7,5
5 (sector Punucapa)	8,1	7,2	7,2	8,3	7,8	7,2	7,1	7,4	7,6	7,9	7,8	7,8
Ríos tributarios del río Cruces												
6 (sector Pichoy)	8,0	7,6	6,6	7,9	8,1	6,9	6,7	7,0	7,1	7,8	7,6	6,7
7 (sector Cayumapu)	7,5	7,4	7,4	7,5	8,0	6,6	7,2	6,8	7,5	7,9	7,7	7,6
Fuera del humedal del río Cruces y ríos tributarios												
8 (sector Calle Calle)	7,6	7,1	6,7	7,6	7,6	7,8	7,1	7,4	7,9	9,3	7,9	7,5

Continuación **Tabla 4.1.1.3.**

estaciones	pH											
	2016											
	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
Eje central del río Cruces (sector límnic)												
1 (sector Ciruelos)	8,3	8,8	8,2	8,6	8,7	9,8	9,0	SD	8,2	8,6	8,4	8,2
2 (sector Rucaco)	8,1	8,2	8,1	8,6	8,3	9,3	8,7	SD	8,5	8,7	8,2	8,1
Eje central del río Cruces (sector estuarial)												
3 (sector Fuerte San Luis)	9,3	9,1	9,0	9,1	8,7	9,1	9,2	SD	8,4	7,8	7,0	7,5
4 (sector Santa Clara)	7,9	7,9	7,7	8,6	7,8	8,3	8,3	SD	7,9	8,0	7,6	7,3
5 (sector Punucapa)	8,1	7,7	8,2	7,8	8,1	8,0	8,3	SD	7,9	8,4	7,3	7,6
Ríos tributarios del río Cruces												
6 (sector Pichoy)	8,0	8,0	8,4	8,1	8,1	8,5	7,7	SD	7,7	7,7	7,6	7,4
7 (sector Cayumapu)	8,4	8,2	8,3	8,0	8,0	8,6	8,1	SD	7,6	8,0	7,5	7,5
Fuera del humedal del río Cruces y ríos tributarios												
8 (sector Calle Calle)	7,8	9,0	8,8	8,5	8,6	9,2	8,5	SD	8,3	8,0	7,4	7,3

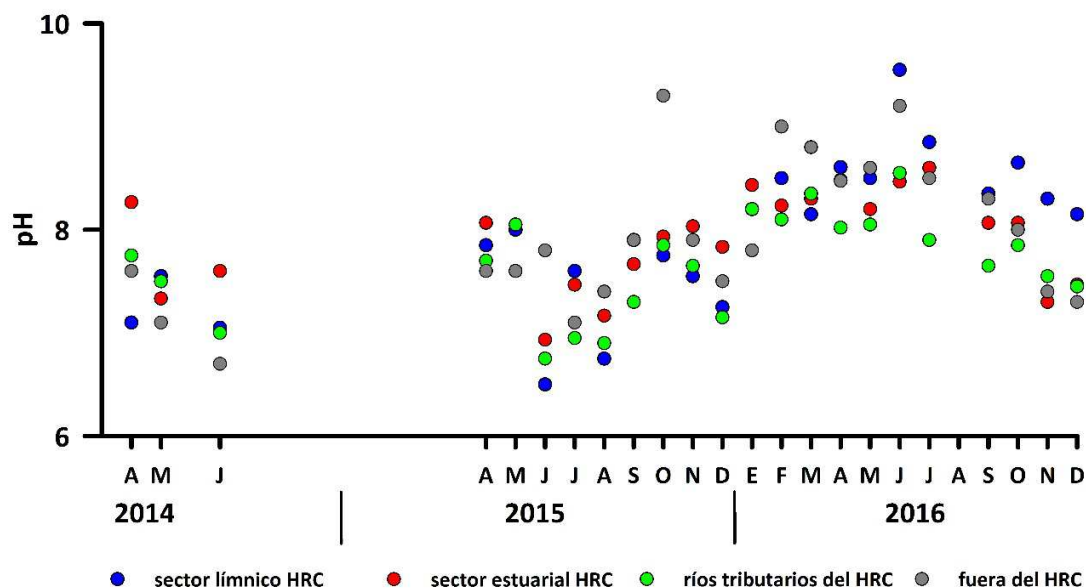


Figura 4.1.1.3. Comparación interanual del pH en aguas superficiales del sector límnico del río Cruces, sector estuarial del río Cruces, ríos tributarios del río Cruces y fuera del humedal del río Cruces.

La conductividad del agua superficial mostró valores más altos y mayor heterogeneidad espacial durante los muestreos de abril 2014, abril y mayo 2015 y verano del año 2016 (Tabla 4.1.1.4 y Fig. 4.1.1.4). Tales fechas corresponden a los meses de menor caudal hídrico y consecuentemente, hay mayor intrusión salina al HRC (hasta aproximadamente la estación 4, Santa Clara).

Las conductividades del agua de las estaciones de Ciruelos y Rucaco (sector límnico del área de estudio), fueron similares a las del río Calle Calle durante la mayor parte del año con la excepción de los meses estivales o época de menor caudal hídrico; durante esos meses la conductividad del agua fue mayor en Rucaco vs. Ciruelos (en algunos meses hasta aproximadamente 4 veces más alta; Tabla 4.1.1.4 y Fig. 4.1.1.4).

Tabla 4.1.1.4. Comparación interanual de la conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$) en aguas superficiales del eje central del río Cruces y ríos Pichoy, Cayumapu y Calle Calle.

estaciones	conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$)											
	2014			2015								
	abr	may	jul	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
Eje central del río Cruces (sector límnico)												
1 (sector Ciruelos)	33,4	25,0	18,0	43,7	34,4	19,5	19,1	26,1	21,1	23,0	26,9	26,6
2 (sector Rucaco)	108,0	40,0	21,0	149,6	124,9	24,6	25,0	21,9	35,5	38,6	66,0	49,8
Eje central del río Cruces (sector estuarial)												
3 (sector Fuerte San Luis)	98,1	48,0	26,0	135,0	83,7	27,7	26,6	24,9	35,9	37,0	57,8	67,0
4 (sector Santa Clara)	131,7	42,0	26,0	886,0	683,3	27,8	25,2	23,4	33,7	36,0	48,6	52,1
5 (sector Punucapa)	579,9	44,0	25,0	2678,3	2371,3	25,0	24,9	24,4	32,9	37,0	46,7	79,9
Ríos tributarios del río Cruces												
6 (sector Pichoy)	30,5	25,0	19,0	111,9	92,5	23,9	20,8	19,9	22,9	24,5	24,7	24,7
7 (sector Cayumapu)	286,6	36,0	20,0	1587,7	560,0	32,7	22,6	21,0	23,4	30,6	35,4	39,5
Fuera del humedal del río Cruces y ríos tributarios												
8 (sector Calle Calle)	39,2	30,0	27,0	44,8	34,9	32,0	24,8	24,6	28,3	31,1	33,0	32,9

Continuación **Tabla 4.1.1.4.**

Estaciones	conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$)											
	2016											
	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
Eje central del río Cruces (sector límnic)												
1 (sector Ciruelos)	38,9	40,5	40,6	35,7	32,7	30,9	28,1	20,9	25,3	28,2	33,6	41,6
2 (sector Rucaco)	128,7	158,8	165,8	145,8	106,5	102,0	103,1	36,5	43,1	62,2	76,0	135,4
Eje central del río Cruces (sector estuarial)												
3 (sector Fuerte San Luis)	115,3	155,2	159,1	131,6	93,7	92,8	83,9	37,6	44,1	55,6	77,5	123,2
4 (sector Santa Clara)	228,4	332,2	1142,0	438,5	128,4	169,2	241,5	27,4	43,7	51,1	66,0	92,1
5 (sector Punucapa)	824,0	1815,3	4840,3	3552,7	488,9	578,3	1263,3	29,8	40,5	49,8	62,5	141,8
Ríos tributarios del río Cruces												
6 (sector Pichoy)	38,4	43,2	94,6	41,7	39,8	39,8	78,9	26,4	28,3	30,8	39,9	45,7
7 (sector Cayumapu)	113,3	165,6	607,0	762,0	257,7	87,5	104,7	30,5	33,8	36,6	43,2	62,2
Fuera del humedal del río Cruces y ríos tributarios												
8 (sector Calle Calle)	42,2	43,0	47,5	39,8	37,0	33,7	32,2	30,0	31,7	35,8	35,9	48,6

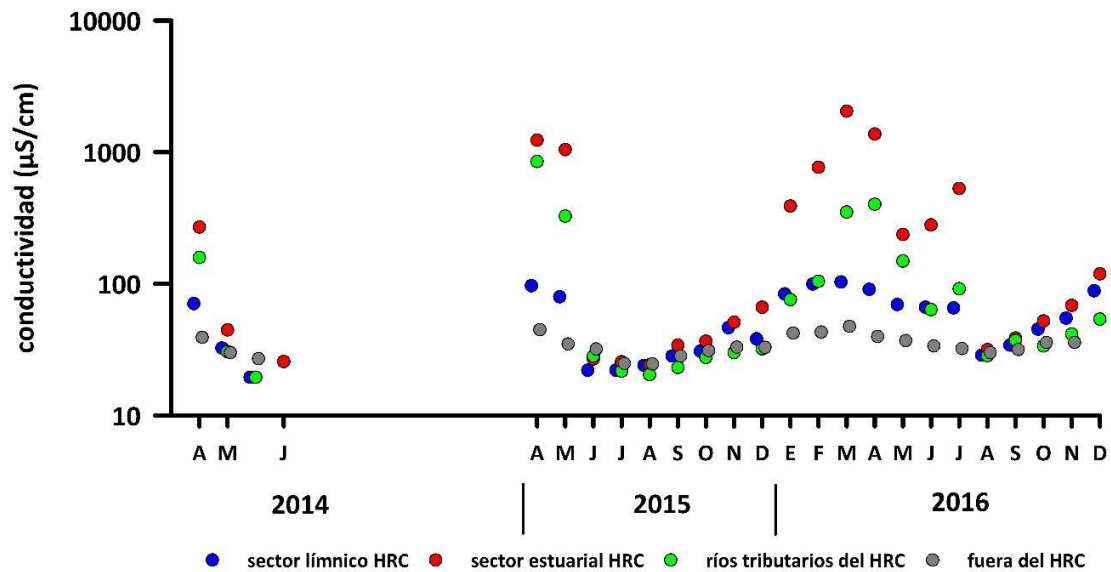


Figura 4.1.1.4. Comparación interanual de la conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$) en aguas superficiales del sector línico del río Cruces, sector estuarial del río Cruces, ríos tributarios del río Cruces y fuera del humedal del río Cruces.

La variabilidad temporal y espacial de las concentraciones de sólidos disueltos totales, tuvo un patrón similar al descrito para los valores de conductividad del agua superficial, lo que se evidencia al comparar los valores de las Tablas 4.1.1.4, 4.1.1.5 y Figs.4.1.1.4 y 4.1.1.5.

Tabla 4.1.1.5. Comparación interanual de los sólidos disueltos totales (mg/L) en aguas superficiales del eje central del río Cruces y ríos Pichoy, Cayumapu y Calle Calle. SD = sin datos.

estaciones	sólidos disueltos totales (SDT) (mg/L)											
	2014			2015								
	abr	may	jul	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
Eje central del río Cruces (sector límnico)												
1 (sector Ciruelos)	28,0	22,0	17,0	SD	29,3	17,6	16,9	23,4	18,9	19,5	22,1	21,5
2 (sector Rucaco)	90,0	36,0	19,0	SD	104,0	22,1	22,5	19,5	31,2	33,2	53,3	40,3
Eje central del río Cruces (sector estuarial)												
3 (sector Fuerte San Luis)	81,0	43,0	23,0	SD	71,1	24,7	24,1	22,3	31,9	31,9	45,5	52,4
4 (sector Santa Clara)	107,0	38,0	23,0	SD	572,0	25,4	22,5	20,8	28,6	29,3	37,3	39,0
5 (sector Punucapa)	465,0	38,0	23,0	SD	2030,0	24,3	21,9	21,5	28,0	29,9	35,5	58,3
Ríos tributarios del río Cruces												
6 (sector Pichoy)	26,0	24,0	17,0	SD	78,7	22,1	18,6	17,6	20,2	20,8	20,2	18,9
7 (sector Cayumapu)	230,0	33,0	18,0	SD	468,0	29,9	20,8	18,9	23,4	24,1	26,7	28,6
Fuera del humedal del río Cruces y ríos tributarios												
8 (sector Calle Calle)	31,0	27,0	25,0	SD	28,6	27,3	22,8	22,1	25,4	26,9	27,3	25,4

Continuación **Tabla 4.1.1.5.**

Estaciones	sólidos disueltos totales (SDT) (mg/L)											
	2016											
	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
Eje central del río Cruces (sector límnic)												
1 (sector Ciruelos)	28,0	29,3	30,6	30,6	28,6	29,9	28,6	18,9	21,5	22,8	26,0	29,9
2 (sector Rucaco)	91,0	114,4	122,9	121,5	90,4	94,9	100,8	33,2	37,1	48,7	57,9	95,7
Eje central del río Cruces (sector estuarial)												
3 (sector Fuerte San Luis)	78,9	108,3	115,9	107,9	79,1	88,8	84,5	33,8	37,5	43,6	55,9	83,9
4 (sector Santa Clara)	149,7	226,2	799,4	348,6	107,5	159,7	241,9	25,4	35,8	37,5	44,4	62,0
5 (sector Punucapa)	552,5	1235,0	3419,0	2760,4	406,5	533,0	1211,2	27,3	33,2	36,4	42,3	97,1
Ríos tributarios del río Cruces												
6 (sector Pichoy)	25,8	29,9	67,6	33,2	34,5	39,0	80,6	24,1	23,4	24,5	26,7	31,0
7 (sector Cayumapu)	75,2	112,9	429,0	585,0	215,6	82,6	104,9	28,0	28,0	27,3	29,5	42,0
Fuera del humedal del río Cruces y ríos tributarios												
8 (sector Calle Calle)	29,9	29,9	33,8	30,6	29,9	30,6	29,9	27,3	27,3	28,6	27,3	34,5

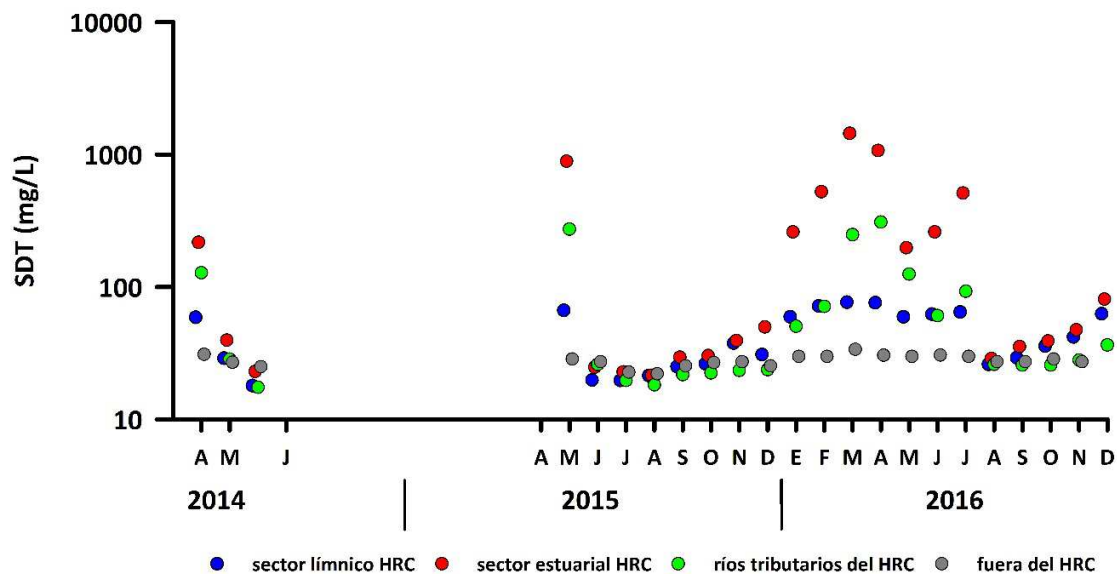


Figura 4.1.1.5. Comparación interanual de los sólidos disueltos totales (mg/L) en aguas superficiales del sector límnico del río Cruces, sector estuarial del río Cruces, ríos tributarios del río Cruces y fuera del humedal del río Cruces.

Sólidos suspendidos totales (SST) y transparencia del agua

Las Tablas 4.1.1.6 y 4.1.1.7 muestran la variabilidad espacio temporal en el contenido de sólidos suspendidos totales (SST) y transparencia del agua, durante el periodo 2014 - 2016. En términos generales, el contenido de SST fue menor durante el período estival y mayor durante el período invernal (Fig. 4.1.1.6). Esta variabilidad temporal está probablemente relacionada con el aumento del caudal hídrico durante el invierno, resultando en mayor escorrentía hacia los cauces y consecuentemente, mayor concentración de SST.

Tabla 4.1.1.6. Comparación interanual en la concentración de sólidos suspendidos totales (mg/L) en aguas superficiales del eje central del río Cruces y ríos Pichoy, Cayumapu y Calle Calle.

estaciones	SST (mg/L)											
	2014			2015								
	abr	may	jul	abr	may	Jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
Eje central del río Cruces (sector límnic)												
1 (sector Ciruelos)	3,9	16,9	20,9	4,8	2,6	7,8	4,5	14,4	6,1	2,6	4,5	8,1
2 (sector Rucaco)	4,5	18,2	18,7	2,3	2,6	8,9	5,6	13,3	8,3	3,6	3,6	25,4
Eje central del río Cruces (sector estuarial)												
3 (sector Fuerte San Luis)	1,7	4,3	4,4	3,4	1,6	2,7	3,7	4,6	4,6	4,1	3,5	6,2
4 (sector Santa Clara)	2,5	5,8	14,3	2,9	4,4	3,4	4,1	4,8	1,7	2,9	6,9	4,3
5 (sector Punucapa)	4,2	5,6	7,2	4,3	4,3	2,8	5,3	4,2	3,3	3,7	4,6	5,4
Ríos tributarios del río Cruces												
6 (sector Pichoy)	4,6	2,5	29,5	3,5	2,5	3,2	6,2	7,2	3,2	2,9	6,4	6,6
7 (sector Cayumapu)	3,2	4,0	7,6	2,5	12,2	4,6	5,2	8,3	6,4	3,5	7,5	7,8
Fuera del humedal del río Cruces y ríos tributarios												
8 (sector Calle Calle)	2,2	6,2	16,1	2,1	3,6	12,9	14,4	11,3	6,3	2,4	2,0	2,0

Continuación **Tabla 4.1.1.6.**

estaciones	SST (mg/L)											
	2016											
	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
Eje central del río Cruces (sector límnic)												
1 (sector Ciruelos)	7,1	4,4	3,0	1,5	1,7	4,3	6,3	8,0	2,6	6,9	5,8	4,2
2 (sector Rucaco)	3,5	2,5	2,2	3,2	1,3	1,9	1,7	15,8	2,7	3,4	5,8	7,2
Eje central del río Cruces (sector estuarial)												
3 (sector Fuerte San Luis)	3,7	3,6	5,1	3,0	1,9	2,5	1,9	4,7	2,2	3,1	3,1	2,9
4 (sector Santa Clara)	6,7	4,8	4,4	2,1	0,9	2,3	2,7	5,2	2,2	4,6	3,9	3,7
5 (sector Punucapa)	9,2	7,5	9,6	6,9	1,8	4,8	2,4	5,2	2,4	7,9	5,3	5,2
Ríos tributarios del río Cruces												
6 (sector Pichoy)	7,3	7,7	3,0	2,2	2,1	2,3	2,5	6,6	4,4	5,2	5,0	6,0
7 (sector Cayumapu)	7,8	5,2	4,3	7,0	2,0	2,4	4,2	6,6	2,6	5,3	5,4	5,4
Fuera del humedal del río Cruces y ríos tributarios												
8 (sector Calle Calle)	1,7	2,3	2,5	2,0	1,2	1,3	1,1	7,6	1,1	1,4	1,3	1,3

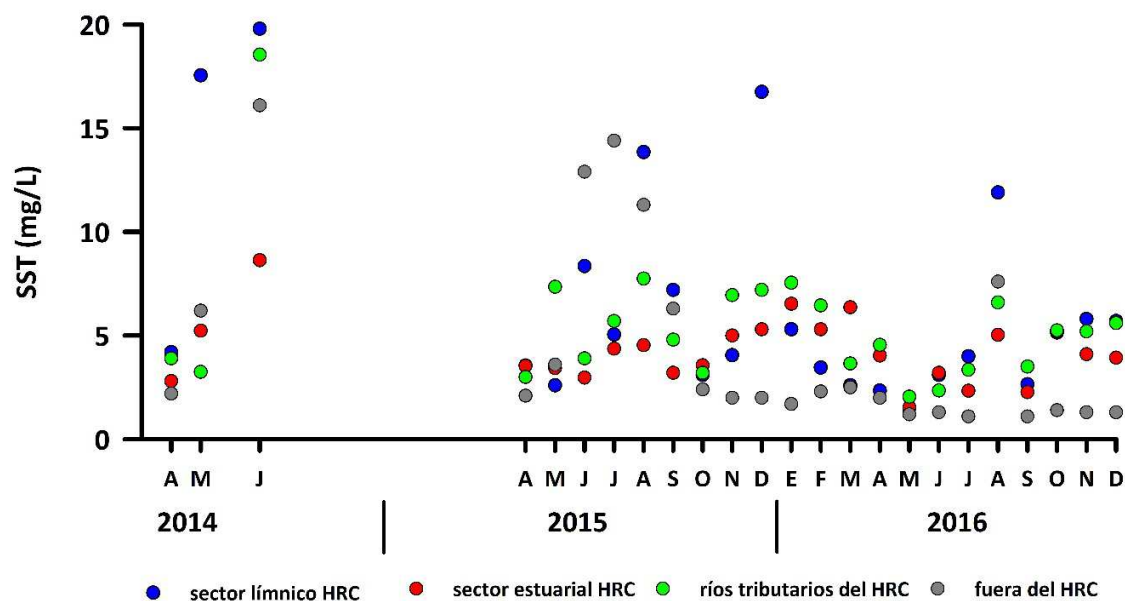


Figura 4.1.1.6. Comparación interanual de los sólidos suspendidos totales (mg/L) en aguas superficiales del sector límnic del río Cruces, sector estuarial del río Cruces, ríos tributarios del río Cruces y fuera del humedal del río Cruces.

La transparencia del agua fue en general menor durante las campañas realizadas en los periodos de alto caudal hídrico (Tabla 4.1.1.7 y Fig. 4.1.1.7) correspondientes a los meses de julio y agosto, situación probablemente relacionada a la mayor escorrentía y arrastre de material particulado desde las laderas u orillas de la cuenca a los cuerpos hídricos estudiados y la resuspensión por aumento en la velocidad del caudal. La transparencia del agua varió inversamente con la concentración de sólidos suspendidos totales; *i.e.*, a mayores concentraciones de sólidos suspendidos totales, menor fue la transparencia del agua y *viceversa* (*cf.* Tablas 4.1.1.6 y 4.1.1.7).

Tabla 4.1.1.7. Comparación interanual de la transparencia (m) en aguas superficiales del eje central del río Cruces y ríos Pichoy, Cayumapu y Calle Calle. * = debido al bajo caudal del río durante algunos muestreos, no fue posible obtener una medida real de transparencia ya que en estas estaciones el fondo era claramente visualizado y no estaba a más de 30 a 40 cm de profundidad.

estaciones	transparencia (m)											
	2014			2015								
	abr	may	jul	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
Eje central del río Cruces (sector límnic)												
1 (sector Ciruelos)	*	0,8	0,7	*	*	1,0	*	*	*	*	*	*
2 (sector Rucaco)	*	0,9	0,5	*	*	1,0	*	*	*	*	*	*
Eje central del río Cruces (sector estuarial)												
3 (sector Fuerte San Luis)	4,4	2,1	1,5	2,5	SD	2,4	1,3	1,5	2,1	1,9	1,8	1,6
4 (sector Santa Clara)	3,0	1,8	0,8	4,5	3,9	2,4	2,0	1,6	3,3	2,0	2,1	2,5
5 (sector Punucapa)	2,9	2,4	1,3	2,7	2,8	2,5	1,8	2,1	2,9	2,4	2,1	1,7
Ríos tributarios del río Cruces												
6 (sector Pichoy)	2,0	3,0	0,6	2,4	3,2	2,5	1,5	1,3	2,0	2,6	1,9	1,4
7 (sector Cayumapu)	2,5	2,5	1,0	4,5	4,0	2,3	1,5	1,5	2,1	2,5	1,7	1,7
Fuera del humedal del río Cruces y ríos tributarios												
8 (sector Calle Calle)	6,6	1,5	1,3	4,0	4,3	1,4	2,5	1,4	1,6	3,8	4,1	4,0

Continuación **Tabla 4.1.1.7.**

estaciones	transparencia (m)											
	2016											
	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
Eje central del río Cruces (sector límnic)												
1 (sector Ciruelos)	*	*	*	0,7	0,6	*	0,7	0,7	*	*	0,8	*
2 (sector Rucaco)	*	*	*	0,7	0,3	*	0,8	0,7	*	*	0,8	*
Eje central del río Cruces (sector estuarial)												
3 (sector Fuerte San Luis)	1,8	1,7	1,6	1,3	1,7	2,1	4,0	1,1	2,0	3,6	2,3	2,6
4 (sector Santa Clara)	1,8	2,6	2,7	4,5	4,8	4,1	5,1	1,2	4,4	2,8	2,0	2,5
5 (sector Punucapa)	1,4	1,7	2,0	2,3	4,4	2,5	4,3	1,6	3,4	1,5	1,7	2,2
Ríos tributarios del río Cruces												
6 (sector Pichoy)	1,7	1,8	2,8	3,2	3,3	3,1	3,0	1,4	2,9	2,5	2,7	1,8
7 (sector Cayumapu)	1,6	2,1	2,6	4,8	4,4	3,4	2,2	1,7	3,2	2,2	2,0	1,8
Fuera del humedal del río Cruces y ríos tributarios												
8 (sector Calle Calle)	5,5	4,1	3,7	4,7	6,7	6,6	7,0	1,7	6,1	6,8	4,1	6,8

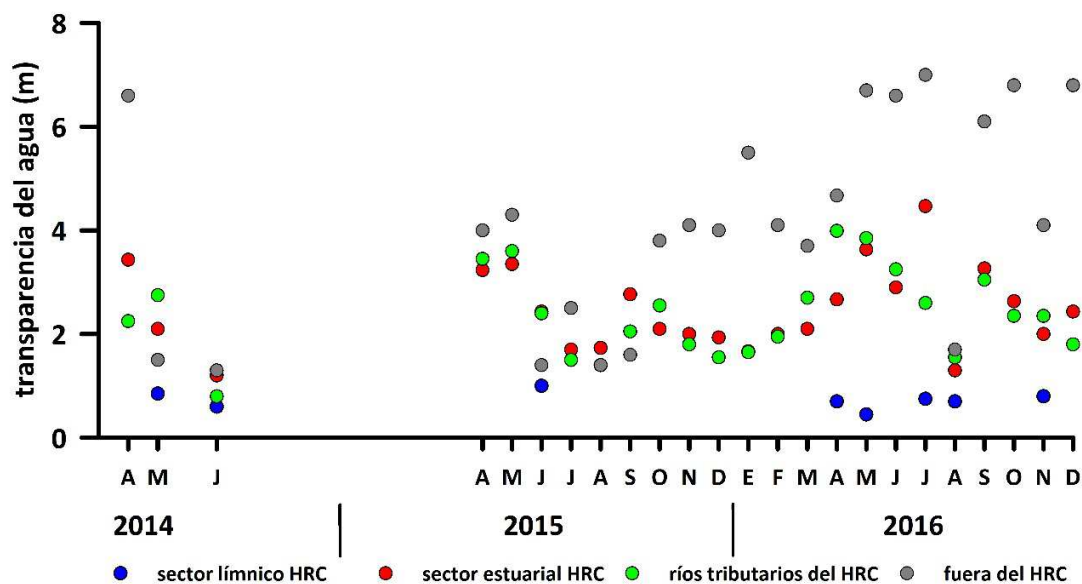


Figura 4.1.1.7. Comparación interanual de la transparencia (m) en aguas superficiales del sector línico del río Cruces, sector estuarial del río Cruces, ríos tributarios del río Cruces y fuera del humedal del río Cruces.

Oxígeno disuelto y saturación de oxígeno

Las Tablas 4.1.1.8 y 4.1.1.9, muestran la variabilidad en la concentración y porcentaje de saturación de oxígeno durante las campañas realizadas durante los años 2014, 2015 y 2016.

Los valores de concentración de oxígeno estuvieron casi en su totalidad cercanos o sobre los 8 mg/L. En general, los valores más bajos se registraron durante el verano del año 2016 para subir gradualmente desde abril a agosto del mismo año (Tabla 4.1.1.8 y Fig. 4.1.1.8).

En general, los porcentajes más bajos de saturación de oxígeno ocurrieron durante meses invernales y en el eje central del río Cruces, además se puede observar que los ríos tributarios se encuentran generalmente bajo el 100% (Tabla 4.1.1.9 y Fig.4.1.1.9).

Tabla 4.1.1.8. Comparación interanual de la concentración de oxígeno (mg/L) en aguas superficiales del eje central del río Cruces y ríos Pichoy, Cayumapu y Calle Calle. SD = sin datos debido a problemas técnicos de la sonda de mediciones.

estaciones	concentración de oxígeno (mg/L)											
	2014			2015								
	abr	may	jul	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
Eje central del río Cruces (sector límnic)												
1 (sector Ciruelos)	10,7	10,4	10,4	SD	11,3	11,1	10,7	9,4	11,2	10,8	10,6	10,0
2 (sector Rucaco)	10,8	9,9	10,6	SD	11,9	11,0	10,7	12,1	11,4	11,9	10,9	10,6
Eje central del río Cruces (sector estuarial)												
3 (sector Fuerte San Luis)	8,2	9,9	7,7	SD	8,8	6,6	9,0	11,9	10,3	10,7	9,2	8,2
4 (sector Santa Clara)	10,1	11,5	10,5	SD	10,3	10,1	10,7	10,1	11,8	10,2	9,9	10,6
5 (sector Punucapa)	10,0	11,0	10,7	SD	10,1	10,3	10,8	10,8	10,5	9,9	9,8	9,8
Ríos tributarios del río Cruces												
6 (sector Pichoy)	9,5	10,8	9,1	SD	9,4	9,0	9,7	9,3	10,4	10,4	9,8	10,1
7 (Sector Cayumapu)	7,6	10,7	8,6	SD	9,9	6,6	8,2	8,2	8,9	9,1	8,3	7,3
Fuera del humedal del río Cruces y ríos tributarios												
8 (sector Calle Calle)	9,6	10,7	11,1	SD	9,7	11,0	11,3	11,5	11,8	11,4	10,3	10,8

Continuación **Tabla 4.1.1.8.**

estaciones	concentración de oxígeno (mg/L)											
	2016											
	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
Eje central del río Cruces (sector límnic)												
1 (sector Ciruelos)	8,7	8,3	9,2	11,1	11,6	14,4	13,7	12,9	12,4	10,9	9,9	11,9
2 (sector Rucaco)	9,3	8,4	9,0	10,6	12,4	13,6	13,6	13,5	12,3	11,3	9,7	13,0
Eje central del río Cruces (sector estuarial)												
3 (sector Fuerte San Luis)	7,8	6,1	7,1	7,5	10,2	11,1	13,0	9,3	11,4	9,1	8,1	9,7
4 (sector Santa Clara)	7,9	8,7	8,9	9,8	9,3	13,8	14,2	12,5	11,7	10,1	8,5	10,4
5 (sector Punucapa)	7,3	8,1	8,9	9,9	10,3	12,4	14,1	11,7	10,5	9,4	8,7	10,3
Ríos tributarios del río Cruces												
6 (sector Pichoy)	6,6	7,7	7,6	9,0	8,8	11,6	13,4	10,5	10,7	8,6	8,4	10,3
7 (Sector Cayumapu)	5,1	4,1	5,7	7,9	8,8	10,8	12,9	10,0	9,2	8,4	8,0	8,1
Fuera del humedal del río Cruces y ríos tributarios												
8 (sector Calle Calle)	8,7	8,9	8,9	9,0	10,2	11,6	11,9	12,3	11,9	11,6	9,8	10,7

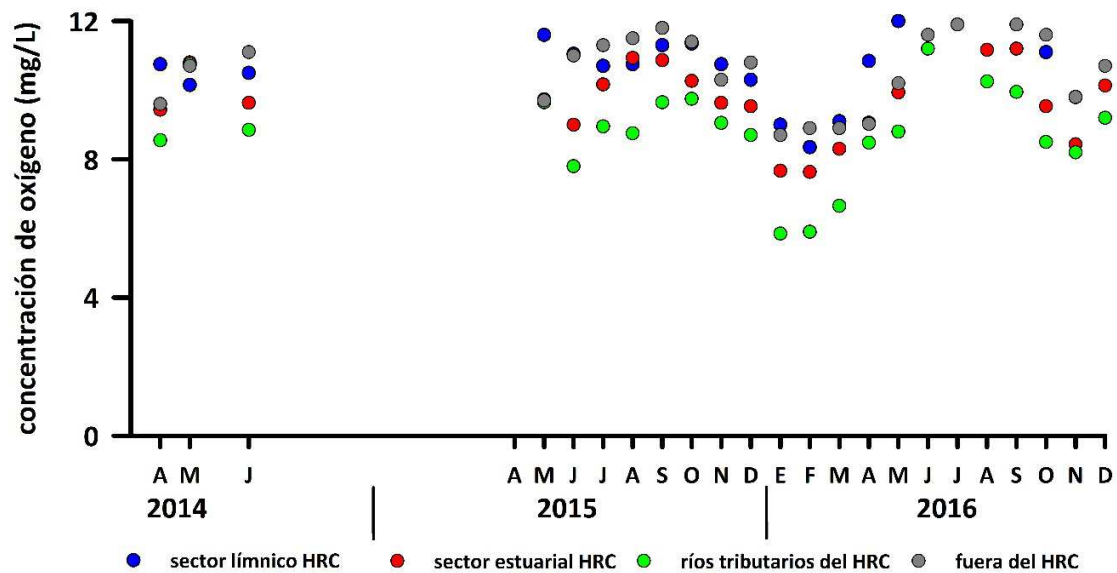


Figura 4.1.1.8. Comparación interanual de la concentración de oxígeno (mg/L) en aguas superficiales del sector lagoon del río Cruces, sector estuarial del río Cruces, ríos tributarios del río Cruces y fuera del humedal del río Cruces.

Tabla 4.1.1.9. Comparación interanual de la saturación de oxígeno (%) en aguas superficiales del eje central del río Cruces y ríos Pichoy, Cayumapu y Calle Calle,

estaciones	saturación de oxígeno (%)											
	2014			2015								
	abr	may	jul	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
Eje central del río Cruces (sector límnic)												
1 (sector Ciruelos)	101,5	92,0	92,6	105,9	106,2	98,8	95,5	85,0	101,7	102,6	103,1	100,1
2 (sector Rucaco)	104,4	88,1	94,6	104,3	114,3	98,6	96,2	107,6	104,2	112,0	107,5	104,4
Eje central del río Cruces (sector estuarial)												
3 (sector Fuerte San Luis)	79,0	88,7	71,0	71,8	83,2	59,8	80,9	107,0	94,9	101,4	94,8	84,0
4 (sector Santa Clara)	99,3	102,0	94,0	113,7	99,6	89,5	96,7	92,0	111,4	101,0	101,6	116,4
5 (sector Punucapa)	99,2	101,1	95,5	113,1	98,7	91,6	98,8	102,1	100,4	98,0	102,2	106,3
Ríos tributarios del río Cruces												
6 (sector Pichoy)	90,8	93,4	80,7	90,8	89,6	79,3	87,3	86,0	96,9	98,7	96,3	103,8
7 (sector Cayumapu)	75,7	94,1	75,9	78,0	93,2	59,2	74,0	73,7	85,6	91,3	88,3	81,3
Fuera del humedal del río Cruces y ríos tributarios												
8 (sector Calle Calle)	96,4	98,1	98,5	97,9	95,8	103,0	101,6	102,4	108,1	105,8	100,1	110,8

Continuación **Tabla 4.1.1.9.**

saturación de oxígeno (%)												
estaciones	2016											
	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
Eje central del río Cruces (sector límnico)												
1 (sector Ciruelos)	97,3	91,7	98,5	106,7	108,6	120,7	111,9	116,3	117,9	108,0	100,9	130,4
2 (sector Rucaco)	103,9	93,2	97,2	101,2	117,3	117,8	111,3	123,8	117,3	115,2	101,6	144,6
Eje central del río Cruces (sector estuarial)												
3 (sector Fuerte San Luis)	85,4	68,6	78,5	73,3	98,1	95,9	105,7	84,2	110,8	92,2	88,4	112,0
4 (sector Santa Clara)	94,4	100,1	100,7	98,9	89,1	118,2	116,0	112,3	113,9	109,1	100,3	122,7
5 (sector Punucapa)	86,2	95,1	101,1	102,0	100,1	110,3	118,6	103,9	101,6	101,9	102,0	118,3
Ríos tributarios del río Cruces												
6 (sector Pichoy)	76,5	88,1	84,7	90,5	82,1	96,6	108,1	92,1	103,2	88,6	99,5	120,3
7 (sector Cayumapu)	60,3	47,7	63,4	82,5	83,8	92,3	105,6	95,7	89,7	83,2	93,2	95,8
Fuera del humedal del río Cruces y ríos tributarios												
8 (sector Calle Calle)	100,3	100,9	99,0	93,1	100,4	106,8	103,5	109,0	111,3	118,7	101,5	119,8

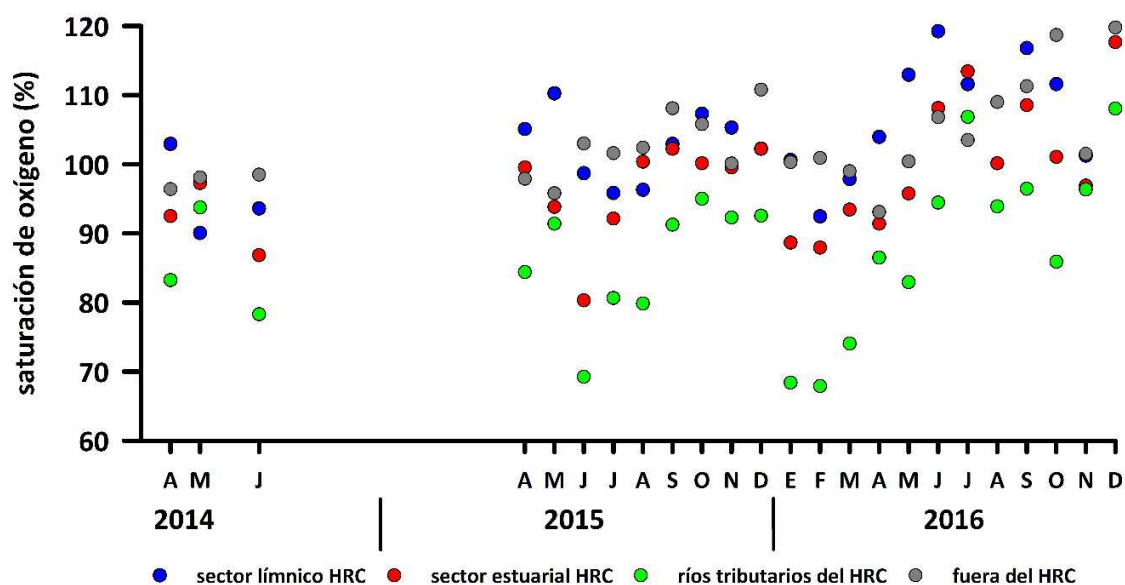


Figura 4.1.1.9. Comparación interanual de la saturación de oxígeno (%) en aguas superficiales del sector límnico del río Cruces, sector estuarial del río Cruces, ríos tributarios del río Cruces y fuera del humedal del río Cruces.

Demanda Bioquímica (DBO₅) y Química de Oxígeno (DQO)

La Tabla 4.1.1.10 muestra la representación numérica del contenido de la demanda biológica y química de oxígeno, en el agua del área de estudio. En general, la DBO₅ presentó valores en el rango informado para el año 2014; los valores más altos se han detectado durante los meses de julio de cada año (período de mayor caudal hídrico). Durante el año 2016, esta tendencia sólo se mantuvo en los ríos tributarios, ya que los otros sectores presentaron valores más bajos durante la segunda campaña. En particular, sólo en la estación 8 (Calle Calle) y durante el muestreo de abril 2015 no se detectó consumo de oxígeno (Tabla 4.1.1.10 y Fig. 4.1.1.10).

La demanda química de oxígeno durante el 2015 y 2016, también mostró valores que están dentro del rango informado para el año 2014, aunque en promedio

las concentraciones del año 2015 fueron más altas que el año 2014, excepto la estación 8 correspondiente al río Calle Calle. Durante el año 2016, los valores fueron más bajos que los del año 2015, pero similares al 2014 (Programa de Diagnóstico Ambiental del HRC). Los valores de DQO medidos durante el año 2015 fueron comparables entre las dos campañas, observándose en general valores más altos en ríos tributarios del HRC (Tabla 4.1.1.10 y Fig. 4.1.1.10). Esta tendencia también se observa durante el año 2016, además se registraron valores más bajos en todos los sectores durante la campaña de julio (en comparación con la campaña de abril).

Tabla 4.1.1.10. Valores de DBO₅ y DQO en aguas superficiales del eje central del río Cruces y ríos Pichoy, Cayumapu y Calle Calle, entre los años 2014, 2015 y 2016. Los valores son promedios con desviación estándar en paréntesis. * = No detectado, *i.e.*, bajo el límite de detección del método utilizado.

estaciones	DBO ₅ (mg/L)				
	2014			2015	
	abril	mayo	julio	abril	julio
Eje central del río Cruces (sector límnic)					
1 (sector Ciruelos)	1,7 (0,7)	1,1 (0,4)	*	0,3 (0,42)	2,7 (0,14)
2 (sector Rucaco)	1,4 (0,6)	0,8 (0,3)	*	0,8 (0,0)	1,7 (0,14)
Eje central del río Cruces (sector estuarial)					
3 (sector Fuerte San Luis)	0,7 (0,1)	0,7 (0,1)	*	0,9 (0,14)	2,6 (0,85)
4 (sector Santa Clara)	1,3 (0,7)	0,8 (0,0)	2,2 (0,3)	0,3 (0,42)	0,9 (0,42)
5 (sector Punucapa)	0,8 (0,3)	1,1 (0,1)	1,1 (0,1)	1,2 (0,0)	1,5 (0,14)
Ríos tributarios del río Cruces					
6 (río Pichoy)	1,1 (0,1)	*	2,6 (0,0)	0,8 (0,0)	1,0 (0,28)
7 (río Cayumapu)	0,8 (0,0)	0,9 (0,1)	0,9 (0,1)	1,4 (0,0)	0,6 (0,85)
Fuera del humedal del río Cruces y ríos tributarios					
8 (río Calle Calle)	2,3 (0,4)	*	*	*	1,6 (0,0)

Continuación **Tabla 4.1.1.10.**

estaciones	DBO ₅ (mg/L)	
	2016	
	abril	julio
Eje central del río Cruces (sector límnic)		
1 (sector Ciruelos)	1,2 (0,0)	1,0 (0,3)
2 (sector Rucaco)	1,4 (0,0)	1,2 (0,0)
Eje central del río Cruces (sector estuarial)		
3 (sector Fuerte San Luis)	1,6 (0,0)	0,4 (0,6)
4 (sector Santa Clara)	0,7 (0,1)	0,9 (0,4)
5 (sector Punucapa)	1,0 (0,3)	0,8 (0,0)
Ríos tributarios del río Cruces		
6 (río Pichoy)	*	1,6 (1,1)
7 (río Cayumapu)	1,6 (0,0)	2,3 (0,1)
Fuera del humedal del río Cruces y ríos tributarios		
8 (río Calle Calle)	*	0,3 (0,4)

Continuación **Tabla 4.1.1.10.**

estaciones	DQO (mg/L)				
	2014			2015	
	abril	mayo	julio	abril	julio
Eje central del río Cruces (sector límnico)					
1 (sector Ciruelos)	5,0 (0,0)	4,0 (0,0)	7,0 (0,0)	9,0 (1,41)	8,0 (0,0)
2 (sector Rucaco)	6,0 (1,4)	6,0 (3,0)	7,0 (0,0)	7,5 (0,71)	10,0 (0,0)
Eje central del río Cruces (sector estuarial)					
3 (sector Fuerte San Luis)	6,0 (1,4)	4,0 (1,0)	5,0 (0,0)	7,0 (0,0)	10,5 (0,0)
4 (sector Santa Clara)	5,5 (0,7)	5,0 (0,0)	9,0 (0,0)	10,5 (0,71)	7,5 (3,54)
5 (sector Punucapa)	7,5 (2,1)	3,0 (0,0)	6,0 (0,0)	7,5 (0,71)	6,5 (3,54)
Ríos tributarios del río Cruces					
6 (río Pichoy)	6,0 (0,0)	6,0 (1,0)	12,0 (0,0)	14,5 (0,71)	7,0 (0,0)
7 (río Cayumapu)	7,0 (1,4)	6,0 (0,0)	10,5 (0,7)	11,0 (0,0)	13,0 (0,0)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios					
8 (río Calle Calle)	4,0 (0,0)	5,5 (1,0)	5,5 (0,7)	3,0 (1,41)	4,0 (4,0)

Continuación **Tabla 4.1.1.10.**

estaciones	DQO ₅ (mg/L)	
	2016	
	abril	julio
Eje central del río Cruces (sector límnic)		
1 (sector Ciruelos)	3,0 (0,0)	3,5 (0,7)
2 (sector Rucaco)	7,5 (0,7)	8,5 (0,7)
Eje central del río Cruces (sector estuarial)		
3 (sector Fuerte San Luis)	6,0 (1,4)	4,5 (0,7)
4 (sector Santa Clara)	9,0 (1,4)	5,0 (0,0)
5 (sector Punucapa)	10,5 (0,7)	4,5 (0,7)
Ríos tributarios del río Cruces		
6 (río Pichoy)	7,5 (0,7)	6,5 (0,7)
7 (río Cayumapu)	8,5 (0,7)	5,5 (0,7)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios		
8 (río Calle Calle)	6,0 (1,4)	1,5 (0,7)

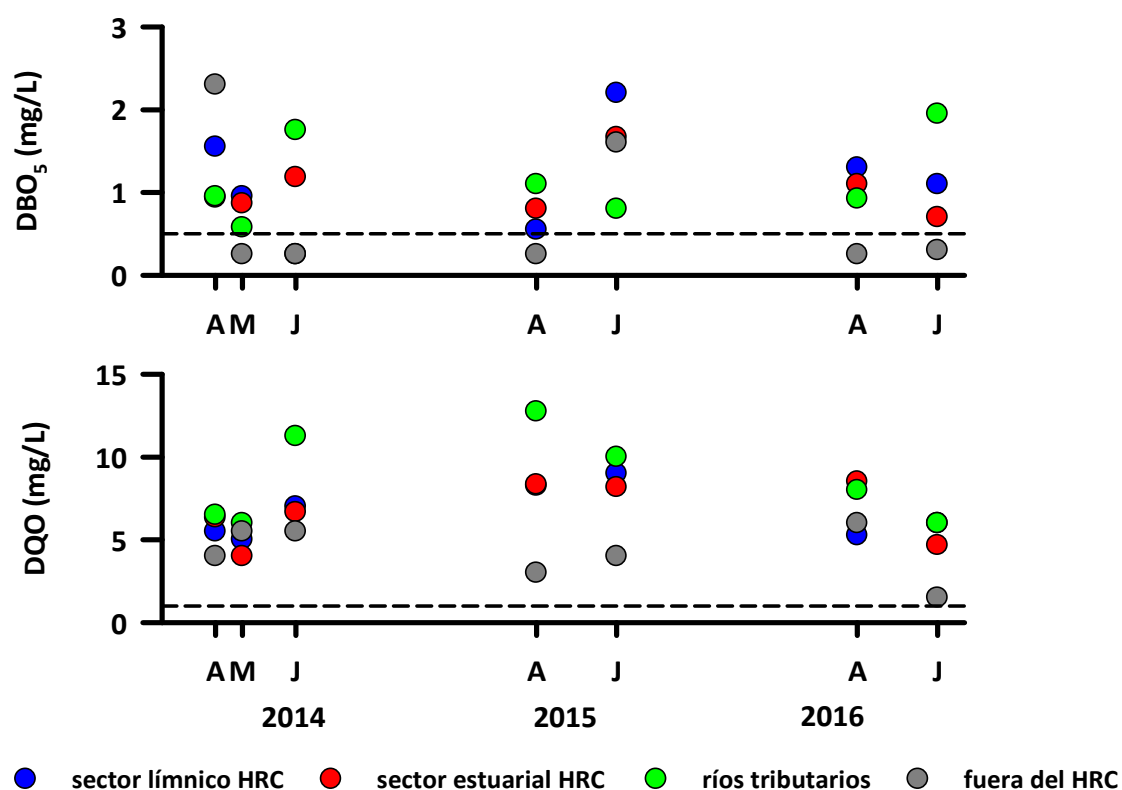


Figura 4.1.1.10. Comparación interanual de la demanda biológica de oxígeno (DBO₅) y de la demanda química de oxígeno (DQO) en aguas superficiales del sector límnico del río Cruces, sector estuarial del río Cruces, ríos tributarios del río Cruces y fuera del humedal del río Cruces. Línea segmentada indica el límite de detección del método utilizado.

Análisis estadísticos

Los valores de demanda biológica de oxígeno (DBO₅), no presentaron variaciones significativas ($p > 0,05$) entre años y sectores. Por su parte, la demanda química de oxígeno (DQO) presentó valores significativamente más altos ($p < 0,05$) el año 2015 que en los años 2014 y 2016. Los valores significativamente ($p < 0,05$) más altos se encontraron en los ríos tributarios, mientras que los más bajos se registraron en el sector ubicado fuera del HRC. (Tabla 4.1.1.11)

Tabla 4.1.1.11. Resumen de ANDEVA Factorial y Prueba *a posteriori* de Tukey para evaluar diferencias en los valores de demanda bioquímica (DBO₅) y química (DQO) de oxígeno en aguas superficiales entre los factores principales. Los factores son Año de muestreo (2014-2015-2016) y Sector (L = sector límnic del río Cruces; EE = eje estuarial y central del río Cruces; T = ríos tributarios del humedal del río Cruces y F = fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios). Los valores de P en negrilla son significativos (<0,05) para cada prueba. Las comparaciones a posteriori deben interpretarse con cautela cuando la interacción AxS es significativa.

Parámetro	Fuente	GL	SC	CM	F	Valor P	Prueba de Tukey
DBO ₅ (*)	Año (A)	2	0,0271	0,0135	0,719	0,490	
	Sector (S)	3	0,132	0,0438	2,328	0,079	
	A × S	6	0,106	0,0177	0,939	0,471	
	Error	100	1,883	0,0188			
	Total	111	2,139	0,0193			
DQO (*) (**)	Año (A)	2	0,212	0,106	6,753	0,002	2014 = 2016 < 2015
	Sector (S)	3	0,782	0,261	16,608	< 0,001	T > EE = L > F
	A × S	6	0,214	0,0356	2,268	0,043	
	Error	100	1,569	0,0157			
	Total	111	2,830	0,0255			

GL = grados de Libertad; SC = Suma de Cuadrados; CM = Cuadrados medios; F = razón F; P = Valor de Probabilidad de error al rechazar Ho; (*) = Datos transformados a log₁₀. (**) = Cumple al menos uno de los supuestos de ANDEVA; (***) No cumple supuestos de ANDEVA.

Carbono orgánico total (COT)

La Tabla 4.1.1.12 muestra la concentración de carbono orgánico total (COT) del agua superficial en el área de estudio. Los resultados obtenidos durante julio de 2016, son mayores que los obtenidos en todas las campañas anteriores. Las cuales estuvieron dentro del rango (valor máximo y mínimo), obtenido durante el año 2014. En general, se aprecia un patrón regular de aumento en el contenido de COT en el área de estudio desde abril a julio de cada año, excepto para las estaciones 3, 4 y 5 durante el año 2015 (Tabla 4.1.1.12 y Fig. 4.1.1.11). Los valores más bajos se registraron en las estaciones 8 (Calle Calle) durante abril de 2014 y abril de 2016, a la vez que los valores más altos se registraron en las estaciones 2 y 3 (Rucaco y San Luis) durante julio del año 2016 (Tabla 4.1.1.12 y Fig. 4.1.1.11).

Tabla 4.1.1.12. Concentraciones de carbono orgánico total (COT) en aguas superficiales del eje central del río Cruces y ríos Pichoy, Cayumapu y Calle Calle, entre los años 2014 y 2015. Los valores son promedios con desviación estándar en paréntesis.

estaciones	COT ($\mu\text{g/L}$)				
	2014			2015	
	abril	mayo	julio	abril	julio
Eje central del río Cruces (sector límnic)					
1 (sector Ciruelos)	0,88 (0,01)	1,49 (0,01)	1,96 (0,05)	1,55 (0,22)	2,04 (0,02)
2 (sector Rucaco)	1,71 (0,07)	1,16 (0,02)	1,73 (0,06)	2,14 (0,08)	2,46 (0,03)
Eje central del río Cruces (sector estuarial)					
3 (sector Fuerte San Luis)	1,76 (0,27)	1,02 (0,08)	2,28 (0,73)	2,15 (0,15)	1,83 (0,10)
4 (sector Santa Clara)	1,62 (0,19)	1,67 (0,05)	2,78 (0,30)	2,66 (0,01)	1,87 (0,16)
5 (sector Punucapa)	1,77 (0,09)	1,68 (0,00)	2,47 (0,05)	1,82 (0,04)	1,65 (0,09)
Ríos tributarios del río Cruces					
6 (río Pichoy)	1,42 (0,13)	1,93 (0,00)	3,88 (0,04)	2,42 (0,20)	3,18 (0,13)
7 (río Cayumapu)	1,68 (0,14)	1,33 (0,00)	2,50 (0,04)	1,85 (0,17)	3,42 (0,14)
Fuera del humedal del río Cruces y ríos tributarios					
8 (río Calle Calle)	0,57 (0,08)	1,29 (0,11)	1,39 (0,07)	1,03 (0,15)	1,21 (0,10)

Continuación **Tabla 4.1.1.12.**

estaciones	COT ($\mu\text{g/L}$)	
	2016	
	abril	julio
Eje central del río Cruces (sector límnico)		
1 (sector Ciruelos)	1,35 (0,07)	2,50 (0,18)
2 (sector Rucaco)	2,15 (0,21)	3,95 (0,07)
Eje central del río Cruces (sector estuarial)		
3 (sector Fuerte San Luis)	1,60 (0,00)	4,22 (0,49)
4 (sector Santa Clara)	2,15 (0,21)	3,79 (0,14)
5 (sector Punucapa)	1,80 (0,00)	3,17 (0,44)
Ríos tributarios del río Cruces		
6 (río Pichoy)	2,05 (0,35)	3,25 (0,20)
7 (río Cayumapu)	1,95 (0,07)	3,56 (0,42)
Fuera del humedal del río Cruces y ríos tributarios		
8 (río Calle Calle)	0,73 (0,19)	2,21 (0,18)

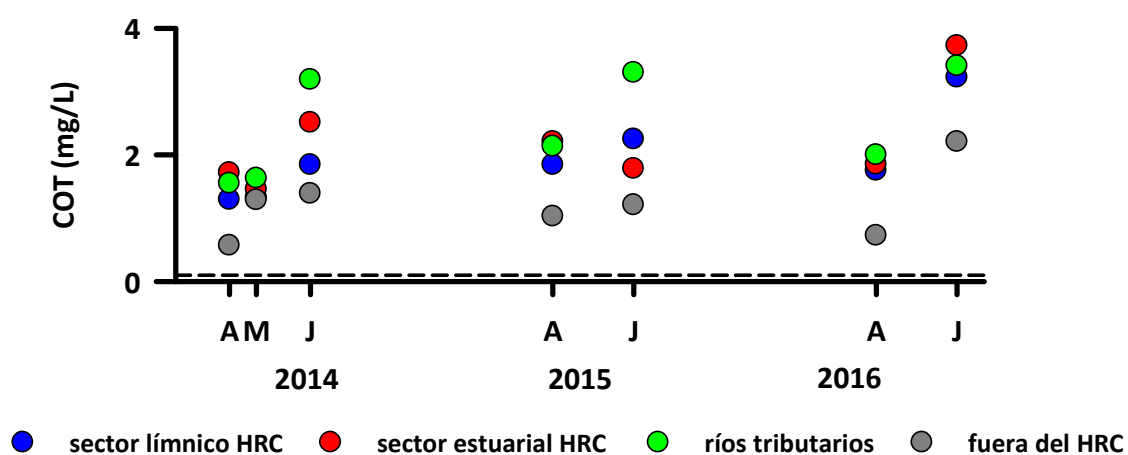


Figura 4.1.1.11. Comparación interanual de la concentración de carbono orgánico total en aguas superficiales del sector límnico del río Cruces, sector estuarial del río Cruces, ríos tributarios del río Cruces y fuera del humedal del río Cruces. La línea segmentada indica el límite de detección del método utilizado.

Análisis estadísticos

Las concentraciones de COT presentaron diferencias significativas ($p < 0,05$) entre años y sectores del humedal, con aumentos significativos en el año 2016 respecto a 2014. En el sector tributario, en general se registró valores más altos (significativamente más altos que en el sector límnic y fuera del HRC), mientras que los valores del sector fuera del HRC, fueron significativamente más bajos que en los otros sectores (Tabla 4.1.1.13).

Tabla 4.1.1.13. Resumen de ANDEVA Factorial y Prueba *a posteriori* de Tukey para evaluar diferencias en los valores Carbono Orgánico Total (COT) registrado en aguas superficiales entre los factores principales. Los factores son Año de muestreo (2014-2015-2016) y Sector (L = sector límnic del río Cruces; EE = eje estuarial y central del río Cruces; T = ríos tributarios del humedal del río Cruces y F = fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios). Los valores de P en negrilla son significativos ($< 0,05$) para cada prueba. Las comparaciones a posteriori deben interpretarse con cautela cuando la interacción AxS es significativa.

Parámetro	Fuente	GL	SC	CM	F	P	Prueba de Tukey
COT	Año (A)	2	8,431	4,216	8,637	<0,001	2016 > 2014
(*)	Sector (S)	3	15,893	5,298	10,853	<0,001	T > L > F; EE > F
	A × S	6	2,383	0,397	0,814	0,562	
	Error	100	48,811	0,488			
	Total	111	78,635	0,708			

GL = grados de Libertad; SC = Suma de Cuadrados; CM = Cuadrados medios; F = razón F; P = Valor de Probabilidad de error al rechazar H_0 ; (*) = Datos transformados a \log_{10} . (**) = Cumple al menos uno de los supuestos de ANDEVA; (***) No cumple supuestos de ANDEVA.

Nutrientes

Las Tablas 4.1.1.14 a 4.1.1.17 muestran la variabilidad del contenido de Amonio, Nitrato, Nitrito y Nitrógeno total en el agua del área de estudio durante el período 2014, 2015 y 2016.

Durante el periodo analizado (2015 y 2016) las concentraciones de Amonio presentaron, en general, valores bajos (y similares a los del Programa de Diagnóstico Ambiental del HRC) en la mayoría de las estaciones. Sólo se ha observado una tendencia a aumentar durante las campañas de abril del 2015 y 2016 en el sector límnic (Fig. 4.1.1.12), específicamente en la estación Rucaco, donde se han registrado

los valores más altos (Tabla 4.1.1.14). Los valores más bajos registrados, fueron aquellos medidos bajo el límite de detección del método utilizado, específicamente en las estaciones 4, 5 y 7 (Sectores Santa Clara, Punucapa y río Cayumapu) durante el Programa de Diagnóstico Ambiental del HRC y en la estación 5 (sector Punucapa) durante el año 2015 (Tabla 4.1.1.14).

Las concentraciones detectadas de Nitrato fueron más altas durante todos los muestreos de julio (2014, 2015 y 2016), coincidiendo con las condiciones de alto caudal hídrico, en comparación con abril (condición de bajo caudal hídrico) (Tabla 4.1.1.15). Por lo general, los valores se encuentran dentro del rango de lo encontrado durante el Programa de Diagnóstico Ambiental del HRC 2014-2015, sin embargo, se registra una tendencia a disminuir durante los tres periodos en que se ha monitoreado (Fig. 4.1.1.12). Las concentraciones de Nitrito detectados han estado en el límite o bajo el límite de detección del método utilizado (Tabla 4.1.1.16 y Fig. 4.1.1.12).

Las concentraciones de Nitrógeno total dentro del área de estudio, presentaron valores similares durante los periodos 2014, 2015 y 2016 y se observa una tendencia hacia valores más bajos durante los periodos estudiados, al igual como lo mencionado para el Nitrato (Fig. 4.1.1.12). También se ha detectado un aumento en sus valores durante los periodos de caudal hídrico alto dentro de cada año monitoreado, sin embargo, esta situación no ocurrió durante el año 2016, en que los valores registrados durante el mes de Julio fueron más bajos a los encontrados durante el mes de abril (Tabla 4.1.1.17).

Tabla 4.1.1.14. Concentración de Amonio (N-NH₄) en aguas superficiales del eje central del río Cruces y ríos Pichoy, Cayumapu y Calle Calle, entre los años 2014, 2015 y 2016. Los valores son promedios con desviación estándar en paréntesis. * = No detectado, *i.e.*, bajo el límite de detección del método utilizado.

estaciones	N-NH ₄ (mg /L)				
	2014			2015	
	abril	mayo	Julio	abril	julio
Eje central del río Cruces (sector límnic)					
1 (sector Ciruelos)	0,007 (0,000)	0,015 (0,002)	0,012 (0,000)	0,005 (0,001)	0,012 (0,004)
2 (sector Rucaco)	0,007 (0,001)	0,023 (0,004)	0,009 (0,001)	0,085 (0,003)	0,007 (0,001)
Eje central del río Cruces (sector estuarial)					
3 (sector Fuerte San Luis)	0,013 (0,000)	0,019 (0,009)	0,007 (0,001)	0,012 (0,002)	0,010 (0,001)
4 (sector Santa Clara)	*	0,006 (0,001)	0,007 (0,000)	0,004 (0,001)	0,007 (0,000)
5 (sector Punucapa)	*	0,011 (0,001)	0,008 (0,002)	*	0,003 (0,000)
Ríos tributarios del río Cruces					
6 (río Pichoy)	0,003 (0,000)	0,009 (0,001)	0,026 (0,001)	0,008 (0,000)	0,014 (0,006)
7 (río Cayumapu)	*	0,014 (0,006)	0,014 (0,004)	0,008 (0,000)	0,009 (0,001)
Fuera del humedal del río Cruces y ríos tributarios					
8 (río Calle Calle)	0,005 (0,001)	0,004 (0,000)	0,012 (0,001)	0,011 (0,001)	0,007 (0,001)

Continuación **Tabla 4.1.1.14.**

estaciones	N-NH ₄ (mg /L)	
	2016	
	abril	julio
Eje central del río Cruces (sector límnic)		
1 (sector Ciruelos)	0,007 (0,001)	0,005 (0,001)
2 (sector Rucaco)	0,056 (0,002)	0,004 (0,001)
Eje central del río Cruces (sector estuarial)		
3 (sector Fuerte San Luis)	0,009 (0,001)	0,009 (0,000)
4 (sector Santa Clara)	0,006 (0,000)	0,003 (*)
5 (sector Punucapa)	0,003 (*)	0,011 (0,000)
Ríos tributarios del río Cruces		
6 (río Pichoy)	0,022 (0,002)	0,010 (0,001)
7 (río Cayumapu)	0,008 (0,000)	0,008 (0,001)
Fuera del humedal del río Cruces y ríos tributarios		
8 (río Calle Calle)	0,018 (0,000)	0,004 (0,001)

Tabla 4.1.1.15. Concentración de Nitrato (N-NO₃) en aguas superficiales del eje central del río Cruces y ríos Pichoy, Cayumapu y Calle Calle, entre los años 2014, 2015 y 2016. Los valores son promedios con desviación estándar en paréntesis. * = No detectado, *i.e.*, bajo el límite de detección del método utilizado.

estaciones	N-NO ₃ (mg/L)				
	2014			2015	
	abril	mayo	julio	abril	julio
Eje central del río Cruces (sector límnic)					
1 (sector Ciruelos)	0,126 (0,000)	0,139 (0,004)	0,219 (0,001)	0,128 (0,000)	0,216 (0,001)
2 (sector Rucaco)	0,127 (0,000)	0,134 (0,001)	0,216 (0,001)	0,097 (0,001)	0,169 (0,002)
Eje central del río Cruces (sector estuarial)					
3 (sector Fuerte San Luis)	0,131 (0,001)	0,126 (0,004)	0,189 (0,005)	0,131 (0,001)	0,158 (0,001)
4 (sector Santa Clara)	0,045 (0,000)	0,084 (0,002)	0,217 (0,005)	0,012 (0,001)	0,173 (0,008)
5 (sector Punucapa)	*	0,044 (0,000)	0,105 (0,004)	*	0,139 (0,004)
Ríos tributarios del río Cruces					
6 (río Pichoy)	0,048 (0,001)	0,103 (0,001)	0,217 (0,001)	0,019 (0,001)	0,213 (0,003)
7 (río Cayumapu)	0,002 (0,000)	0,073 (0,001)	0,087 (0,001)	0,006 (0,001)	0,083 (0,003)
Fuera del humedal del río Cruces y ríos tributarios					
8 (río Calle Calle)	0,016 (0,000)	0,066 (0,000)	0,091 (0,001)	0,024 (0,000)	0,100 (0,001)

Continuación **Tabla 4.1.1.15**

estaciones	N-NO3 (mg/L)	
	2016	
	abril	julio
Eje central del río Cruces (sector límnic)		
1 (sector Ciruelos)	0,065 (0,001)	0,133 (0,001)
2 (sector Rucaco)	0,065 (0,002)	0,135 (0,000)
Eje central del río Cruces (sector estuarial)		
3 (sector Fuerte San Luis)	0,063 (0,008)	0,049 (0,002)
4 (sector Santa Clara)	0,003 (0,000)	0,007 (0,000)
5 (sector Punucapa)	*	0,013 (0,000)
Ríos tributarios del río Cruces		
6 (río Pichoy)	0,011 (0,000)	0,053 (0,001)
7 (río Cayumapu)	0,004 (0,001)	0,034 (0,000)
Fuera del humedal del río Cruces y ríos tributarios		
8 (río Calle Calle)	0,019 (0,001)	0,021 (0,001)

Tabla 4.1.1.16. Concentración de Nitrito (N-NO₂) en aguas superficiales del eje central del río Cruces y ríos Pichoy, Cayumapu y Calle Calle, entre los años 2014, 2015 y 2016. Los valores son promedios con desviación estándar en paréntesis. * = No detectado, *i.e.*, bajo el límite de detección del método utilizado.

estaciones	N-NO ₂ (mg/L)				
	2014			2015	
	abril	mayo	julio	abril	julio
Eje central del río Cruces (sector límnico)					
1 (sector Ciruelos)	0,002 (0,000)	0,002 (0,000)	0,002 (0,000)	0,002 (0,000)	*
2 (sector Rucaco)	0,002 (0,000)	0,002 (0,000)	0,002 (0,000)	0,002 (0,000)	*
Eje central del río Cruces (sector estuarial)					
3 (sector Fuerte San Luis)	0,002 (0,000)	0,002 (0,000)	0,002 (0,000)	*	*
4 (sector Santa Clara)	*	*	0,002 (0,000)	*	*
5 (sector Punucapa)	*	*	*	*	*
Ríos tributarios del río Cruces					
6 (río Pichoy)	0,002 (0,000)	*	0,002 (0,000)	*	*
7 (río Cayumapu)	*	*	*	*	*
Fuera del humedal del río Cruces y ríos tributarios					
8 (río Calle Calle)	*	0,002 (0,000)	0,002 (0,000)	*	*

Continuación **Tabla 4.1.1.16**

estaciones	N-NO ₂ (mg/L)	
	2016	
	abril	julio
Eje central del río Cruces (sector límnic)		
1 (sector Ciruelos)	*	*
2 (sector Rucaco)	*	*
Eje central del río Cruces (sector estuarial)		
3 (sector Fuerte San Luis)	*	*
4 (sector Santa Clara)	*	*
5 (sector Punucapa)	*	*
Ríos tributarios del río Cruces		
6 (río Pichoy)	*	*
7 (río Cayumapu)	*	*
Fuera del humedal del río Cruces y ríos tributarios		
8 (río Calle Calle)	*	*

Tabla 4.1.1.17. Concentración de Nitrógeno total (N-Total) en aguas superficiales del eje central del río Cruces y ríos Pichoy, Cayumapu y Calle Calle, entre los años 2014, 2015 y 2016. Los valores son promedios con desviación estándar en paréntesis.

Estaciones	N-Total (mg/L)				
	2014			2015	
	abril	mayo	julio	abril	julio
Eje central del río Cruces (sector límnic)					
1 (sector Ciruelos)	0,214 (0,001)	0,323 (0,017)	0,331 (0,008)	0,225 (0,008)	0,307 (0,006)
2 (sector Rucaco)	0,259 (0,001)	0,335 (0,000)	0,321 (0,002)	0,365 (0,007)	0,306 (0,013)
Eje central del río Cruces (sector estuarial)					
3 (sector Fuerte San Luis)	0,249 (0,003)	0,254 (0,022)	0,242 (0,001)	0,281 (0,013)	0,308 (0,029)
4 (sector Santa Clara)	0,202 (0,010)	0,209 (0,018)	0,344 (0,001)	0,165 (0,004)	0,284 (0,009)
5 (sector Punucapa)	0,168 (0,000)	0,129 (0,007)	0,241 (0,005)	0,185 (0,001)	0,283 (0,039)
Ríos tributarios del río Cruces					
6 (río Pichoy)	0,203 (0,000)	0,219 (0,011)	0,471 (0,008)	0,192 (0,007)	0,388 (0,022)
7 (río Cayumapu)	0,190 (0,032)	0,245 (0,032)	0,267 (0,002)	0,184 (0,010)	0,222 (0,011)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios					
8 (río Calle Calle)	0,082 (0,007)	0,153 (0,012)	0,187 (0,006)	0,122 (0,006)	0,211 (0,004)

Continuación **Tabla 4.1.1.17.**

estaciones	N-Total (mg/L)	
	2016	
	abril	julio
Eje central del río Cruces (sector límnic)		
1 (sector Ciruelos)	0,195 (0,023)	0,193 (0,011)
2 (sector Rucaco)	0,239 (0,010)	0,229 (0,005)
Eje central del río Cruces (sector estuarial)		
3 (sector Fuerte San Luis)	0,205 (0,017)	0,242 (0,020)
4 (sector Santa Clara)	0,142 (0,014)	0,113 (0,014)
5 (sector Punucapa)	0,218 (0,015)	0,162 (0,014)
Ríos tributarios del río Cruces		
6 (río Pichoy)	0,181 (0,017)	0,156 (0,003)
7 (río Cayumapu)	0,226 (0,006)	0,164 (0,013)
Fuera del humedal del río Cruces y ríos tributarios		
8 (río Calle Calle)	0,140 (0,006)	0,091 (0,007)

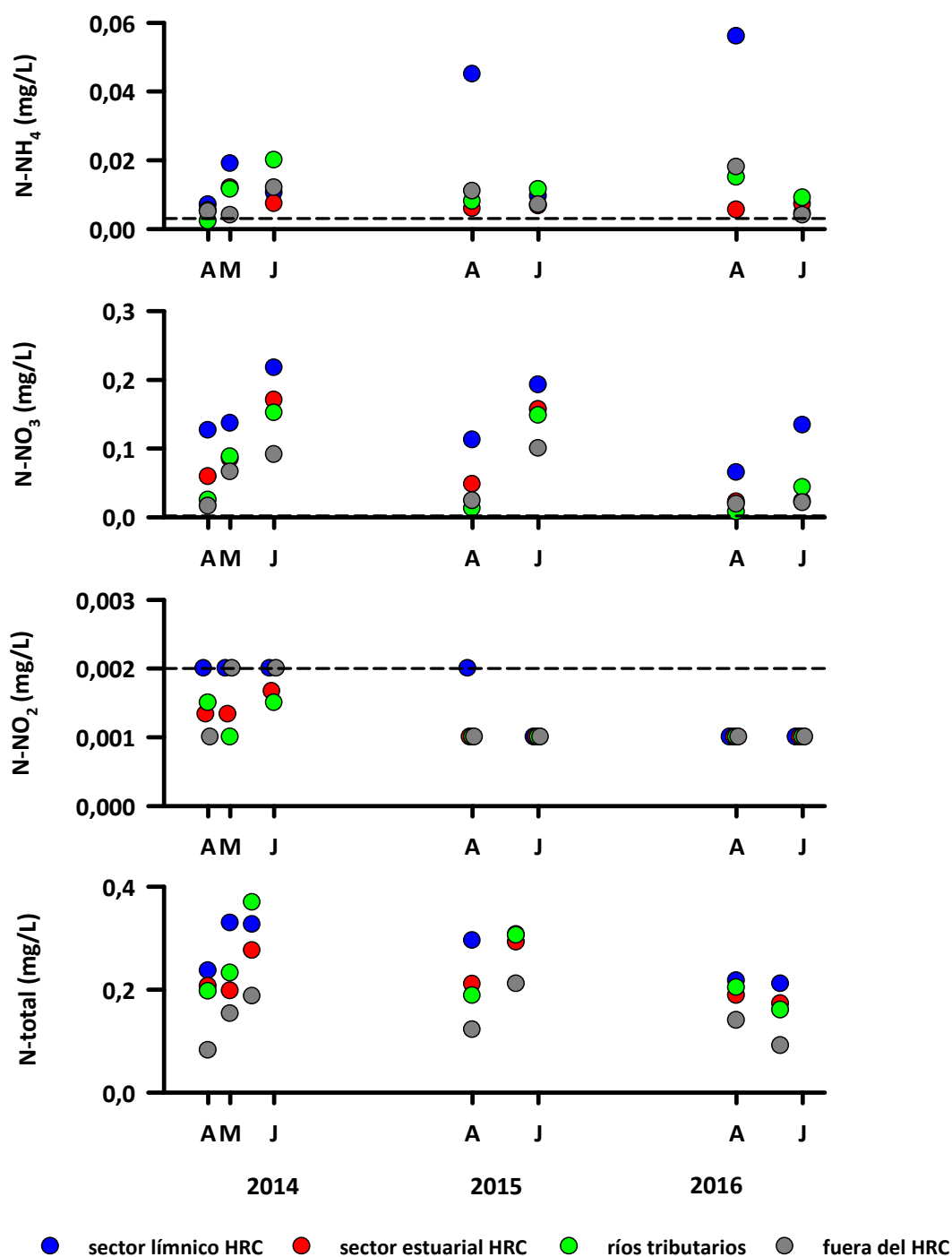


Figura 4.1.1.12. Comparación interanual de la concentración de amonio (N-NH₄), nitrato (N-NO₃), nitrito (N-NO₂) y nitrógeno total (N-total) en aguas superficiales del sector límnico del río Cruces, sector estuarial del río Cruces, ríos tributarios del río Cruces y fuera del humedal del río Cruces. La línea segmentada indica el límite de detección del método utilizado.

Las Tablas 4.1.1.18 y 4.1.1.19 muestran la variabilidad en las concentraciones de Fosfatos o Fósforo soluble y Fósforo total dentro del área de estudio durante el período 2014, 2015 y 2016.

Durante este periodo, las concentraciones de Fosfato o Fósforo soluble estuvieron en general, cercanas al valor del límite de detección del método utilizado (0,002 mg/L). Tanto en el sector límnic como en el sector fuera del HRC, se observa una tendencia a disminuir durante el periodo de estudio (Fig. 4.1.1.13), mientras que los sectores estuarial y ríos tributarios han mantenido valores similares durante todo este periodo (cerca o bajo el límite de detección del método); el valor más alto registrado durante todas las campañas fue de 0,005 mg/L el cual fue detectado en la estación 1 durante abril de 2014 (río Cruces, sector Ciruelos) y en la estación 8 (fuera del humedal) en mayo del mismo año (Tabla 4.1.1.18 y Fig. 4.1.1.13).

Tabla 4.1.1.18. Concentración de Fosfato (P-PO₄) en aguas superficiales del eje central del río Cruces y ríos Pichoy, Cayumapu y Calle Calle, entre los años 2014, 2015 y 2016. Los valores son promedios con desviación estándar en paréntesis. * = No detectado, *i.e.*, bajo el límite de detección del método utilizado.

estaciones	P-PO ₄ (mg/L)				
	2014			2015	
	abril	mayo	julio	Abril	julio
Eje central del río Cruces (sector límnic)					
1 (sector Ciruelos)	0,005 (0,000)	0,004 (0,000)	0,003 (0,000)	0,002 (0,000)	0,003 (0,001)
2 (sector Rucaco)	0,003 (0,000)	0,003 (0,000)	0,002 (0,000)	0,002 (0,000)	0,003 (0,000)
Eje central del río Cruces (sector estuarial)					
3 (sector Fuerte San Luis)	0,002 (0,000)	0,003 (0,000)	0,002 (0,000)	0,002 (0,000)	0,003 (0,001)
4 (sector Santa Clara)	*	0,002 (0,000)	0,002 (0,000)	*	0,002 (0,000)
5 (sector Punucapa)	*	0,002 (0,000)	*	0,002 (0,000)	0,002 (0,000)
Ríos tributarios del río Cruces					
6 (río Pichoy)	*	*	*	*	0,004 (0,002)
7 (río Cayumapu)	*	0,002 (0,000)	0,002 (0,000)	*	0,002 (0,000)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios					
8 (río Calle Calle)	*	0,005 (0,000)	0,003 (0,000)	0,002 (0,000)	0,003 (0,000)

Continuación **Tabla 4.1.1.18.**

estaciones	P-PO4 (mg/L)	
	2016	
	abril	julio
Eje central del río Cruces (sector límnic)		
1 (sector Ciruelos)	*	*
2 (sector Rucaco)	0,002 (*)	*
Eje central del río Cruces (sector estuarial)		
3 (sector Fuerte San Luis)	0,002 (0,000)	*
4 (sector Santa Clara)	0,002 (0,000)	*
5 (sector Punucapa)	0,003 (0,000)	0,002 (0,000)
Ríos tributarios del río Cruces		
6 (río Pichoy)	*	*
7 (río Cayumapu)	0,002 (*)	*
Fuera del humedal del río Cruces y ríos tributarios		
8 (río Calle Calle)	0,003 (0,000)	0,002 (0,000)

Las concentraciones de Fósforo total estimadas durante los años 2014 - 2015, registraron valores extremos de 0,009 mg/L en abril de 2014 (estación 8, río Calle Calle) y 0,054 mg/L en julio de 2014 para la estación 6 (río Pichoy) (Tabla 4.1.1.19 y Fig. 4.1.1.13). En general, las concentraciones de Fósforo total aumentaron dentro de ambos años y durante las campañas correspondientes a la condición de alto caudal hídrico (Tabla 4.1.1.19). Durante el año 2016, las concentraciones de Fósforo total fueron más altas en la campaña de abril que julio del mismo año, en general estas concentraciones estuvieron más bajas comparadas con los años 2014-2015 (Tabla 4.1.1.19 y Fig. 4.1.1.13).

Tabla 4.1.1.19. Concentración de Fósforo total (P-Total) en aguas superficiales del eje central del río Cruces y ríos Pichoy, Cayumapu y Calle Calle, entre los años 2014, 2015 y 2016. Los valores son promedios con desviación estándar en paréntesis.

Estaciones	P-Total (mg/L)				
	2014			2015	
	abril	mayo	julio	abril	julio
Eje central del río Cruces (sector límnic)					
1 (sector Ciruelos)	0,022 (0,001)	0,052 (0,004)	0,039 (0,006)	0,020 (0,001)	0,035 (0,003)
2 (sector Rucaco)	0,019 (0,002)	0,056 (0,002)	0,044 (0,006)	0,025 (0,010)	0,036 (0,001)
Eje central del río Cruces (sector estuarial)					
3 (sector Fuerte San Luis)	0,013 (0,001)	0,028 (0,007)	0,019 (0,000)	0,016 (0,002)	0,034 (0,004)
4 (sector Santa Clara)	0,015 (0,002)	0,010 (0,011)	0,041 (0,005)	0,011 (0,001)	0,017 (0,001)
5 (sector Punucapa)	0,015 (0,001)	0,017 (0,000)	0,024 (0,000)	0,013 (0,000)	0,015 (0,000)
Ríos tributarios del río Cruces					
6 (río Pichoy)	0,018 (0,000)	0,015 (0,001)	0,054 (0,004)	0,015 (0,001)	0,026 (0,006)
7 (río Cayumapu)	0,016 (0,003)	0,020 (0,002)	0,026 (0,000)	0,011 (0,001)	0,019 (0,001)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios					
8 (río Calle Calle)	0,009 (0,002)	0,019 (0,001)	0,024 (0,000)	0,013 (0,000)	0,033 (0,004)

Continuación **Tabla 4.1.1.19.**

estaciones	P-Total (mg/L)	
	2016	
	abril	julio
Eje central del río Cruces (sector límnic)		
1 (sector Ciruelos)	0,019 (0,001)	0,015 (0,000)
2 (sector Rucaco)	0,021 (0,001)	0,013 (0,001)
Eje central del río Cruces (sector estuarial)		
3 (sector Fuerte San Luis)	0,019 (0,001)	0,015 (0,001)
4 (sector Santa Clara)	0,013 (0,001)	0,011 (0,000)
5 (sector Punucapa)	0,022 (0,001)	0,013 (0,003)
Ríos tributarios del río Cruces		
6 (río Pichoy)	0,012 (0,002)	0,013 (0,001)
7 (río Cayumapu)	0,016 (0,004)	0,014 (0,001)
Fuera del humedal del río Cruces y ríos tributarios		
8 (río Calle Calle)	0,017 (0,000)	0,013 (0,001)

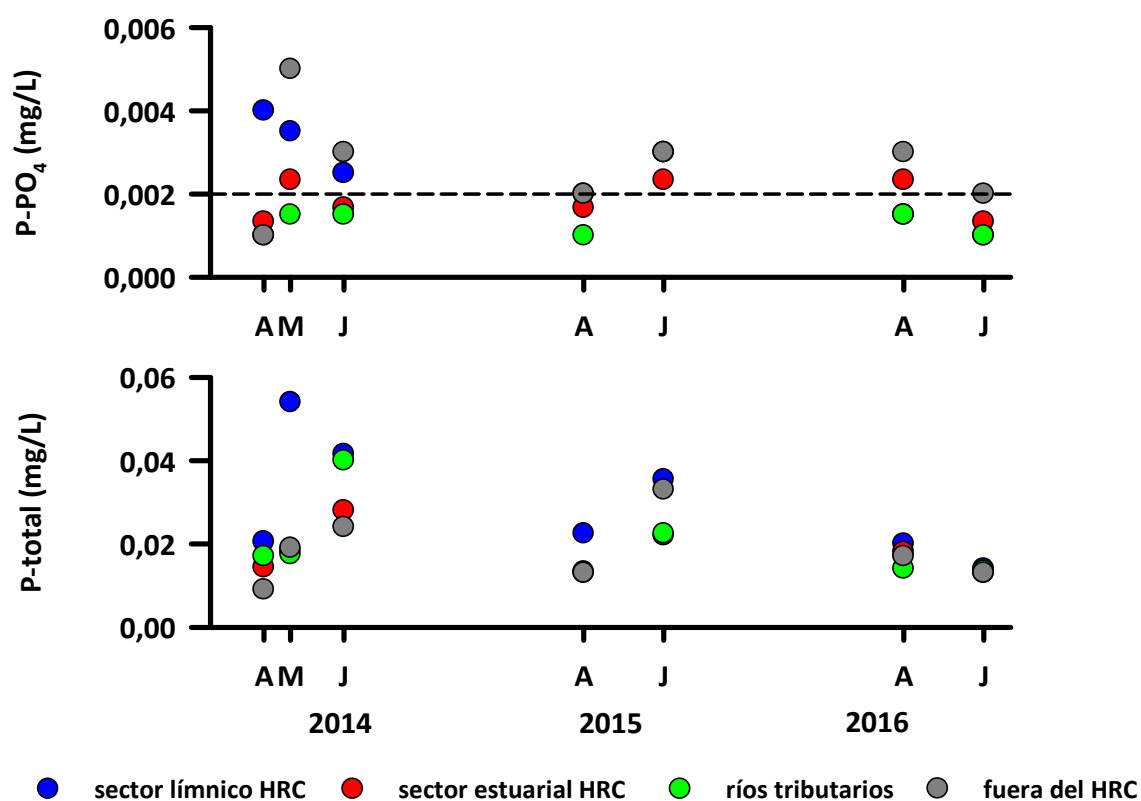


Figura 4.1.1.13. Comparación interanual de la concentración de fosfato o fósforo soluble ($P-PO_4$), fósforo total (P-total) en aguas superficiales del sector límnico del río Cruces, sector estuarial del río Cruces, ríos tributarios del río Cruces y fuera del humedal del río Cruces. La línea segmentada indica el límite de detección del método utilizado.

Análisis estadísticos

Las concentraciones de Amonio, Nitrato y Nitrito detectadas en el sector límnico son significativamente más altas ($p < 0,05$) que en los otros sectores estudiados. Mientras que las concentraciones de nitrato detectadas durante el año 2016 fueron significativamente más bajas que los periodos anteriores, por su parte, las concentraciones de Nitrito detectadas durante el año 2014 fueron significativamente más altas que las detectadas los años posteriores. El Nitrógeno total detectado durante el año 2016 fue significativamente más bajo que el detectado durante los años 2014 y 2015 y significativamente más bajo en el sector fuera del HRC que en los otros

sectores estudiados, a la vez que el sector límnico fue significativamente más alto en el sector límnico que en el sector estuarial y fuera del HRC.

Las concentraciones de Fosfato detectadas durante el año 2016 fueron significativamente ($p < 0,05$) más bajas que la detectada durante el Programa de Diagnóstico Ambiental del HRC 2014-2015. Las concentraciones más bajas se detectaron en los ríos tributarios, siendo significativamente más bajas que las detectadas en los sectores límnicos y fuera del HRC. Por su parte, las concentraciones de Fósforo total detectadas durante el año 2016 fueron significativamente ($p < 0,05$) más bajas que ambos años anteriores, mientras que las concentraciones significativamente ($p < 0,05$) más altas se registraron en el sector límnico del HRC (Tabla 4.1.1.20).

Tabla 4.1.1.20. Resumen de ANDEVA Factorial y Prueba *a posteriori* de Tukey para evaluar diferencias en el valor de Nitrato (NO₃), Nitrógeno (N Total) y Fósforo Total (N-Total) registrado en aguas superficiales entre los factores principales. Los factores son Año de muestreo (2014-2015-2016) y Sector (L = sector línico del río Cruces; EE = eje estuarial y central del río Cruces; T = ríos tributarios del humedal del río Cruces y F = fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios). Los valores de P en negrilla son significativos (<0,05) para cada prueba. Las comparaciones a posteriori deben interpretarse con cautela cuando la interacción AxS es significativa.

Parámetro	Fuente	GL	SC	CM	F	Valor P	Prueba Tukey
N-NH ₄ (***)	Año (A)	2	0,00021	0,000105	0,675	0,512	
	Sector (S)	3	0,00246	0,000819	5,240	0,002	L > EE = T = F
	A × S	6	0,00099	0,000165	1,056	0,394	
	Error	100	0,0156	0,000156			
	Total	111	0,0189	0,000170			
N-NO ₃ (**)	Año (A)	2	0,0695	0,0347	11,257	<0,001	2014 = 2015 > 2016
	Sector (S)	3	0,108	0,0360	11,656	<0,001	L > EE = T = F
	A × S	6	0,00484	0,000807	0,261	0,954	
	Error	100	0,309	0,00309			
	Total	111	0,522	0,00471			
N-NO ₂ (***)	Año (A)	2	0,0000036	0,0000018	15,046	<0,001	2014 > 2015 = 2016
	Sector (S)	3	0,0000013	0,0000004	3,554	0,017	L > EE = T = F
	A × S	6	0,0000006	0,0000001	0,874	0,517	
	Error	100	0,0000118	0,0000001			
	Total	111	0,0000182	0,0000002			
N-Total (**)	Año (A)	2	0,0792	0,0396	10,777	<0,001	2014 = 2015 > 2016
	Sector (S)	3	0,1540	0,0513	13,962	<0,001	L > EE > F; T > F
	A × S	6	0,0125	0,0021	0,567	0,756	
	Error	100	0,3670	0,0037			
	Total	111	0,6500	0,0059			
P-PO ₄ (***)	Año (A)	2	0,0000075	0,0000038	5,564	0,005	2014 > 2016
	Sector (S)	3	0,0000193	0,0000065	9,553	<0,001	F > EE; F > T; L > T
	A × S	6	0,0000207	0,0000035	5,116	<0,001	
	Error	100	0,0000675	0,0000007			
	Total	111	0,0001210	0,0000011			
P-Total (***)	Año (A)	2	0,00175	0,000876	10,57	<0,001	2014 = 2015 > 2016
	Sector (S)	3	0,00199	0,000664	8,015	<0,001	L > T = EE = F
	A × S	6	0,00109	0,000181	2,185	0,051	
	Error	100	0,00829	0,000083			
	Total	111	0,01410	0,000127			

GL = grados de Libertad; SC = Suma de Cuadrados; CM = Cuadrados medios; F = razón F; P = Valor de Probabilidad de error al rechazar Ho; (*) = Datos transformados a log₁₀. (**) = Cumple al menos uno de los supuestos de ANDEVA; (***) No cumple supuestos de ANDEVA.

Bacterias Coliformes totales y fecales

Las Tablas 4.1.1.21 y 4.1.1.22 muestran las concentraciones de bacterias Coliformes totales y fecales, en el agua del área de estudio durante el período 2014, 2015 y 2016.

En las campañas de los años anteriores (2014 y 2015), por lo general se observaba un aumento de las concentraciones desde abril a julio, sin embargo, para el año 2016 esta tendencia se invierte, registrándose valores más bajos durante el mes de julio, con la excepción del sector fuera del HRC donde se mantuvo la tendencia de los años anteriores. Las concentraciones más altas que se han detectado fueron en la estación de Rucaco en mayo del año 2014 (15.950 NMP/100ml) y en la estación de Punucapa (7.800 NMP/100ml) durante abril del año 2016. Mientras que los valores más bajos (<100 NMP/100ml) se han registrado en los sectores 4 (sector Santa Clara durante abril 2014 y julio 2016) y en los ríos tributarios durante julio del año 2016 (ríos Pichoy y Cayumapu) en general, los valores observados durante los años 2015 y 2016 han sido similares o inferiores a los registrados durante el Programa de Diagnóstico Ambiental del HRC 2014-2015 (Tabla 4.1.1.21 y Fig. 4.1.1.14).

Tabla 4.1.1.21. Concentración de Bacterias coliformes totales en aguas superficiales del eje central del río Cruces y ríos Pichoy, Cayumapu y Calle Calle, entre los años 2014, 2015 y 2016. Los valores son promedios con desviación estándar en paréntesis.

estaciones	coliformes totales (NMP/100 mL)				
	2014			2015	
	abril	mayo	Julio	abril	julio
Eje central del río Cruces (sector límnic)					
1 (sector Ciruelos)	1.895 (1.987)	6.400 (2.121)	3.600 (1.838)	595 (1.485)	6.400 (2.121)
2 (sector Rucaco)	4.100 (1.131)	15.950 (11.384)	2.300 (0)	250 (28)	4.100 (1.131)
Eje central del río Cruces (sector estuarial)					
3 (sector Fuerte San Luis)	895 (573)	4.900 (0)	465 (332)	1.245 (644)	5.600 (3.253)
4 (sector Santa Clara)	59 (15)	410 (113)	4.345 (5.028)	515 (2.616)	3.200 (141)
5 (sector Punucapa)	640 (212)	4.900 (0)	4.750 (4.455)	1.045 (361)	1.800 (707)
Ríos tributarios del río Cruces					
6 (río Pichoy)	200 (42)	275 (78)	560 (325)	120 (71)	765 (757)
7 (río Cayumapu)	268 (314)	410 (113)	385 (148)	330 (0)	560 (325)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios					
8 (río Calle Calle)	230 (0)	3.550 (1.909)	1.895 (1.987)	420 (524)	1.495 (997)

Continuación Tabla 4.1.1.21.

estaciones	coliformes totales (NMP/100 mL)	
	2016	
	abril	julio
Eje central del río Cruces (sector límnic)		
1 (sector Ciruelos)	480 (438)	230 (141)
2 (sector Rucaco)	480 (438)	150 (28)
Eje central del río Cruces (sector estuarial)		
3 (sector Fuerte San Luis)	1.260 (1.471)	220 (0)
4 (sector Santa Clara)	1.315 (1.393)	64 (21)
5 (sector Punucapa)	7.800 (4.525)	330 (0)
Ríos tributarios del río Cruces		
6 (río Pichoy)	105 (36)	79 (0)
7 (río Cayumapu)	715 (827)	64 (21)
Fuera del humedal del río Cruces y ríos tributarios		
8 (río Calle Calle)	170 (85)	5.100 (3.960)

Por lo general se han registrado concentraciones de bacterias Coliformes fecales inferiores a 1000 NMP/100 ml, solo superado en la estación 8 (río Calle Calle) en mayo y julio del año 2014 (3.550 y 1.095 NMP/100 ml respectivamente), la estación 2 (Rucaco) durante mayo del mismo año (1.200 NMP/100 ml) y en la estación 5 (Punucapa) durante abril del 2016 (1.150 NMP/100 ml) (Tabla 4.1.1.22 y Fig. 4.1.1.14).

Tabla 4.1.1.22. Concentración de bacterias coliformes fecales en aguas superficiales del eje central del río Cruces y ríos Pichoy, Cayumapu y Calle Calle, entre los años 2014, 2015 y 2016. Los valores son promedios con desviación estándar en paréntesis.

estaciones	coliformes fecales (NMP/100 mL)				
	2014			2015	
	abril	mayo	Julio	Abril	julio
Eje central del río Cruces (sector límnic)					
1 (sector Ciruelos)	355 (191)	465 (332)	410 (113)	140 (42)	790 (0)
2 (sector Rucaco)	345 (163)	1.200 (707)	385 (148)	72 (54)	715 (545)
Eje central del río Cruces (sector estuarial)					
3 (sector Fuerte San Luis)	41 (11)	410 (113)	40 (13)	36 (18)	895 (573)
4 (sector Santa Clara)	33 (0)	30 (4)	790 (0)	28 (7)	450 (481)
5 (sector Punucapa)	33 (23)	945 (219)	200 (42)	56 (33)	300 (269)
Ríos tributarios del río Cruces					
6 (río Pichoy)	56 (32)	55 (34)	360 (184)	105 (36)	105 (36)
7 (río Cayumapu)	7 (8)	35 (16)	117 (33)	9 (2)	310 (255)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios					
8 (río Calle Calle)	76 (76)	3.550 (1.909)	1.095 (856)	200 (42)	200 (42)

Continuación Tabla 4.1.1.22

estaciones	coliformes fecales (NMP/100 mL)	
	2016	
	abril	julio
Eje central del río Cruces (sector límnic)		
1 (sector Ciruelos)	56 (33)	64 (21)
2 (sector Rucaco)	51 (40)	64 (21)
Eje central del río Cruces (sector estuarial)		
3 (sector Fuerte San Luis)	60 (15)	23 (0)
4 (sector Santa Clara)	33 (0)	5 (0)
5 (sector Punucapa)	1.150 (71)	140 (42)
Ríos tributarios del río Cruces		
6 (río Pichoy)	20 (4)	20 (4)
7 (río Cayumapu)	18 (6)	6 (3)
Fuera del humedal del río Cruces y ríos tributarios		
8 (río Calle Calle)	60 (15)	560 (325)

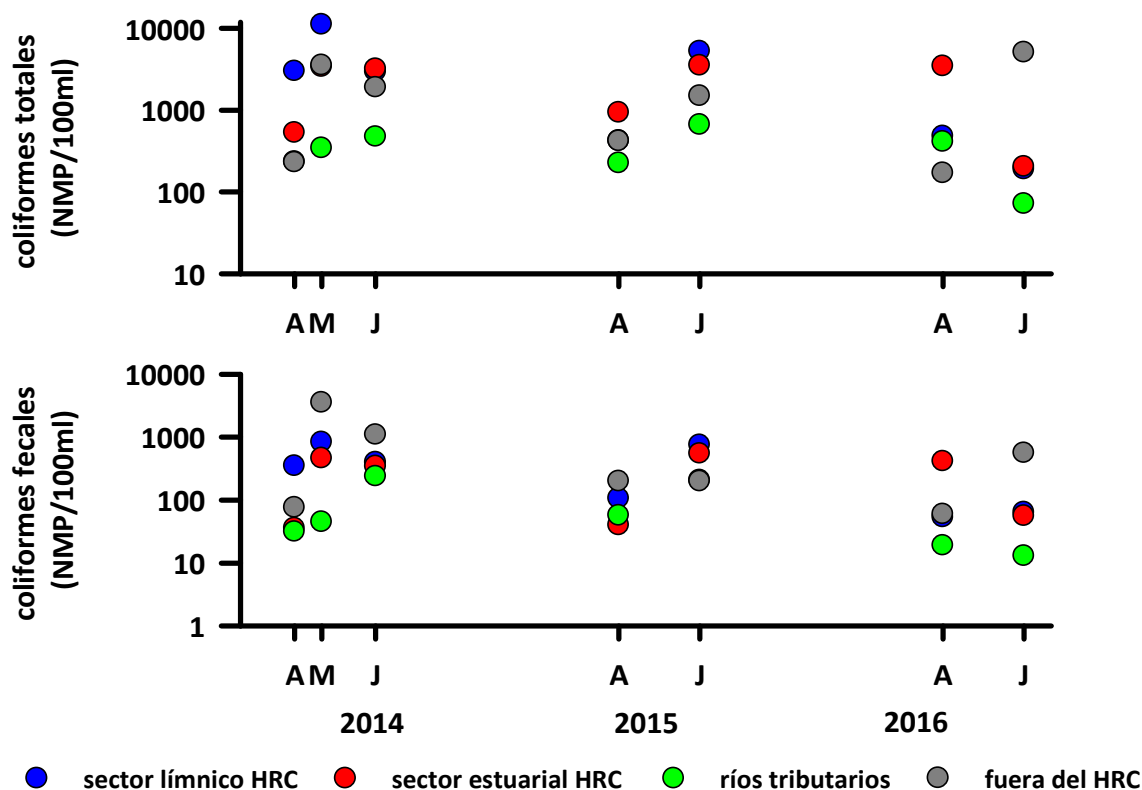


Figura 4.1.1.14. Comparación interanual de la concentración de bacterias coliformes totales y fecales (NMP/100ml) en aguas superficiales del sector línico del río Cruces, sector estuarial del río Cruces, ríos tributarios del río Cruces y fuera del humedal del río Cruces.

Análisis estadísticos

La concentración de Coliformes totales no ha resultado en diferencias significativas durante los años estudiados, sin embargo, se detectó que las concentraciones en el sector línico del HRC fueron significativamente ($p < 0,05$) más altas que las registradas en los ríos tributarios, no así entre los otros sectores.

Las concentraciones de bacterias coliformes fecales detectadas durante el año 2016 fueron significativamente ($p < 0,05$) más bajas que las detectadas en los años anteriores. las concentraciones de estas bacterias encontradas en los ríos tributarios del HRC fueron significativamente ($p < 0,05$) más bajas que las encontradas en los otros

sectores, y las encontradas en el sector fuera del HRC fueron significativamente más altas que las detectadas en el sector estuarial y ríos tributarios fecales y totales se ha mantenido relativamente estable durante ambos años pero con diferencias significativas ($p < 0,05$) entre sectores del humedal, evidenciando una disminución en la concentración en los ríos tributarios del mismo (Tabla 4.1.1.23).

Tabla 4.1.1.23. Resumen de ANDEVA Factorial y Prueba *a posteriori* de Tukey para evaluar diferencias en la concentración de Coliformes totales y fecales registradas en aguas superficiales entre los factores principales. Los factores son Año de muestreo (2014-2015-2016) y Sector (L = sector límnic del río Cruces; EE = eje estuarial y central del río Cruces; T = ríos tributarios del humedal del río Cruces y F = fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios). Los valores de P en negrilla son significativos ($< 0,05$) para cada prueba. Las comparaciones a posteriori deben interpretarse con cautela cuando la interacción A x S es significativa.

Parámetro	Fuente	GL	SC	CM	F	Valor P	Prueba de Tukey
Col. totales (**)	Año (A)	2	28877006	14438503	1,748	0,179	
	Sector (S)	3	128522442	42840814	5,187	0,002	L > T
	A x S	6	106517182	17752863	2,150	0,054	
	Error	100	825894666	8258947			
	Total	111	1136733569	10240843			
Col. fecales (*)(**)	Año (A)	2	5,285	2,642	8,455	<0,001	2014 = 2015 > 2016
	Sector (S)	3	8,950	2,983	9,546	<0,001	F > EE > T; L > T
	A x S	6	1,787	0,298	0,953	0,461	
	Error	100	31,252	0,313			
	Total	111	49,027	0,442			

GL = grados de Libertad; SC = Suma de Cuadrados; CM = Cuadrados medios; F = razón F; P = Valor de Probabilidad de error al rechazar H_0 ; (*) = Datos transformados a \log_{10} . (**) = Cumple al menos uno de los supuestos de ANDEVA; (***) No cumple supuestos de ANDEVA.

Cloruro y Sulfato

La Tabla 4.1.1.24 muestra las concentraciones de los iones disueltos Cloruro y Sulfato en el agua del área de estudio durante 2014, 2015 y 2016.

La distribución temporal y espacial de las concentraciones de ambos iones muestra un comportamiento similar, observándose una disminución desde los meses de menor a mayor caudal hídrico (abril y julio, respectivamente). En general, las concentraciones medidas durante las campañas de abril de los años 2014, 2015 y 2016 fueron aproximadamente dos órdenes de magnitud mayores que las registradas durante los muestreos de julio de los mismos años, situación probablemente causada por efecto de la dilución provocado por el mayor caudal hídrico que transporta el río durante las campañas invernales (julio).

Los valores más altos de ambos iones se encontraron durante abril del año 2015 y abril del año 2016 en la estación 5 (río Cruces, sector Punucapa). Las concentraciones más bajas de cloruros y sulfatos se detectaron en las estaciones 1 (río Cruces, sector Ciruelos), 6 (sector río Pichoy) y 8 (río Calle Calle) (Tabla 4.1.1.24).

En la Figura 4.1.1.15 se observa para ambos iones, mayor variabilidad con tendencia leve a aumentar en el tiempo. Los años 2015 y 2016 presentan un mayor grado de similitud en término de las concentraciones que respecto al 2014.

Tabla 4.1.1.24. Concentración de Cloruro y Sulfato en aguas superficiales del eje central del río Cruces y ríos Pichoy, Cayumapu y Calle Calle, entre los años 2014, 2015 y 2016. Los valores son promedios con desviación estándar en paréntesis.

estaciones	Cloruro (mg/L)				
	2014			2015	
	abril	mayo	julio	abril	julio
Eje central del río Cruces (sector límnic)					
1 (sector Ciruelos)	2,8 (0,01)	2,3 (0,13)	2,0 (0,04)	3,8 (0,05)	3,6 (0,39)
2 (sector Rucaco)	16,3 (0,93)	4,1 (0,14)	2,7 (0,02)	19,5 (0,18)	5,0 (0,16)
Eje central del río Cruces (sector estuarial)					
3 (sector Fuerte San Luis)	12,9 (0,25)	5,0 (0,06)	3,0 (0,01)	17,0 (0,26)	6,0 (0,03)
4 (sector Santa Clara)	23,3 (1,63)	5,2 (0,07)	3,2 (0,01)	249,4 (0,70)	7,8 (1,65)
5 (sector Punucapa)	178,8 (0,86)	6,5 (0,17)	4,2 (0,01)	703,7 (3,36)	5,7 (0,32)
Ríos tributarios del río Cruces					
6 (río Pichoy)	3,8 (0,10)	3,7 (0,06)	3,2 (0,12)	31,6 (0,32)	6,0 (1,03)
7 (río Cayumapu)	85,6 (0,67)	5,5 (0,04)	3,6 (0,19)	517,3 (2,74)	7,4 (0,30)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios					
8 (río Calle Calle)	1,5 (0,13)	1,6 (0,01)	2,0 (0,06)	1,8 (0,19)	3,5 (0,23)

Continuación Tabla 4.1.1.24

estaciones	Cloruro (mg/L)	
	2016	
	abril	julio
Eje central del río Cruces (sector límnic)		
1 (sector Ciruelos)	5,9 (0,3)	4,5 (0,3)
2 (sector Rucaco)	39,7 (2,1)	23,2 (0,9)
Eje central del río Cruces (sector estuarial)		
3 (sector Fuerte San Luis)	32,9 (1,3)	20,5 (0,9)
4 (sector Santa Clara)	233,5 (5,0)	135,9 (4,7)
5 (sector Punucapa)	2258,4 (41,3)	691,0 (25,9)
Ríos tributarios del río Cruces		
6 (río Pichoy)	12,8 (0,6)	20,2 (0,6)
7 (río Cayumapu)	430,6 (10,6)	52,2 (1,8)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios		
8 (río Calle Calle)	4,0 (0,0)	3,3 (0,3)

Continuación Tabla 4.1.1.24

estaciones	Sulfatos (mg/L)				
	2014			2015	
	abril	mayo	julio	abril	julio
Eje central del río Cruces (sector límnic)					
1 (sector Ciruelos)	0,9 (0,01)	0,9 (0,00)	0,6 (0,01)	3,3 (0,01)	0,7 (0,03)
2 (sector Rucaco)	13,5 (0,29)	5,1 (0,25)	1,1 (0,04)	40,8 (0,50)	1,8 (0,07)
Eje central del río Cruces (sector estuarial)					
3 (sector Fuerte San Luis)	11,3 (0,19)	6,7 (0,20)	1,6 (0,02)	34,0 (0,57)	2,2 (0,09)
4 (sector Santa Clara)	9,2 (0,09)	6,2 (0,20)	1,5 (0,01)	89,6 (0,88)	1,7 (0,03)
5 (sector Punucapa)	27,8 (0,91)	2,8 (0,01)	1,6 (0,01)	177,1 (0,80)	1,6 (0,18)
Ríos tributarios del río Cruces					
6 (río Pichoy)	1,2 (0,02)	1,5 (0,07)	0,9 (0,00)	12,0 (1,07)	1,2 (0,06)
7 (río Cayumapu)	13,9 (0,06)	3,8 (0,06)	1,3 (0,02)	138,3 (0,34)	2,4 (0,03)
Fuera del humedal del río Cruces y ríos tributarios					
8 (río Calle Calle)	1,7 (0,00)	2,0 (0,03)	1,4 (0,09)	4,9 (0,20)	1,5 (0,02)

Continuación Tabla 4.1.1.24

estaciones	Sulfatos (mg/L)	
	2016	
	abril	julio
Eje central del río Cruces (sector límnic)		
1 (sector Ciruelos)	1,3 (0,20)	3,1 (0,08)
2 (sector Rucaco)	22,5 (0,53)	20,9 (1,34)
Eje central del río Cruces (sector estuarial)		
3 (sector Fuerte San Luis)	16,2 (0,50)	13,0 (0,38)
4 (sector Santa Clara)	26,5 (0,57)	19,6 (0,33)
5 (sector Punucapa)	164,9 (3,19)	56,4 (0,20)
Ríos tributarios del río Cruces		
6 (río Pichoy)	0,7 (0,04)	5,2 (0,45)
7 (río Cayumapu)	33,4 (0,24)	8,3 (0,79)
Fuera del humedal del río Cruces y ríos tributarios		
8 (río Calle Calle)	1,2 (0,11)	2,4 (0,38)

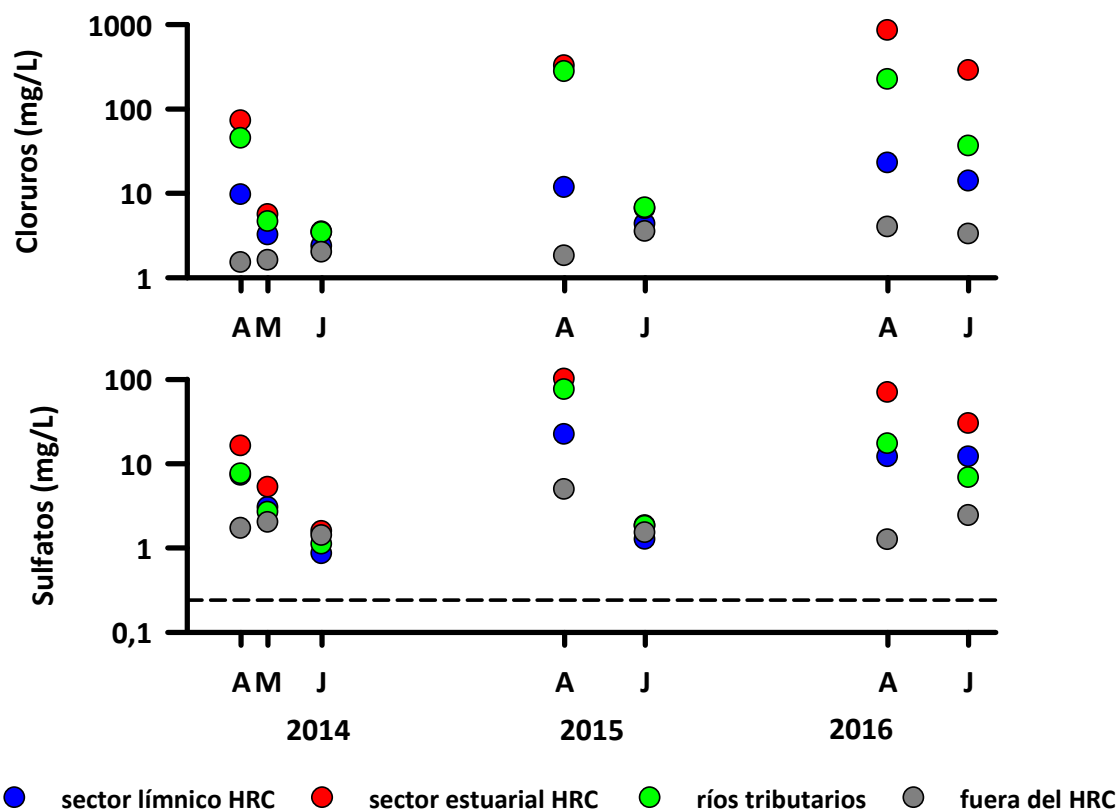


Figura 4.1.1.15. Comparación interanual de cloruros (mg/L) y sulfatos (mg/L) en aguas superficiales del sector línico del río Cruces, sector estuarial del río Cruces, ríos tributarios del río Cruces y fuera del humedal del río Cruces. La línea segmentada indica el límite de detección del método utilizado.

Análisis estadísticos

Las concentraciones de Sulfatos registradas durante el año 2015, fueron significativamente más altas ($p < 0,05$) que las registradas durante el año 2014, mientras que las concentraciones obtenidas el año 2016, no presentaron diferencias con los otros años estudiados. Las concentraciones más altas, se encontraron en el eje estuarial, siendo significativamente más altas ($p < 0,05$) que las encontradas en el sector línico y el sector fuera del HRC, estas mismas diferencias entre sitios se encontraron para los Cloruros, sin embargo, no se detectaron diferencias significativas al compararlo entre años (Tabla 4.1.1.25).

Tabla 4.1.1.25. Resumen de ANDEVA Factorial y Prueba *a posteriori* de Tukey para evaluar diferencias en la concentración de Sulfatos y Cloruro registrados en aguas superficiales entre los factores principales. Los factores son Año de muestreo (2014-2015-2016) y Sector (L = sector límnic del río Cruces; EE = eje estuarial y central del río Cruces; T = ríos tributarios del humedal del río Cruces y F = fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios). Los valores de P en negrilla son significativos (<0,05) para cada prueba. Las comparaciones a posteriori deben interpretarse con cautela cuando la interacción AxS es significativa.

Parámetro	Fuente	GL	SC	CM	F	Valor P	Prueba de Tukey
SO ₄ (***)	Año (A)	2	8557,368	4278,684	3,656	0,029	2015 > 2014
	Sector (S)	3	17935,001	5978,334	5,187	0,002	EE > L; EE > F
	A × S	6	9153,598	1525,600	5,108	0,263	
	Error	100	117033,368	1170,334			
	Total	111	156575,790	1410,593			
Cl ⁻ (***)	Año (A)	2	450438,039	225219,02	2,504	0,087	
	Sector (S)	3	1223888,413	407962,80	4,535	0,005	EE > L; EE > F
	A × S	6	1170785,307	195130,88	2,169	0,052	
	Error	100	8995903,343	89959,03			
	Total	111	12164135,139	109586,80			

GL = grados de Libertad; SC = Suma de Cuadrados; CM = Cuadrados medios; F = razón F; P = Valor de Probabilidad de error al rechazar Ho; (*) = Datos transformados a log₁₀. (**) = Cumple al menos uno de los supuestos de ANDEVA; (***) No cumple supuestos de ANDEVA.

Metales pesados disueltos

En las Tablas 4.1.1.26 a 4.1.1.34 se presentan las concentraciones de metales pesados disueltos en el agua del área de estudio.

Los metales pesados con mayores concentraciones, durante las campañas 2014, 2015 y 2016 fueron Hierro, Aluminio y Manganeso, respectivamente (Tablas 4.1.1.26, 4.1.1.27, 4.1.1.28 y Fig. 4.1.1.16). Todos los metales disueltos detectados durante abril y julio de 2015, se encuentran por lo general, dentro del rango obtenido durante el Programa de Diagnóstico Ambiental del HRC 2014.

No se ha detectado Arsénico ni Mercurio en ninguna de las campañas realizadas desde 2014 a 2016 (Tablas 4.1.1.33 y 4.1.1.34, respectivamente); tampoco fue detectado el Zinc durante julio 2015 y abril 2016, en tanto que, en abril de 2015 y julio 2016 sólo fue detectado Zinc en la estación 6 (río Pichoy) y estación 4 (sector Santa Clara), respectivamente. Mientras que el Cadmio, sólo fue detectado durante la campaña de abril de 2015 (Tabla 4.1.1.32 y Fig. 4.1.1.17), en tres de las ocho estaciones muestreadas (estaciones 1 y 2, Ciruelos y Rucaco en el río Cruces) y estación 6 (río Pichoy); y en el 2016 no se detectó en ninguna estación ni época de muestreo.

El plomo durante el año 2016, presento mayores concentraciones que el año 2015 y aún mayores que el año 2014, pero dentro del mismo orden de magnitud (Tabla 4.1.1.31 y Fig.4.1.1.17).

Algunos de los cambios que se pueden observar a la fecha es que las concentraciones de Aluminio y Zinc, han disminuido en relación a las campañas anteriores. Situación contraria se observa en la concentración de Cobre y Plomo, que ha mostrado un leve aumento a partir del año 2015 (Figs. 4.1.1.16 y 4.1.1.17).

Tabla 4.1.1.26. Concentración de Hierro disuelto en aguas superficiales del eje central del río Cruces y ríos Pichoy, Cayumapu y Calle Calle, entre los años 2014, 2015 y 2016. Los valores son promedios con desviación estándar en paréntesis.

Estaciones	Hierro ($\mu\text{g/L}$)				
	2014			2015	
	abril	mayo	julio	abril	julio
Eje central del río Cruces (sector límnic)					
1 (sector Ciruelos)	111,2 (31,0)	47,2 (5,6)	45,6 (4,3)	138,5 (31,4)	44,8 (19,2)
2 (sector Rucaco)	10,7 (3,7)	47,8 (7,9)	46,6 (12,4)	68,33 (23,0)	45,3 (16,1)
Eje central del río Cruces (sector estuarial)					
3 (sector Fuerte San Luis)	65,2 (13,6)	46,8 (0,7)	40,0 (6,2)	83,8 (2,2)	64,6 (3,7)
4 (sector Santa Clara)	57,2 (7,4)	100,3 (1,7)	53,9 (12,0)	31,1 (3,2)	64,5 (2,0)
5 (sector Punucapa)	44,0 (2,1)	64,8 (6,7)	52,7 (15,3)	15,5 (2,8)	71,3 (2,1)
Ríos tributarios del río Cruces					
6 (río Pichoy)	117,5 (38,1)	136,1 (53,8)	63,9 (4,9)	103,9 (0,6)	114,7 (1,8)
7 (río Cayumapu)	93,0 (1,2)	112,0 (24,3)	66,5 (1,2)	34,2 (6,1)	100,1 (34,9)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios					
8 (río Calle Calle)	23,7 (0,2)	33,2 (0,0)	23,7 (0,2)	43,5 (2,8)	25,2 (9,9)

Continuación Tabla 4.1.1.26

Estaciones	Hierro ($\mu\text{g/L}$)	
	2016	
	abril	julio
Eje central del río Cruces (sector límnic)		
1 (sector Ciruelos)	93,7 (2,6)	68,3 (2,6)
2 (sector Rucaco)	20,9 (3,9)	22,2 (0,4)
Eje central del río Cruces (sector estuarial)		
3 (sector Fuerte San Luis)	68,9 (7,1)	39,3 (2,1)
4 (sector Santa Clara)	45,5 (0,9)	37,0 (0,7)
5 (sector Punucapa)	15,7 (0,3)	15,4 (0,3)
Ríos tributarios del río Cruces		
6 (río Pichoy)	90,1 (0,3)	102,1 (0,7)
7 (río Cayumapu)	55,0 (1,8)	61,9 (0,3)
Fuera del humedal del río Cruces y ríos tributarios		
8 (río Calle Calle)	33,8 (0,3)	30,5 (1,6)

Tabla 4.1.1.27. Concentración de Aluminio disuelto en aguas superficiales del eje central del río Cruces y ríos Pichoy, Cayumapu y Calle Calle, entre los años 2014, 2015 y 2016. Los valores son promedios con desviación estándar en paréntesis.

Estaciones	Aluminio ($\mu\text{g/L}$)				
	2014			2015	
	abril	mayo	julio	abril	julio
Eje central del río Cruces (sector límnic)					
1 (sector Ciruelos)	9,9 (2,0)	8,2 (1,1)	20,4 (1,4)	10,5 (1,6)	18,6 (4,2)
2 (sector Rucaco)	6,3 (0,6)	11,2 (0,9)	23,4 (7,0)	10,1 (0,4)	18,3 (4,9)
Eje central del río Cruces (sector estuarial)					
3 (sector Fuerte San Luis)	7,6 (1,5)	11,6 (0,3)	11,9 (1,2)	10,8 (0,4)	20,7 (0,1)
4 (sector Santa Clara)	12,9 (1,4)	14,8 (1,2)	17,9 (2,1)	8,2 (1,1)	21,8 (0,1)
5 (sector Punucapa)	9,0 (0,5)	11,8 (0,8)	13,5 (3,2)	5,7 (0,1)	25,5 (1,0)
Ríos tributarios del río Cruces					
6 (río Pichoy)	12,6 (1,8)	21,0 (5,3)	28,3 (1,0)	12,0 (0,0)	44,4 (0,7)
7 (río Cayumapu)	6,6 (0,5)	19,2 (2,8)	38,5 (1,6)	1,3 (0,2)	48,7 (14,6)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios					
8 (río Calle Calle)	5,3 (0,6)	20,0 (1,1)	10,5 (1,7)	6,3 (0,0)	24,6 (6,5)

Continuación Tabla 4.1.1.27

Estaciones	Aluminio ($\mu\text{g/L}$)	
	2016	
	abril	julio
Eje central del río Cruces (sector límnic)		
1 (sector Ciruelos)	7,0 (0,01)	4,4 (0,41)
2 (sector Rucaco)	7,7 (0,70)	3,9 (0,38)
Eje central del río Cruces (sector estuarial)		
3 (sector Fuerte San Luis)	8,2 (0,57)	5,3 (0,73)
4 (sector Santa Clara)	11,2 (0,01)	5,1 (0,09)
5 (sector Punucapa)	4,1 (0,58)	3,4 (0,71)
Ríos tributarios del río Cruces		
6 (río Pichoy)	7,5 (0,02)	14,4 (0,55)
7 (río Cayumapu)	3,6 (0,13)	5,9 (0,03)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios		
8 (río Calle Calle)	7,3 (0,13)	4,3 (0,27)

Tabla 4.1.1.28. Concentración de Manganeso disuelto en aguas superficiales del eje central del río Cruces y ríos Pichoy, Cayumapu y Calle Calle, entre los años 2014, 2015 y 2016. Los valores son promedios con desviación estándar en paréntesis.

Estaciones	Manganeso ($\mu\text{g/L}$)				
	2014			2015	
	abril	mayo	julio	abril	julio
Eje central del río Cruces (sector límnic)					
1 (sector Ciruelos)	17,7 (0,3)	4,7 (0,2)	1,4 (0,2)	11,4 (1,1)	2,6 (0,5)
2 (sector Rucaco)	24,4 (0,5)	5,5 (0,5)	1,6 (0,4)	25,3 (0,9)	2,8 (0,2)
Eje central del río Cruces (sector estuarial)					
3 (sector Fuerte San Luis)	26,5 (1,5)	10,0 (0,1)	2,2 (0,0)	3,5 (0,3)	2,8 (0,0)
4 (sector Santa Clara)	0,9 (0,1)	9,2 (5,5)	2,0 (0,0)	0,2 (0,0)	1,3 (0,0)
5 (sector Punucapa)	1,4 (0,2)	0,8 (0,0)	2,5 (0,3)	1,8 (0,1)	1,5 (0,0)
Ríos tributarios del río Cruces					
6 (río Pichoy)	27,0 (0,3)	19,1 (0,4)	22,6 (0,9)	19,7 (2,9)	8,8 (0,2)
7 (río Cayumapu)	22,4 (0,2)	4,9 (0,5)	5,4 (0,1)	27,8 (1,9)	9,8 (0,6)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios					
8 (río Calle Calle)	3,5 (0,1)	0,9 (0,1)	1,8 (0,3)	3,4 (0,0)	2,3 (0,2)

Continuación Tabla 4.1.1.28

Estaciones	Manganeso ($\mu\text{g/L}$)	
	2016	
	abril	julio
Eje central del río Cruces (sector límnico)		
1 (sector Ciruelos)	13,5 (0,02)	14,4 (0,28)
2 (sector Rucaco)	18,5 (0,29)	16,2 (0,36)
Eje central del río Cruces (sector estuarial)		
3 (sector Fuerte San Luis)	1,5 (0,21)	12,0 (0,92)
4 (sector Santa Clara)	0,8 (0,13)	0,4 (0,01)
5 (sector Punucapa)	8,6 (0,16)	1,7 (0,02)
Ríos tributarios del río Cruces		
6 (río Pichoy)	13,4 (0,21)	4,1 (0,05)
7 (río Cayumapu)	27,7 (0,16)	0,7 (0,02)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios		
8 (río Calle Calle)	0,6 (0,01)	3,3 (0,23)

Tabla 4.1.1.29. Concentración de Cobre disuelto en aguas superficiales del eje central del río Cruces y ríos Pichoy, Cayumapu y Calle Calle, entre los años 2014, 2015 y 2016. Los valores son promedios con desviación estándar en paréntesis.

Estaciones	Cobre ($\mu\text{g/L}$)				
	2014			2015	
	abril	mayo	julio	abril	julio
Eje central del río Cruces (sector límnico)					
1 (sector Ciruelos)	0,3 (0,0)	0,3 (0,1)	0,5 (0,0)	0,7 (0,0)	0,7 (0,3)
2 (sector Rucaco)	0,3 (0,0)	0,3 (0,0)	0,6 (0,1)	0,7 (0,0)	0,6 (0,1)
Eje central del río Cruces (sector estuarial)					
3 (sector Fuerte San Luis)	0,4 (0,1)	0,6 (0,2)	0,4 (0,0)	0,7 (0,0)	0,5 (0,1)
4 (sector Santa Clara)	0,4 (0,0)	0,5 (0,0)	1,6 (1,6)	0,7 (0,0)	0,5 (0,1)
5 (sector Punucapa)	0,5 (0,0)	0,4 (0,0)	0,4 (0,0)	0,7 (0,0)	0,7 (0,1)
Ríos tributarios del río Cruces					
6 (río Pichoy)	0,4 (0,0)	0,5 (0,1)	0,7 (0,0)	0,7 (0,0)	0,6 (0,0)
7 (río Cayumapu)	0,4 (0,0)	0,6 (0,0)	0,6 (0,0)	0,7 (0,1)	0,9 (0,0)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios					
8 (río calle Calle)	0,2 (0,0)	0,5 (0,1)	0,3 (0,0)	0,6 (0,0)	0,7 (0,3)

Continuación Tabla 4.1.1.29

Estaciones	Cobre ($\mu\text{g/L}$)	
	2016	
	abril	julio
Eje central del río Cruces (sector límnic)		
1 (sector Ciruelos)	0,8 (0,02)	0,63 (0,03)
2 (sector Rucaco)	0,8 (0,02)	0,60 (0,00)
Eje central del río Cruces (sector estuarial)		
3 (sector Fuerte San Luis)	1,1 (0,29)	0,65 (0,01)
4 (sector Santa Clara)	0,8 (0,29)	0,48 (0,06)
5 (sector Punucapa)	1,2 (0,00)	0,63 (0,05)
Ríos tributarios del río Cruces		
6 (río Pichoy)	1,1 (0,23)	0,70 (0,00)
7 (río Cayumapu)	0,9 (0,00)	0,74 (0,01)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios		
8 (río calle Calle)	0,8 (0,07)	0,79 (0,05)

Tabla 4.1.1.30. Concentración de Zinc disuelto en aguas superficiales del eje central del río Cruces y ríos Pichoy, Cayumapu y Calle Calle, entre los años 2014, 2015 y 2016. Los valores son promedios con desviación estándar en paréntesis. * = No detectado, *i.e.*, bajo el límite de detección del método utilizado.

Estaciones	Zinc ($\mu\text{g/L}$)				
	2014			2015	
	abril	mayo	julio	abril	julio
Eje central del río Cruces (sector límnic)					
1 (sector Ciruelos)	0,82 (0,42)	0,34 (0,04)	0,79 (0,02)	*	*
2 (sector Rucaco)	0,81 (0,40)	0,33 (0,10)	0,55 (0,14)	*	*
Eje central del río Cruces (sector estuarial)					
3 (sector Fuerte San Luis)	0,73 (0,38)	0,51 (0,07)	*	*	*
4 (sector Santa Clara)	0,36 (0,06)	0,37 (0,07)	0,47 (0,00)	*	*
5 (sector Punucapa)	0,66 (0,65)	0,60 (0,21)	*	*	*
Ríos tributarios del río Cruces					
6 (río Pichoy)	0,66 (0,23)	0,39 (0,01)	1,05 (1,11)	0,40	*
7 (río Cayumapu)	0,53 (0,17)	0,30 (0,22)	0,28 (0,00)	*	*
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios					
8 (río calle Calle)	0,26 (0,01)	0,21 (0,09)	1,00 (0,27)	*	*

Continuación Tabla 4.1.1.30

Estaciones	Zinc ($\mu\text{g/L}$)	
	2016	
	abril	julio
Eje central del río Cruces (sector límnic)		
1 (sector Ciruelos)	*	*
2 (sector Rucaco)	*	*
Eje central del río Cruces (sector estuarial)		
3 (sector Fuerte San Luis)	*	*
4 (sector Santa Clara)	*	1,02 (0,11)
5 (sector Punucapa)	*	*
Ríos tributarios del río Cruces		
6 (río Pichoy)	*	*
7 (río Cayumapu)	*	*
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios		
8 (río calle Calle)	*	*

Tabla 4.1.1.31. Concentración de Plomo disuelto en aguas superficiales del eje central del río Cruces y ríos Pichoy, Cayumapu y Calle Calle, entre los años 2014, 2015 y 2016. Los valores son promedios con desviación estándar en paréntesis. * = No detectado, *i.e.*, bajo el límite de detección del método utilizado.

Estaciones	Plomo ($\mu\text{g/L}$)				
	2014			2015	
	abril	mayo	julio	abril	julio
Eje central del río Cruces (sector límnic)					
1 (sector Ciruelos)	*	0,01 (0,00)	0,02 (0,00)	0,02 (0,00)	0,02 (0,00)
2 (sector Rucaco)	*	*	0,02 (0,00)	0,02 (0,00)	0,01 (0,00)
Eje central del río Cruces (sector estuarial)					
3 (sector Fuerte San Luis)	*	0,01 (0,00)	*	0,03 (0,00)	0,01 (0,00)
4 (sector Santa Clara)	*	0,01 (0,00)	*	0,02 (0,00)	0,01 (0,00)
5 (sector Punucapa)	*	0,02 (0,01)	*	0,01 (0,00)	0,02 (0,00)
Ríos tributarios del río Cruces					
6 (río Pichoy)	*	0,01 (0,00)	*	0,06 (0,00)	0,01
7 (río Cayumapu)	*	0,01 (0,00)	*	0,02 (0,00)	0,02 (0,00)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios					
8 (río calle Calle)	*	0,01 (0,00)	*	0,02 (0,00)	0,04

Continuación Tabla 4.1.1.31

Estaciones	Plomo ($\mu\text{g/L}$)	
	2016	
	abril	julio
Eje central del río Cruces (sector límnico)		
1 (sector Ciruelos)	0,021 (0,004)	0,030 (0,000)
2 (sector Rucaco)	0,019 (0,000)	0,025 (0,002)
Eje central del río Cruces (sector estuarial)		
3 (sector Fuerte San Luis)	0,030 (0,016)	0,014 (0,000)
4 (sector Santa Clara)	0,015 (0,006)	0,023 (0,001)
5 (sector Punucapa)	0,027 (0,014)	0,021 (0,004)
Ríos tributarios del río Cruces		
6 (río Pichoy)	0,024 (0,000)	0,020 (0,002)
7 (río Cayumapu)	0,020 (0,001)	0,013 (0,002)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios		
8 (río calle Calle)	0,029 (0,001)	0,044 (0,005)

Tabla 4.1.1.32. Concentración de Cadmio disuelto en aguas superficiales del eje central del río Cruces y ríos Pichoy, Cayumapu y Calle Calle, entre los años 2014, 2015 y 2016. Los valores son promedios con desviación estándar en paréntesis. * = No detectado, *i.e.*, bajo el límite de detección del método utilizado.

Estaciones	Cadmio ($\mu\text{g/L}$)				
	2014			2015	
	abril	mayo	julio	abril	julio
Eje central del río Cruces (sector límnico)					
1 (sector Ciruelos)	*	0,004 (0,000)	*	0,025	*
2 (sector Rucaco)	*	*	*	0,097	*
Eje central del río Cruces (sector estuarial)					
3 (sector Fuerte San Luis)	*	*	*	*	*
4 (sector Santa Clara)	*	*	*	*	*
5 (sector Punucapa)	*	*	*	*	*
Ríos tributarios del río Cruces					
6 (río Pichoy)	*	*	*	0,064	*
7 (río Cayumapu)	*	*	*	*	*
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios					
8 (río calle Calle)	*	*	*	*	*

Continuación Tabla 4.1.1.32

Estaciones	Cadmio ($\mu\text{g/L}$)	
	2016	
	abril	julio
Eje central del río Cruces (sector límnico)		
1 (sector Ciruelos)	*	*
2 (sector Rucaco)	*	*
Eje central del río Cruces (sector estuarial)		
3 (sector Fuerte San Luis)	*	*
4 (sector Santa Clara)	*	*
5 (sector Punucapa)	*	*
Ríos tributarios del río Cruces		
6 (río Pichoy)	*	*
7 (río Cayumapu)	*	*
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios		
8 (río calle Calle)	*	*

Tabla 4.1.1.33. Concentración de Arsénico disuelto en aguas superficiales del eje central del río Cruces y ríos Pichoy, Cayumapu y Calle Calle, entre los años 2014, 2015 y 2016. * = No detectado, *i.e.*, bajo el límite de detección del método utilizado.

Estaciones	Arsénico ($\mu\text{g/L}$)				
	2014			2015	
	abril	mayo	julio	abril	julio
Eje central del río Cruces (sector límnico)					
1 (sector Ciruelos)	*	*	*	*	*
2 (sector Rucaco)	*	*	*	*	*
Eje central del río Cruces (sector estuarial)					
3 (sector Fuerte San Luis)	*	*	*	*	*
4 (sector Santa Clara)	*	*	*	*	*
5 (sector Punucapa)	*	*	*	*	*
Ríos tributarios del río Cruces					
6 (río Pichoy)	*	*	*	*	*
7 (río Cayumapu)	*	*	*	*	*
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios					
8 (río calle Calle)	*	*	*	*	*

Continuación **Tabla 4.1.1.33**

Estaciones	Arsénico ($\mu\text{g/L}$)	
	2016	
	abril	julio
Eje central del río Cruces (sector límnico)		
1 (sector Ciruelos)	*	*
2 (sector Rucaco)	*	*
Eje central del río Cruces (sector estuarial)		
3 (sector Fuerte San Luis)	*	*
4 (sector Santa Clara)	*	*
5 (sector Punucapa)	*	*
Ríos tributarios del río Cruces		
6 (río Pichoy)	*	*
7 (río Cayumapu)	*	*
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios		
8 (río calle Calle)	*	*

Tabla 4.1.1.34. Concentración de Mercurio disuelto en aguas superficiales del eje central del río Cruces y ríos Pichoy, Cayumapu y Calle Calle, entre los años 2014, 2015 y 2016. * = No detectado, *i.e.*, bajo el límite de detección del método utilizado.

Estaciones	Mercurio ($\mu\text{g/L}$)				
	2014			2015	
	abril	mayo	julio	abril	julio
Eje central del río Cruces (sector límnico)					
1 (sector Ciruelos)	*	*	*	*	*
2 (sector Rucaco)	*	*	*	*	*
Eje central del río Cruces (sector estuarial)					
3 (sector Fuerte San Luis)	*	*	*	*	*
4 (sector Santa Clara)	*	*	*	*	*
5 (sector Punucapa)	*	*	*	*	*
Ríos tributarios del río Cruces					
6 (río Pichoy)	*	*	*	*	*
7 (río Cayumapu)	*	*	*	*	*
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios					
8 (río calle Calle)	*	*	*	*	*

Continuación **Tabla 4.1.1.34**

Estaciones	Mercurio ($\mu\text{g/L}$)	
	2016	
	abril	julio
Eje central del río Cruces (sector límnic)		
1 (sector Ciruelos)	*	*
2 (sector Rucaco)	*	*
Eje central del río Cruces (sector estuarial)		
3 (sector Fuerte San Luis)	*	*
4 (sector Santa Clara)	*	*
5 (sector Punucapa)	*	*
Ríos tributarios del río Cruces		
6 (río Pichoy)	*	*
7 (río Cayumapu)	*	*
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios		
8 (río calle Calle)	*	*

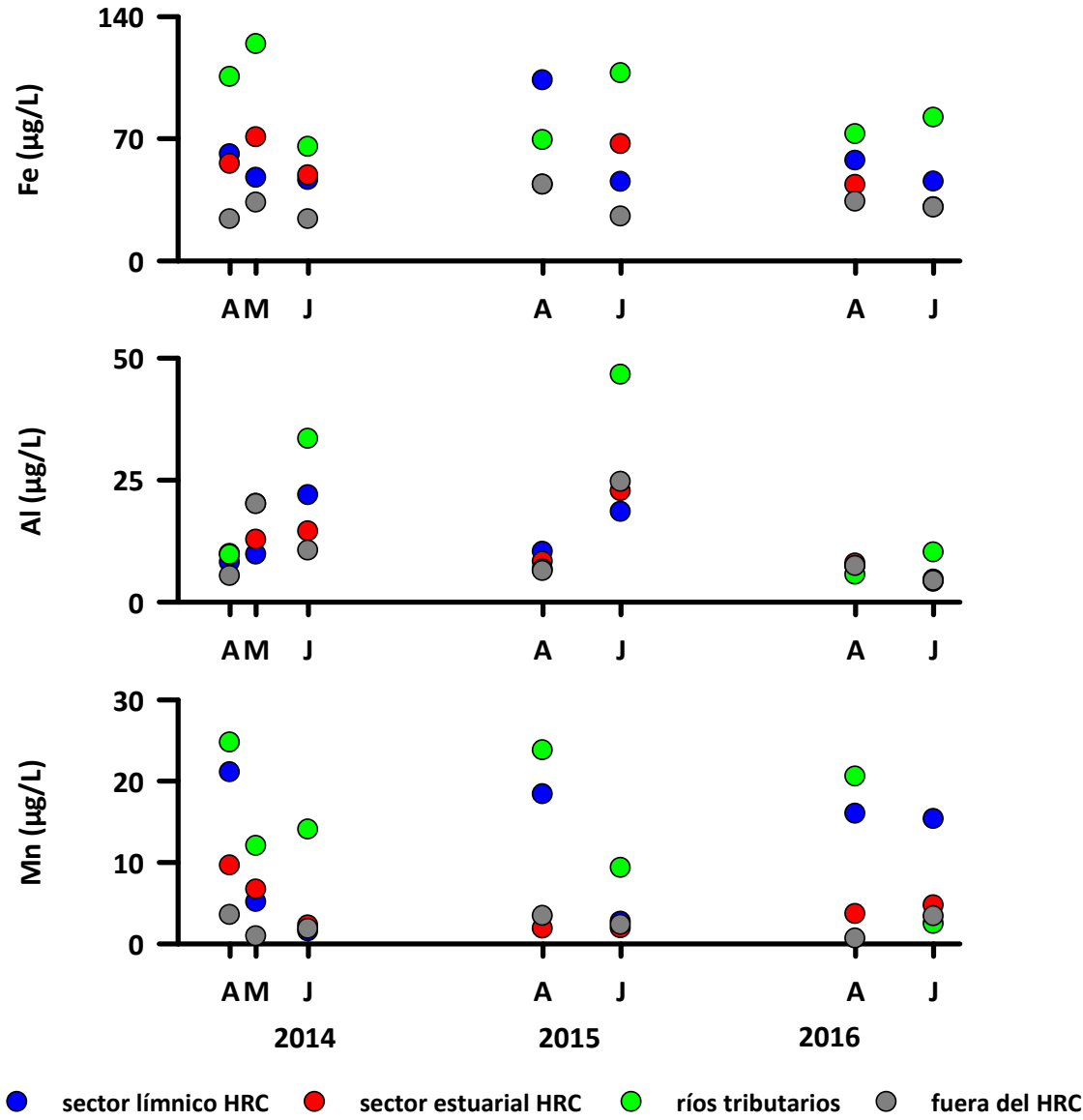


Figura 4.1.1.16. Comparación interanual de la concentración de Hierro, Aluminio y Manganeso disuelto en aguas superficiales del sector límnico del río Cruces, sector estuarial del río Cruces, ríos tributarios del río Cruces y fuera del humedal del río Cruces.

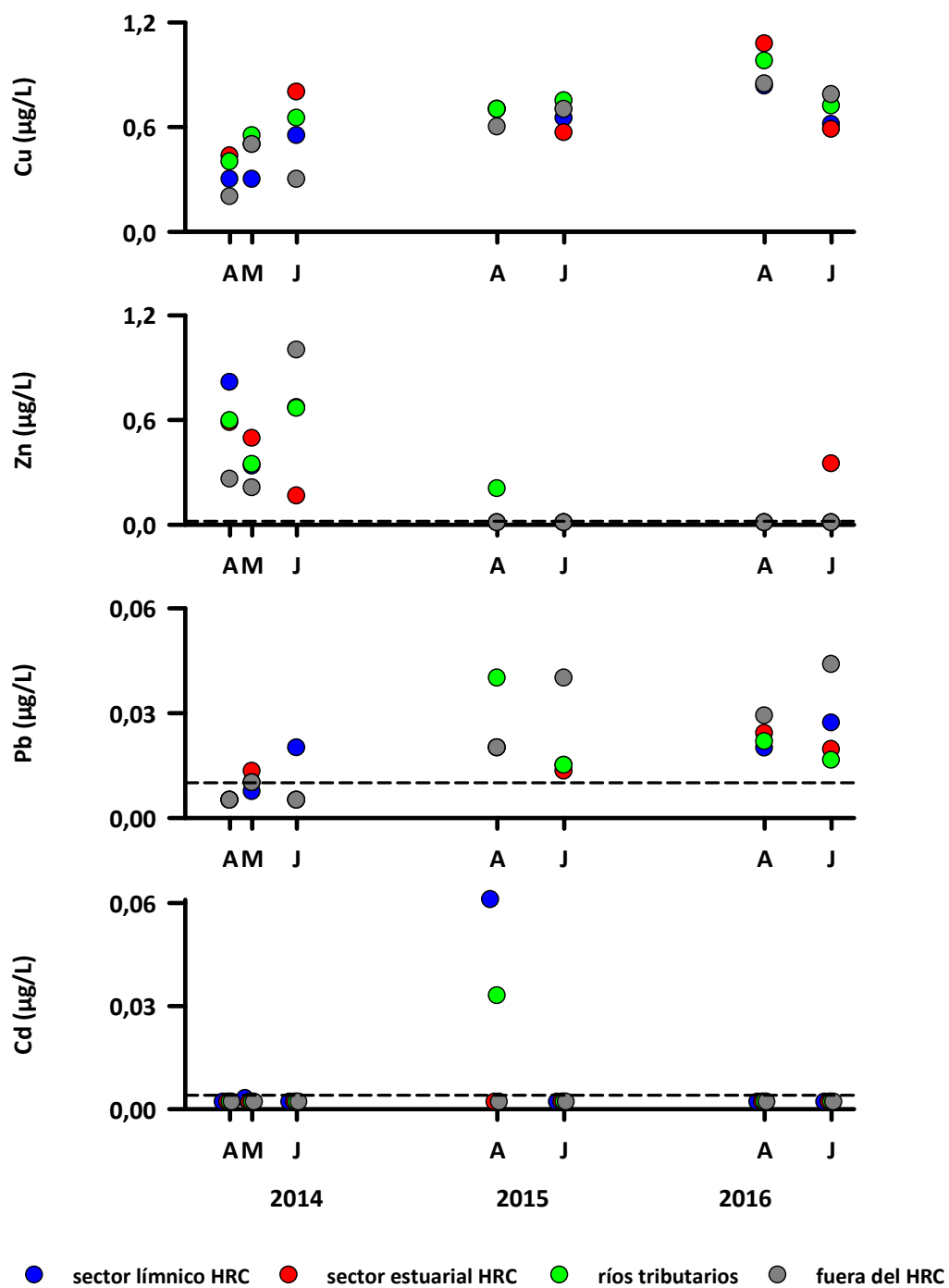


Figura 4.1.1.17. Comparación interanual de la concentración de Cobre, Zinc, Plomo y Cadmio disuelto en aguas superficiales del sector límico del río Cruces, sector estuarial del río Cruces, ríos tributarios del río Cruces y fuera del humedal del río Cruces. La línea segmentada indica el límite de detección del método utilizado.

Análisis estadísticos

Sólo las concentraciones de Hierro y Manganeso en metales pesados disueltos presentaron diferencias significativas ($p < 0,05$) entre sectores del área de estudio, donde los ríos tributarios presentaron los valores significativamente más altos ($p < 0,05$) de concentraciones de Hierro; por otra parte tanto el sector límnic como tributario presentaron las concentraciones significativamente más altas ($p < 0,05$) de estos metales. Las concentraciones detectadas de Aluminio fueron significativamente más bajas durante el año 2016 que ambos años anteriores. Mientras que las concentraciones de Zinc detectadas el año 2014 son significativamente más bajas que las detectadas durante los años 2015 y 2016. Las concentraciones de Cobre y Plomo detectadas durante el Programa de Diagnóstico Ambiental del HRC 2014-2015, fueron significativamente ($p < 0,05$) más bajas que las detectadas durante ambos años del Programa de Monitoreo Ambiental del HRC (2015 y 2016). Finalmente, sólo el Manganeso (Mn) presentó una interacción significativa en la variabilidad entre años y sectores (Tabla 4.1.1.35).

Tabla 4.1.1.35. Resumen de ANDEVA Factorial y Prueba *a posteriori* de Tukey para evaluar diferencias en las concentraciones de metales pesados disueltos en aguas superficiales registradas entre los factores principales. Los factores son Año de muestreo (2014-2015-2016) y Sector (L = sector límico del río Cruces; EE = eje estuarial y central del río Cruces; T = ríos tributarios del humedal del río Cruces y F = fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios). Los valores de P en negrilla son significativos (<0,05) para cada prueba. Las comparaciones a posteriori deben interpretarse con cautela cuando la interacción AxS es significativa.

Parámetro	Fuente	GL	SC	CM	F	P	Prueba de Tukey
Fe	Año (A)	2	2652,285	1326,143	1,731	0,182	
	Sector (S)	3	36439,317	12146,439	15,853	<0,001	T > L > F; T > EE
	A × S	6	4330,082	721,680	0,942	0,469	
	Error	100	76619,669	766,197			
	Total	111	125401,292	1129,741			
Al (*) (**)	Año (A)	2	1,873	0,936	16,557	<0,001	2014 = 2015 > 2016
	Sector (S)	3	0,225	0,0749	1,325	0,271	
	A × S	6	0,0829	0,0138	0,244	0,960	
	Error	100	5,656	0,0566			
	Total	111	8,274	0,0745			
Mn (*) (**)	Año (A)	2	0,00257	0,00128	0,0118	0,988	
	Sector (S)	3	7,163	2,388	21,967	<0,001	L = T > EE = F
	A × S	6	1,618	0,270	2,481	0,028	
	Error	100	10,870	0,109			
	Total	111	19,673	0,177			
Cu (***)	Año (A)	2	2,107	1,054	14,354	<0,001	2014 < 2015 = 2016
	Sector (S)	3	0,269	0,0897	1,222	0,306	
	A × S	6	0,249	0,0416	0,566	0,756	
	Error	100	7,340	0,0734			
	Total	111	9,956	0,0897			
Zn (***)	Año (A)	2	5,052	2,526	31,994	<0,001	2014 > 2015 = 2016
	Sector (S)	3	0,0128	0,00428	0,0542	0,983	
	A × S	6	0,540	0,0900	1,140	0,345	
	Error	100	7,895	0,0790			
	Total	111	13,812	0,124			
Pb (**)	Año (A)	2	0,00632	0,00316	27,289	<0,001	2014 < 2015 = 2016
	Sector (S)	3	0,000444	0,000148	1,278	0,286	
	A × S	6	0,00126	0,000211	1,818	0,103	
	Error	100	0,0116	0,000116			
	Total	111	0,0191	0,000172			

GL = grados de Libertad; SC = Suma de Cuadrados; CM = Cuadrados medios; F = razón F; P = Valor de Probabilidad de error al rechazar Ho; (*) = Datos transformados a log₁₀. (**) = Cumple al menos uno de los supuestos de ANDEVA; (***) No cumple supuestos de ANDEVA.

Metales pesados particulados

En las Tablas 4.1.1.36 a 4.1.1.44 se informan las concentraciones de metales pesados particulados presentes en el agua del área de estudio durante los años 2014, 2015 y 2016.

Similar a lo observado en la fracción disuelta, el Hierro, Aluminio y Manganeseo fueron los metales pesados más representados (*i.e.*, mayores concentraciones) en la fracción particulada.

Dos de los ocho metales detectados durante abril y julio de 2016 (Zinc y Cadmio), se encuentran dentro de los rangos (valor máximo y mínimo), obtenidos en el Programa de Diagnóstico Ambiental del HRC 2014-2015 (Tablas 4.1.1.40, 4.1.1.42, respectivamente y Fig. 4.1.1.19).

La concentración máxima de Hierro registrada, fue en la estación 1 (río Cruces, sector Ciruelos), durante el mes de abril del año 2016, la mínima fue durante el año 2014 en la estación 8 (sector río Calle Calle) (Tabla 4.1.1.36 y Fig. 4.1.1.18). El Aluminio, presentó sus más altas concentraciones individuales durante la campaña de Julio de 2015 (estación 3 del sector San Luis), mientras que, para julio del 2016, se encontró su valor más bajo, en la estación 6 (sector río Pichoy) (Tabla 4.1.1.37 y Fig. 4.1.1.18). En tanto que el Manganeseo y el Cobre, han presentado por lo general concentraciones similares a las obtenidas en el Programa de Diagnóstico Ambiental del HRC 2014-2015 (Tablas 4.1.1.38, 4.1.1.39 y Figs. 4.1.1.18 y 4.1.1.19). Las concentraciones de Zinc, en la última campaña 2016, se encontraron dentro de los rangos obtenidos durante el Programa de Diagnóstico Ambiental del HRC 2014-2015, donde se distinguen valores considerablemente más altos durante el mes de abril del año 2015 (Tabla 4.1.1.40 y Fig. 4.1.1.19). Por otra parte, las concentraciones de Plomo, por lo general se encontraron dentro de rango de las obtenidas durante el Programa de Diagnóstico Ambiental del HRC 2014-2015, sin embargo, los valores más altos y más bajos fueron

superados durante ambas campañas posteriores (Tabla 4.1.1.41 y Fig. 4.1.1.19). Las concentraciones de Cadmio durante el año 2015 presentaron valores más altos que los registrados el 2014 y 2016, aun cuando los valores son por lo general más altos que los encontrados durante el Programa de Diagnóstico Ambiental del HRC 2014-2015, son más bajos a los encontrados durante el primer año del Programa de Monitoreo Ambiental del HRC (año 2015) (Tabla 4.1.1.42 y Fig. 4.1.1.19). Durante las campañas 2015 y 2016 no se ha vuelto a detectar Arsénico, como sí se detectó durante el año 2014 (Tabla 4.1.1.43 y Fig. 4.1.1.20). Por último, las concentraciones de Mercurio han tenido un leve aumento en comparación al Programa de Diagnóstico Ambiental del HRC 2014-2015, donde no fueron detectados durante el mes de abril, situación que no ocurrió durante el año 2016 donde se detectó en el sector límnic y estuarial del HRC (Tabla 4.1.1.44 y Fig. 4.1.1.20).

Tabla 4.1.1.36. Concentración de Hierro particulado en aguas superficiales del eje central del río Cruces y ríos Pichoy, Cayumapu y Calle Calle, entre los años 2014, 2015 y 2016. Los valores son promedios con desviación estándar en paréntesis.

Estaciones	Hierro ($\mu\text{g/g}$)				
	2014			2015	
	abril	mayo	julio	abril	julio
Eje central del río Cruces (sector límnic)					
1 (sector Ciruelos)	119.527 (10.850)	60.206 (1.540)	69.100 (3.012)	98.605 (18.799)	80.368 (36)
2 (sector Rucaco)	127.230 (27.561)	60.530 (1.539)	85.519 (6.609)	85.333 (333)	82.250 (6.748)
Eje central del río Cruces (sector estuarial)					
3 (sector Fuerte San Luis)	159.483 (7.301)	83.002 (8.772)	81.850 (7.672)	105.089 (31.969)	81.362 (1.496)
4 (sector Santa Clara)	65.804 (1.949)	58.997 (256)	92.697 (430)	41.920 (3.046)	109.792 (6.255)
5 (sector Punucapa)	52.039 (2.642)	51.435 (2.824)	94.179 (1.702)	59.268 (4.454)	100.698 (11.111)
Ríos tributarios del río Cruces					
6 (río Pichoy)	156.069 (23.378)	108.666 (53.391)	79.760 (4.820)	93.154 (1.758)	118.331 (6.790)
7 (río Cayumapu)	66.307 (6.141)	64.629 (1.551)	84.967 (1.659)	49.518 (1.924)	100.262 (2.550)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios					
8 (río Calle Calle)	64.638 (23.788)	39.052 (2.052)	51.783 (467)	59.673 (17.747)	57.768 (1.730)

Continuación Tabla 4.1.1.36

estaciones	Hierro ($\mu\text{g/g}$)	
	2016	
	abril	julio
Eje central del río Cruces (sector límnic)		
1 (sector Ciruelos)	217.230 (1.949)	107.703 (90.143)
2 (sector Rucaco)	188.569 (75.198)	150.692 (95.744)
Eje central del río Cruces (sector estuarial)		
3 (sector Fuerte San Luis)	159.713 (180)	210.461 (17.472)
4 (sector Santa Clara)	142.727 (31.712)	85.793 (4.742)
5 (sector Punucapa)	81.509 (9.702)	107.298 (812)
Ríos tributarios del río Cruces		
6 (río Pichoy)	203.717 (11.951)	126.825 (45.570)
7 (río Cayumapu)	78.344 (1.130)	98.329 (7.544)
Fuera del humedal del río Cruces y ríos tributarios		
8 (río Calle Calle)	40.706 (3.583)	155.772 (55.730)

Tabla 4.1.1.37. Concentración de Aluminio particulado en aguas superficiales del eje central del río Cruces y ríos Pichoy, Cayumapu y Calle Calle, entre los años 2014, 2015 y 2016. Los valores son promedios con desviación estándar en paréntesis.

Estaciones	Aluminio ($\mu\text{g/g}$)				
	2014			2015	
	abril	mayo	julio	abril	julio
Eje central del río Cruces (sector límnic)					
1 (sector Ciruelos)	84.230 (8.752)	59.507 (1.528)	116.150 (4.446)	98.838 (117.723)	88.195 (16.044)
2 (sector Rucaco)	75.520 (5.500)	61.246 (1.498)	124.234 (1.5907)	32.439 (30.039)	93.200 (8.873)
Eje central del río Cruces (sector estuarial)					
3 (sector Fuerte San Luis)	105.237 (43)	65.495 (6.528)	101.954 (26.672)	90.473 (58.106)	181.520 (87.347)
4 (sector Santa Clara)	54.370 (3.537)	59.584 (1.738)	100.934 (1.276)	115.402 (44.186)	94.509 (14.249)
5 (sector Punucapa)	47.656 (3.301)	61.979 (1.465)	98.845 (368)	116.558 (86.078)	59.790 (3.255)
Ríos tributarios del río Cruces					
6 (río Pichoy)	88.029 (23.562)	71.654 (13.682)	111.112 (10.073)	28.524 (19.417)	72.417 (7.038)
7 (río Cayumapu)	56.208 (7.884)	49.938 (3.371)	126.119 (3.710)	19.123 (4.077)	77.851 (3.914)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios					
8 (río Calle Calle)	83.408 (11.219)	48.114 (4.984)	81.481 (564)	70.354 (8.005)	60.112 (4.783)

Continuación Tabla 4.1.1.37

estaciones	Aluminio ($\mu\text{g/g}$)	
	2016	
	abril	julio
Eje central del río Cruces (sector límnico)		
1 (sector Ciruelos)	170.827 (133.591)	17.866 (365)
2 (sector Rucaco)	115.186 (36.788)	15.148 (9.911)
Eje central del río Cruces (sector estuarial)		
3 (sector Fuerte San Luis)	104.452 (4.112)	30.311 (6.486)
4 (sector Santa Clara)	72.443 (38.290)	60.026 (2.392)
5 (sector Punucapa)	32.617 (5.087)	54.027 (7.878)
Ríos tributarios del río Cruces		
6 (río Pichoy)	40.338 (13.483)	736 (48)
7 (río Cayumapu)	34.744 (4.054)	1.068 (122)
Fuera del humedal del río Cruces y ríos tributarios		
8 (río Calle Calle)	44.179 (3.152)	3.540 (1.305)

Tabla 4.1.1.38. Concentración de Manganeso particulado en aguas superficiales del eje central del río Cruces y ríos Pichoy, Cayumapu y Calle Calle, entre los años 2014, 2015 y 2016. Los valores son promedios con desviación estándar en paréntesis.

Estaciones	Manganeso ($\mu\text{g/g}$)				
	abril	2014 mayo	julio	2015 abril	julio
Eje central del río Cruces (sector límnic)					
1 (sector Ciruelos)	8.054 (447)	1.045 (38)	613 (27)	6.657 (72)	2.603 (110)
2 (sector Rucaco)	7.665 (1.239)	1.005 (48)	1.712 (1.413)	5.294 (1.247)	2.392 (138)
Eje central del río Cruces (sector estuarial)					
3 (sector Fuerte San Luis)	11.685 (109)	2.804 (1.044)	1.942 (119)	8.858 (207)	2.965 (219)
4 (sector Santa Clara)	5.982 (145)	2.519 (171)	1.888 (25)	4.488 (568)	3.241 (89)
5 (sector Punucapa)	3.797 (333)	1.153 (97)	1.570 (24)	5.220 (856)	3.071 (195)
Ríos tributarios del río Cruces					
6 (río Pichoy)	7.331 (1.792)	2.196 (1.235)	860 (465)	3.544 (328)	4.279 (152)
7 (río Cayumapu)	3.182 (386)	1.505 (168)	634 (30)	602 (47)	1.695 (77)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios					
8 (río Calle Calle)	3.673 (625)	817 (23)	834 (27)	4.825 (1.508)	1.156 (77)

Continuación **Tabla 4.1.1.38**

estaciones	Manganeso ($\mu\text{g/g}$)	
	2016	
	abril	julio
Eje central del río Cruces (sector límnic)		
1 (sector Ciruelos)	5.912 (402)	1.045 (929)
2 (sector Rucaco)	1.853 (1)	1.061 (632)
Eje central del río Cruces (sector estuarial)		
3 (sector Fuerte San Luis)	15.390 (2.636)	3.308 (931)
4 (sector Santa Clara)	10.264 (2.384)	2.569 (238)
5 (sector Punucapa)	2.262 (279)	1.444 (19)
Ríos tributarios del río Cruces		
6 (río Pichoy)	4.795 (274)	2.952 (890)
7 (río Cayumapu)	2.244 (141)	2.647 (208)
Fuera del humedal del río Cruces y ríos tributarios		
8 (río Calle Calle)	4.520 (255)	2.732 (927)

Tabla 4.1.1.39. Concentración de Cobre particulado en aguas superficiales del eje central del río Cruces y ríos Pichoy, Cayumapu y Calle Calle, entre los años 2014, 2015 y 2016. Los valores son promedios con desviación estándar en paréntesis.

Estaciones	Cobre ($\mu\text{g/g}$)				
	2014			2015	
	abril	mayo	julio	abril	julio
Eje central del río Cruces (sector límnico)					
1 (sector Ciruelos)	148 (10)	62 (9)	88 (8)	154 (67)	90 (8)
2 (sector Rucaco)	157 (41)	55 (2)	93 (6)	133 (7)	98 (11)
Eje central del río Cruces (sector estuarial)					
3 (sector Fuerte San Luis)	238 (26)	45 (5)	45 (5)	188 (93)	124 (58)
4 (sector Santa Clara)	138 (45)	48 (4)	63 (1)	95 (22)	159 (3)
5 (sector Punucapa)	111 (32)	42 (4)	43 (2)	258 (75)	104 (23)
Ríos tributarios del río Cruces					
6 (río Pichoy)	157 (84)	51 (11)	48 (3)	101 (3)	377 (205)
7 (río Cayumapu)	103 (18)	33 (2)	44 (2)	86 (17)	77 (6)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios					
8 (río Calle Calle)	192 (31)	41 (1)	38 (0)	224 (0)	87 (27)

Continuación **Tabla 4.1.1.39**

estaciones	Cobre ($\mu\text{g/g}$)	
	2016	
	abril	julio
Eje central del río Cruces (sector límnic)		
1 (sector Ciruelos)	204 (119)	39 (29)
2 (sector Rucaco)	124 (43)	60 (11)
Eje central del río Cruces (sector estuarial)		
3 (sector Fuerte San Luis)	72 (3)	110 (18)
4 (sector Santa Clara)	58 (20)	77 (9)
5 (sector Punucapa)	67 (11)	102 (11)
Ríos tributarios del río Cruces		
6 (río Pichoy)	35 (12)	77 (45)
7 (río Cayumapu)	20 (3)	95 (4)
Fuera del humedal del río Cruces y ríos tributarios		
8 (río Calle Calle)	48 (7)	235 (100)

Tabla 4.1.1.40. Concentración de Zinc particulado en aguas superficiales del eje central del río Cruces y ríos Pichoy, Cayumapu y Calle Calle, entre los años 2014, 2015 y 2016. Los valores son promedios con desviación estándar en paréntesis.

Estaciones	Zinc ($\mu\text{g/g}$)				
	2014			2015	
	abril	mayo	julio	abril	julio
Eje central del río Cruces (sector límnic)					
1 (sector Ciruelos)	211 (41)	234 (67)	196 (16)	1.563 (309)	161 (11)
2 (sector Rucaco)	284 (0,4)	142 (10)	213 (11)	1.390 (239)	209 (47)
Eje central del río Cruces (sector estuarial)					
3 (sector Fuerte San Luis)	646 (42)	87 (17)	213 (17)	1.243 (0,4)	238 (55)
4 (sector Santa Clara)	189 (67)	103 (24)	133 (14)	1.148 (287)	361 (16)
5 (sector Punucapa)	107 (23)	172 (164)	118 (0)	1.206 (75)	384 (133)
Ríos tributarios del río Cruces					
6 (río Pichoy)	304 (67)	148 (31)	119 (35)	1.084 (507)	272 (36)
7 (río Cayumapu)	65 (5)	150 (55)	136 (11)	1.125 (450)	244 (26)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios					
8 (río Calle Calle)	704 (31)	82 (21)	127 (22)	2.028 (304)	99 (4)

Continuación **Tabla 4.1.1.40**

estaciones	Zinc ($\mu\text{g/g}$)	
	2016	
	abril	julio
Eje central del río Cruces (sector límnic)		
1 (sector Ciruelos)	604 (97)	171 (6)
2 (sector Rucaco)	429 (296)	193 (10)
Eje central del río Cruces (sector estuarial)		
3 (sector Fuerte San Luis)	240 (56)	279 (46)
4 (sector Santa Clara)	518 (226)	129 (37)
5 (sector Punucapa)	216 (203)	213 (27)
Ríos tributarios del río Cruces		
6 (río Pichoy)	325 (209)	216 (50)
7 (río Cayumapu)	366 (189)	179 (8)
Fuera del humedal del río Cruces y ríos tributarios		
8 (río Calle Calle)	441 (345)	325 (314)

Tabla 4.1.1.41. Concentración de Plomo particulado en aguas superficiales del eje central del río Cruces y ríos Pichoy, Cayumapu y Calle Calle, entre los años 2014, 2015 y 2016. Los valores son promedios con desviación estándar en paréntesis.

Estaciones	Plomo ($\mu\text{g/g}$)				
	abril	2014 mayo	julio	2015 abril	julio
Eje central del río Cruces (sector límnico)					
1 (sector Ciruelos)	18 (2,4)	12 (0,2)	18 (0,3)	15 (1,4)	12 (0,6)
2 (sector Rucaco)	20 (3,2)	12 (0,9)	21 (0,3)	15 (1,4)	13 (1,6)
Eje central del río Cruces (sector estuarial)					
3 (sector Fuerte San Luis)	24 (1,7)	10 (0,3)	14 (1,4)	60 (56)	13 (0,9)
4 (sector Santa Clara)	10 (1,6)	11 (0,5)	18 (1,1)	12 (1,7)	19 (0,8)
5 (sector Punucapa)	11 (1,0)	18 (10)	16 (0,0)	17 (6,2)	20 (4,7)
Ríos tributarios del río Cruces					
6 (río Pichoy)	17 (6,1)	47 (37)	20 (0,1)	18 (0,2)	17 (0,9)
7 (río Cayumapu)	11 (3,6)	15 (2,4)	17 (0,7)	12 (5,5)	13 (0,5)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios					
8 (río Calle Calle)	28 (20,0)	9 (0,5)	14 (0,7)	21 (3,8)	16 (4,4)

Continuación **Tabla 4.1.1.41**

estaciones	Plomo ($\mu\text{g/g}$)	
	2016	
	abril	julio
Eje central del río Cruces (sector límnic)		
1 (sector Ciruelos)	91 (64)	6 (3)
2 (sector Rucaco)	43 (19)	7 (2)
Eje central del río Cruces (sector estuarial)		
3 (sector Fuerte San Luis)	20 (10)	78 (46)
4 (sector Santa Clara)	19 (9)	18 (3)
5 (sector Punucapa)	18 (3)	41 (9)
Ríos tributarios del río Cruces		
6 (río Pichoy)	27 (25)	14 (1)
7 (río Cayumapu)	7 (2)	19 (2)
Fuera del humedal del río Cruces y ríos tributarios		
8 (río Calle Calle)	10 (9)	34 (33)

Tabla 4.1.1.42. Concentración de Cadmio particulado en aguas superficiales del eje central del río Cruces y ríos Pichoy, Cayumapu y Calle Calle, entre los años 2014, 2015 y 2016. Los valores son promedios con desviación estándar en paréntesis, * = No detectado, *i.e.*, bajo el límite de detección del método utilizado.

Estaciones	Cadmio ($\mu\text{g/g}$)				
		2014		2015	
	abril	mayo	julio	abril	julio
Eje central del río Cruces (sector límnic)					
1 (sector Ciruelos)	*	0,24 (0,14)	0,21 (0,01)	0,44 (0,02)	0,38 (0,02)
2 (sector Rucaco)	*	0,15 (0,05)	0,28 (0,03)	0,47 (0,01)	0,39 (0,12)
Eje central del río Cruces (sector estuarial)					
3 (sector Fuerte San Luis)	*	0,13 (0,02)	*	0,71 (0,07)	0,48 (0,12)
4 (sector Santa Clara)	*	0,17 (0,12)	0,17 (0,01)	0,45 (0,06)	0,92 (0,00)
5 (sector Punucapa)	*	0,09	0,12 (0,01)	0,7 (0,02)	1,17 (0,50)
Ríos tributarios del río Cruces					
6 (río Pichoy)	*	0,13	0,18 (0,05)	2,56 (3,2)	0,65 (0,02)
7 (río Cayumapu)	*	0,02	0,14 (0,01)	0,21 (0,10)	0,56 (0,06)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios					
8 (río Calle Calle)	*	0,05 (0,00)	0,10 (0,01)	0,82 (0,13)	0,19 (0,01)

Continuación Tabla 4.1.1.42

estaciones	Cadmio ($\mu\text{g/g}$)	
	2016	
	abril	julio
Eje central del río Cruces (sector límnic)		
1 (sector Ciruelos)	0,91 (0,08)	0,13 (0,12)
2 (sector Rucaco)	0,48 (0,35)	0,30 (0,33)
Eje central del río Cruces (sector estuarial)		
3 (sector Fuerte San Luis)	0,40 (0,09)	0,27 (0,09)
4 (sector Santa Clara)	0,33 (0,07)	0,20 (0,00)
5 (sector Punucapa)	0,28 (0,02)	0,19 (0,03)
Ríos tributarios del río Cruces		
6 (río Pichoy)	0,58 (0,27)	0,20 (0,03)
7 (río Cayumapu)	0,07 (0,05)	0,21 (0,00)
Fuera del humedal del río Cruces y ríos tributarios		
8 (río Calle Calle)	*	0,52 (0,22)

Tabla 4.1.1.43. Concentración de Arsénico particulado en aguas superficiales del eje central del río Cruces y ríos Pichoy, Cayumapu y Calle Calle, entre los años 2014, 2015 y 2016. Los valores son promedios con desviación estándar en paréntesis. * = No detectado, *i.e.*, bajo el límite de detección del método utilizado.

Estaciones	Arsénico ($\mu\text{g/g}$)				
	2014			2015	
	abril	mayo	julio	abril	julio
Eje central del río Cruces (sector límnico)					
1 (sector Ciruelos)	*	18 (0,2)	18 (0,7)	*	*
2 (sector Rucaco)	*	16 (0,8)	18 (0,2)	*	*
Eje central del río Cruces (sector estuarial)					
3 (sector Fuerte San Luis)	*	*	*	*	*
4 (sector Santa Clara)	*	16 (0,0)	20 (0,5)	*	*
5 (sector Punucapa)	*	30 (0,2)	23 (2,5)	*	*
Ríos tributarios del río Cruces					
6 (río Pichoy)	*	*	15 (1,2)	*	*
7 (río Cayumapu)	*	*	*	*	*
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios					
8 (río Calle Calle)	*	18 (0,0)	20 (0,7)	*	*

Continuación **Tabla 4.1.1.43**

estaciones	Arsénico ($\mu\text{g/g}$)	
	2016	
	abril	julio
Eje central del río Cruces (sector límnico)		
1 (sector Ciruelos)	*	*
2 (sector Rucaco)	*	*
Eje central del río Cruces (sector estuarial)		
3 (sector Fuerte San Luis)	*	*
4 (sector Santa Clara)	*	*
5 (sector Punucapa)	*	*
Ríos tributarios del río Cruces		
6 (río Pichoy)	*	*
7 (río Cayumapu)	*	*
Fuera del humedal del río Cruces y ríos tributarios		
8 (río Calle Calle)	*	*

Tabla 4.1.1.44. Concentración de Mercurio particulado en aguas superficiales del eje central del río Cruces y ríos Pichoy, Cayumapu y Calle Calle, entre los años 2014, 2015 y 2016. Los valores son promedios con desviación estándar en paréntesis. * = No detectado, *i.e.*, bajo el límite de detección del método utilizado.

Estaciones	Mercurio ($\mu\text{g/g}$)				
	2014			2015	
	abril	mayo	julio	abril	julio
Eje central del río Cruces (sector límnico)					
1 (sector Ciruelos)	*	0,06 (0,0)	0,10 (0,0)	*	1,18 (0,2)
2 (sector Rucaco)	*	0,07 (0,0)	0,08 (0,0)	*	0,17 (0,2)
Eje central del río Cruces (sector estuarial)					
3 (sector Fuerte San Luis)	*	*	*	*	0,32 (0,0)
4 (sector Santa Clara)	*	0,05 (0,0)	0,05 (0,0)	*	1,05 (0,2)
5 (sector Punucapa)	*	*	0,08 (0,0)	*	0,61 (0,1)
Ríos tributarios del río Cruces					
6 (río Pichoy)	*	*	0,13 (0,0)	*	0,65 (0,1)
7 (río Cayumapu)	*	*	0,12 (0,0)	*	0,56 (0,0)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios					
8 (río Calle Calle)	*	*	0,02 (0,0)	*	0,24 (0,0)

Continuación **Tabla 4.1.1.44**

Estaciones	Mercurio ($\mu\text{g/g}$)	
	2016	
	abril	julio
Eje central del río Cruces (sector límnico)		
1 (sector Ciruelos)	0,67 (*)	0,19 (0,02)
2 (sector Rucaco)	0,29 (0,10)	0,67 (0,70)
Eje central del río Cruces (sector estuarial)		
3 (sector Fuerte San Luis)	0,75 (0,07)	0,24 (0,12)
4 (sector Santa Clara)	*	0,18 (0,00)
5 (sector Punucapa)	0,15 (0,01)	0,10 (0,11)
Ríos tributarios del río Cruces		
6 (río Pichoy)	*	0,20 (0,04)
7 (río Cayumapu)	*	0,19 (0,00)
Fuera del humedal del río Cruces y ríos tributarios		
8 (río Calle Calle)	*	0,31 (0,09)

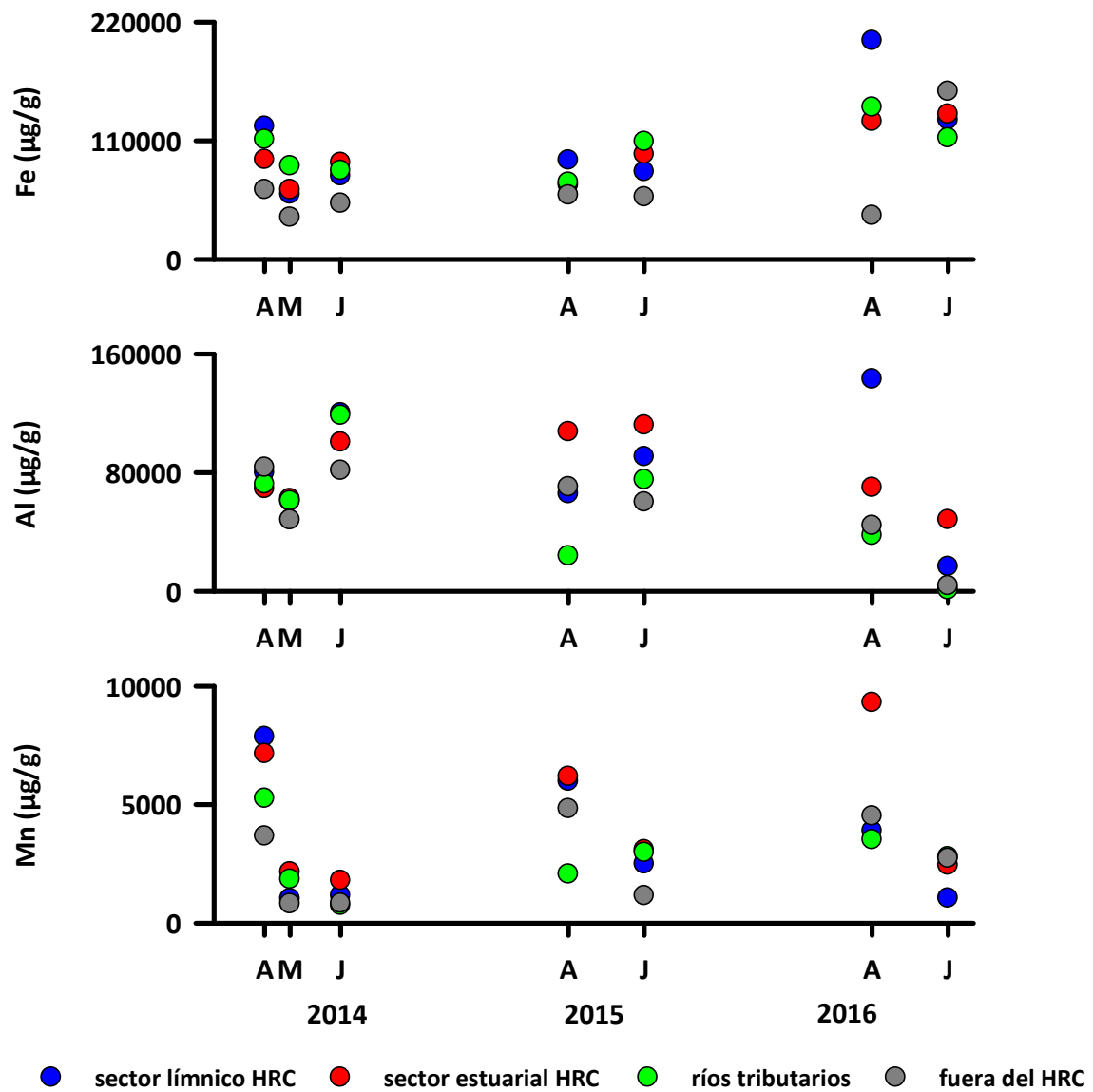


Figura 4.1.1.18. Comparación interanual de la concentración de Hierro, Aluminio y Manganeso particulado en aguas superficiales del sector límnico del río Cruces, sector estuarial del río Cruces, ríos tributarios del río Cruces y fuera del humedal del río Cruces.

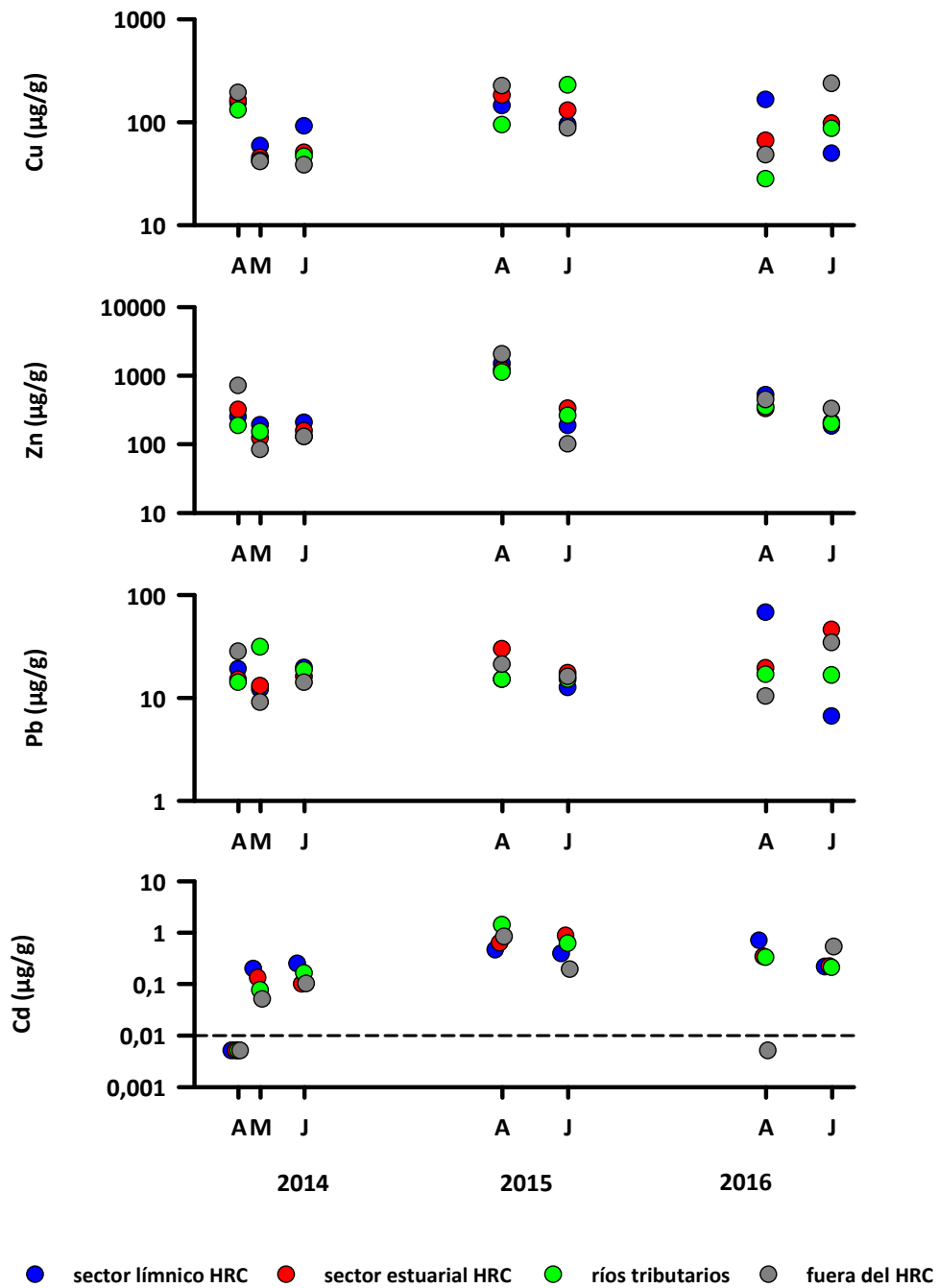


Figura 4.1.1.19. Comparación interanual de la concentración de Cobre, Zinc, Plomo y Cadmio particulado en aguas superficiales del sector límnico del río Cruces, sector estuarial del río Cruces, ríos tributarios del río Cruces y fuera del humedal del río Cruces. La línea segmentada indica el límite de detección del método utilizado.

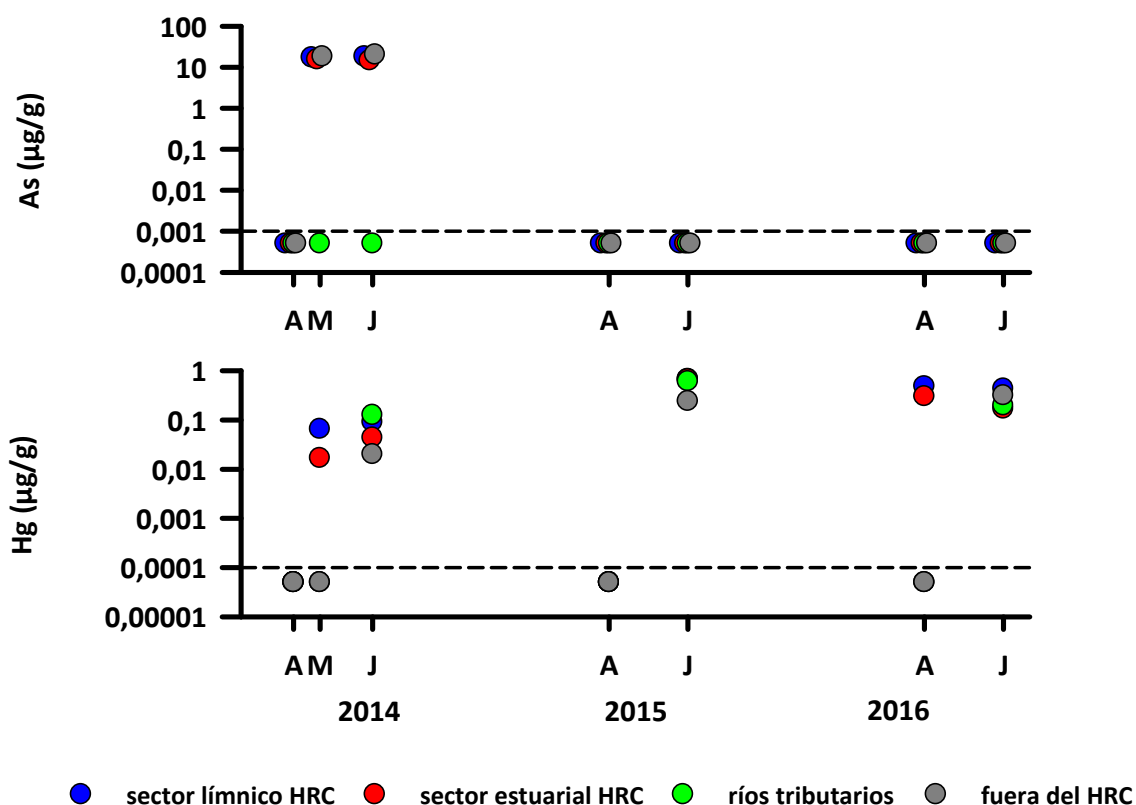


Figura 4.1.1.20. Comparación interanual de la concentración de Arsénico y Mercurio particulado en aguas superficiales del sector límnic del río Cruces, sector estuarial del río Cruces, ríos tributarios del río Cruces y fuera del humedal del río Cruces. La línea segmentada indica el límite de detección del método utilizado.

Análisis estadísticos

La variabilidad en las concentraciones de metales pesados particulados, presentó complejos patrones de variación espacial y temporal (Tabla 4.1.1.45).

El Hierro (Fe), durante el año 2016 presentó concentraciones significativamente más altas que en los años anteriores. Mientras que las concentraciones que se han encontrado dentro del sector ubicado fuera del HRC son significativamente más bajas que las detectadas en los sectores dentro del HRC. Las concentraciones de Aluminio detectadas durante el año 2016 fueron significativamente más bajas que las

encontradas durante los años anteriores a este. Y sectores ríos tributarios y fuera del HRC fueron significativamente más bajos a los dos ubicados en el eje central del río Cruces. No se detectaron diferencias interanuales en las concentraciones de Manganeseo (Mn), y solo se detectaron diferencias significativas intersectores, entre los sectores Estuarial y ríos Tributarios, la primera con las concentraciones más altas. Las concentraciones de Cobre (Cu) y Cadmio (Cd) que se detectaron durante el año 2015 fueron significativamente más altas que las encontradas durante el 2015 y 2016. Las concentraciones detectadas de Zinc (Zn) detectadas durante el año 2015 han sido las más altas significativamente detectadas, mientras que las detectadas durante el año 2015 a su vez fueron significativamente más altas que las detectadas durante el año 2014. El Arsénico (As), que se detectó durante el Programa de Diagnóstico Ambiental del HRC 2014-2015 presentó valores significativamente más altos que los registrados durante ambos años del Programa de Monitoreo Ambiental del HRC 2014-2015. El Mercurio (Hg), presentó valores significativamente más bajos durante el año 2014 que en los años 2015 y 2016. No se detectó ninguna diferencia interanual o intersector para el metal particulado Plomo (Pb). Por último, ningún metal particulado presentó una interacción significativa en la variabilidad entre años y sectores (Tabla 4.1.1.45).

Tabla 4.1.1.45. Resumen de ANDEVA Factorial y Prueba *a posteriori* de Tukey para evaluar diferencias en las concentraciones de metales particulados registradas en aguas superficiales entre los factores principales. Los factores son Año de muestreo (2014-2015-2016) y Sector (L = sector límnic del río Cruces; EE = eje estuarial y central del río Cruces; T = ríos tributarios del humedal del río Cruces y F = fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios). Los valores de P en negrilla son significativos (<0,05) para cada prueba. Las comparaciones a posteriori deben interpretarse con cautela cuando la interacción AxS es significativa.

Parámetro	Fuente	GL	SC	CM	F	Valor P	Prueba de Tukey
Fe (*) (**)	Año (A)	2	0,679	0,339	12,342	<0,001	2014 = 2015 < 2016
	Sector (S)	3	0,478	0,159	5,801	0,001	L = T = EE > F
	A × S	6	0,0460	0,00767	0,279	0,946	
	Error	100	2,749	0,0275			
	Total	111	4,125	0,0372			
Al (***)	Año (A)	2	21167835936,1	10583917968,0	6,538	0,002	2014 = 2015 > 2016
	Sector (S)	3	23070633285,0	7690211095,0	4,750	0,004	L = EE > F = T
	A × S	6	20737797507,9	3456299584,6	2,135	0,056	
	Error	100	161887375290,4	1618873752,9			
	Total	111	222402019792,8	2003621799,9			
Mn (**)	Año (A)	2	16607992,9	8303996,4	0,947	0,391	
	Sector (S)	3	81220307,9	27073436,0	3,088	0,031	EE > T
	A × S	6	37218183,0	6203030,5	0,708	0,644	
	Error	100	876679583,2	8766795,8			
	Total	111	1009812293,5	9097408,1			
Cu (**)	Año (A)	2	63263,493	31631,747	6,069	0,003	2015 > 2014 = 2016
	Sector (S)	3	9572,100	3190,700	0,612	0,609	
	A × S	6	27072,274	4512,046	0,866	0,523	
	Error	100	521213,554	5212,136			
	Total	111	638315,149	5750,587			
Zn (*) (**)	Año (A)	2	3,855	1,928	18,795	<0,001	2015 > 2016 > 2014
	Sector (S)	3	0,103	0,0343	0,334	0,801	
	A × S	6	0,238	0,0397	0,387	0,886	
	Error	100	10,255	0,103			
	Total	111	15,713	0,142			
Pb (***)	Año (A)	2	1781,880	890,940	2,460	0,091	
	Sector (S)	3	663,801	221,267	0,611	0,609	
	A × S	6	2559,383	426,564	1,178	0,324	
	Error	100	36215,012	362,150			
	Total	111	41783,258	376,426			

Cd (**)	Año (A)	2	5,490	2,745	13,268	<0,001	2015 > 2014 = 2016
	Sector (S)	3	0,296	0,0988	0,478	0,699	
	A × S	6	1,538	0,256	1,238	0,293	
	Error	100	20,691	0,207			
	Total	111	29,455	0,265			
As (***)	Año (A)	2	1587,938	793,969	18,848	<0,001	2014 > 2015 = 2016
	Sector (S)	3	140,007	46,669	1,108	0,350	
	A × S	6	320,016	53,336	1,266	0,280	
	Error	100	4212,556	42,126			
	Total	111	6573,011	59,216			
Hg (***)	Año (A)	2	1,115	0,557	8,296	<0,001	2014 < 2015 = 2016
	Sector (S)	3	0,282	0,0942	1,402	0,247	
	A × S	6	0,254	0,0423	0,630	0,706	
	Error	100	6,717	0,0672			
	Total	111	8,735	0,0787			

GL = grados de Libertad; SC = Suma de Cuadrados; CM = Cuadrados medios; F = razón F; P = Valor de Probabilidad de error al rechazar Ho; (*) = Datos transformados a \log_{10} . (**) = Cumple al menos uno de los supuestos de ANDEVA; (***) No cumple supuestos de ANDEVA.

Ácidos grasos y Ácidos resínicos

La Tabla 4.1.1.46 muestra las concentraciones de Ácidos grasos y Ácidos resínicos en el agua del área de estudio.

Los resultados obtenidos durante los años 2015 y 2016 se han encontrado por lo general dentro de los rangos obtenidos durante el Programa de Diagnóstico Ambiental del HRC 2014-2015. Se observa una tendencia a disminuir en las épocas de mayor caudal (julio) durante los tres años que se ha monitoreado (Fig. 4.1.1.21). Se ha detectado una concentración homogénea a lo largo de los sectores estudiados, encontrándose su más alto valor detectado en la estación 2 (río Cruces, sector Rucaco), mientras que el más bajo se encontró en los sectores 4, 7 y 8 (sectores Santa Clara, río Cayumapu y río Calle Calle) (Tabla 4.1.1.46).

Al igual que lo observado durante el Programa de Diagnóstico Ambiental del HRC, no se detectó con la metodología de análisis utilizada, la presencia de Ácidos resínicos en ninguna de las estaciones y campañas de muestreo (2015 y 2016).

Tabla 4.1.1.46. Concentración de Ácidos grasos y Ácidos resínicos en el agua del área de estudio. Los valores son promedios con desviación estándar en paréntesis. * = No detectado, *i.e.*, bajo el límite de detección del método utilizado.

estaciones	Ácidos grasos ($\mu\text{g/L}$)				
	2014			2015	
	abril	mayo	julio	abril	julio
Eje central del río Cruces (sector límnic)					
1 (sector Ciruelos)	7,4 (0,2)	0,8 (0,1)	0,3 (0,0)	1,2 (0,0)	0,3 (0,1)
2 (sector Rucaco)	29,8 (1,8)	1,8 (0,5)	0,3 (0,1)	1,0 (0,0)	0,2 (0,0)
Eje central del río Cruces (sector estuarial)					
3 (sector Fuerte San Luis)	17,0 (1,5)	1,4 (0,5)	0,3 (0,1)	0,8 (0,1)	0,2 (0,1)
4 (sector Santa Clara)	15,7 (2,6)	0,9 (0,0)	0,3 (0,0)	0,6 (0,1)	0,1 (0,0)
5 (sector Punucapa)	23,9 (2,9)	0,8 (0,1)	0,6 (0,2)	0,9 (0,1)	0,2 (0,0)
Ríos tributarios del río Cruces					
6 (río Pichoy)	4,0 (0,9)	1,2 (0,2)	0,2 (0,0)	0,7 (0,1)	0,2 (0,0)
7 (río Cayumapu)	15,3 (2,2)	0,7 (0,0)	0,2 (0,0)	0,5 (0,0)	0,1 (0,0)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios					
8 (río calle Calle)	9,3 (3,0)	0,8 (0,1)	0,5 (0,1)	0,7 (0,2)	0,1 (0,0)

Continuación **Tabla 4.1.1.46**

estaciones	Ácidos grasos ($\mu\text{g/L}$)	
	2016	
	abril	julio
Eje central del río Cruces (sector límnic)		
1 (sector Ciruelos)	0,76 (0,31)	0,43 (0,07)
2 (sector Rucaco)	0,62 (0,09)	0,44 (0,04)
Eje central del río Cruces (sector estuarial)		
3 (sector Fuerte San Luis)	0,62 (0,05)	0,42 (0,02)
4 (sector Santa Clara)	0,65 (0,14)	0,42 (0,03)
5 (sector Punucapa)	1,21 (0,12)	0,36 (0,03)
Ríos tributarios del río Cruces		
6 (río Pichoy)	0,58 (0,07)	0,37 (0,03)
7 (río Cayumapu)	0,59 (0,00)	0,36 (0,02)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios		
8 (río calle Calle)	0,57 (0,07)	0,36 (0,03)

Continuación **Tabla 4.1.1.46**

estaciones	Ácidos resínicos (µg/L)				
	2014			2015	
	abril	mayo	julio	abril	julio
Eje central del río Cruces (sector límnic)					
1 (sector Ciruelos)	*	*	*	*	*
2 (sector Rucaco)	*	*	*	*	*
Eje central del río Cruces (sector estuarial)					
3 (sector Fuerte San Luis)	*	*	*	*	*
4 (sector Santa Clara)	*	*	*	*	*
5 (sector Punucapa)	*	*	*	*	*
Ríos tributarios del río Cruces					
6 (río Pichoy)	*	*	*	*	*
7 (río Cayumapu)	*	*	*	*	*
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios					
8 (río calle Calle)	*	*	*	*	*

Continuación **Tabla 4.1.1.46**

estaciones	Ácidos resínicos (µg/L)	
	2016	
	abril	julio
Eje central del río Cruces (sector límnico)		
1 (sector Ciruelos)	*	*
2 (sector Rucaco)	*	*
Eje central del río Cruces (sector estuarial)		
3 (sector Fuerte San Luis)	*	*
4 (sector Santa Clara)	*	*
5 (sector Punucapa)	*	*
Ríos tributarios del río Cruces		
6 (río Pichoy)	*	*
7 (río Cayumapu)	*	*
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios		
8 (río calle Calle)	*	*

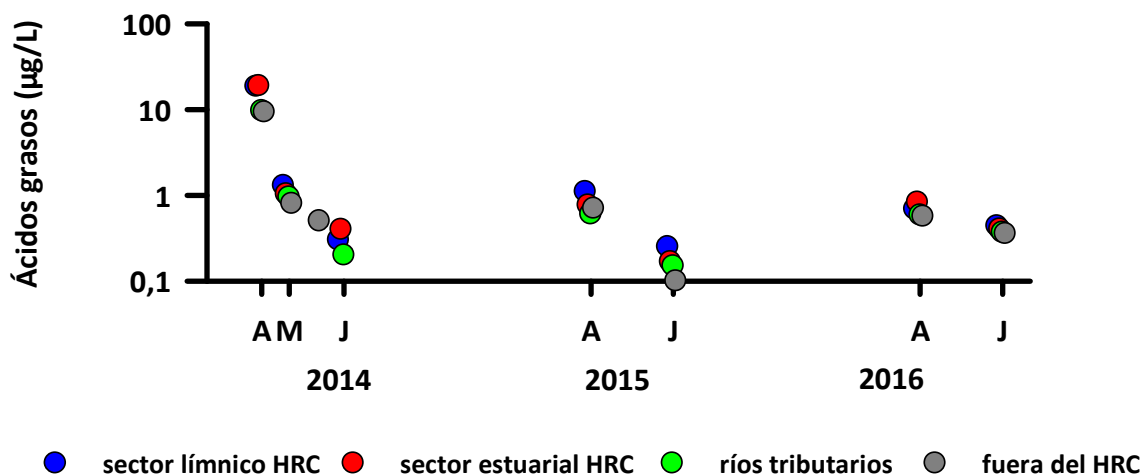


Figura 4.1.1.21. Comparación interanual de la concentración de Ácidos grasos en aguas superficiales del sector límnic del río Cruces, sector estuarial del río Cruces, ríos tributarios del río Cruces y fuera del humedal del río Cruces.

Compuestos Órgano-Halogenados Adsorbibles (AOX)

La Tabla 4.1.1.47 muestra los resultados de los análisis de compuestos organo halogenados adsorbibles (AOX) en el agua del área de estudio. Las concentraciones más altas que se han registrado, fueron durante abril del año 2015, alcanzando un máximo de 159,8 µg/L en la estación 5 (sector Punucapa), las más bajas se detectaron en julio del 2016, 2,9 µg/L en la estación 8 (sector río Calle Calle). Las concentraciones más altas de AOX se han detectado durante los muestreos de abril o período de menor caudal; esto se ha notado con mayor claridad a partir del año 2015. Durante abril de los años 2015 y 2016 se han detectado valores que superan el rango informado en el Programa de Diagnóstico Ambiental del HRC 2014-2015 (Tabla 4.1.1.47 y Fig. 4.1.1.22)

Tabla 4.1.1.47. Concentración de los compuestos órgano-halogenados adsorbibles (AOX) en el agua del área de estudio. Los valores son promedios con desviación estándar en paréntesis.

Estaciones	AOX ($\mu\text{g/L}$)				
	Abril	2014 mayo	julio	2015 abril	julio
Eje central del río Cruces (sector límnic)					
1 (sector Ciruelos)	6,5 (0,2)	9,7 (3,0)	9,5 (2,2)	7,4 (0,6)	5,9 (0,4)
2 (sector Rucaco)	50,9 (0,9)	14,8 (2,2)	5,4 (0,7)	72,4 (1,7)	10,6 (0,8)
Eje central del río Cruces (sector estuarial)					
3 (sector Fuerte San Luis)	29,7 (1,9)	12,4 (1,8)	6,9 (1,4)	50,5 (1,2)	10,1 (0,6)
4 (sector Santa Clara)	25,2 (1,2)	13,5 (2,9)	8,7 (1,0)	56,8 (7,4)	10,5 (2,7)
5 (sector Punucapa)	42,1 (2,9)	7,6 (2,3)	11,5 (0,1)	159,8 (4,0)	8,4 (0,3)
Ríos tributarios del río Cruces					
6 (río Pichoy)	5,6 (0,7)	4,7 (0,2)	17,2 (1,4)	23,1 (4,0)	10,2 (0,4)
7 (río Cayumapu)	25,5 (1,5)	13,3 (4,0)	14,7 (3,3)	118,5 (24,5)	12,2 (2,0)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios					
8 (río calle Calle)	5,2 (1,0)	42,6 (1,4)	6,8 (0,4)	6,4 (1,1)	5,0 (0,7)

Continuación **Tabla 4.1.1.47**

estaciones	AOX ($\mu\text{g/L}$)	
	2016	
	abril	julio
Eje central del río Cruces (sector límnic)		
1 (sector Ciruelos)	5,8 (0,48)	6,3 (0,37)
2 (sector Rucaco)	72,5 (2,47)	60,4 (0,42)
Eje central del río Cruces (sector estuarial)		
3 (sector Fuerte San Luis)	47,1 (0,14)	42,8 (0,77)
4 (sector Santa Clara)	62,1 (5,25)	35,9 (4,02)
5 (sector Punucapa)	39,4 (0,02)	32,3 (1,23)
Ríos tributarios del río Cruces		
6 (río Pichoy)	6,7 (0,27)	12,6 (0,91)
7 (río Cayumapu)	60,0 (3,83)	22,2 (2,67)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios		
8 (río calle Calle)	4,2 (0,25)	2,9 (0,16)

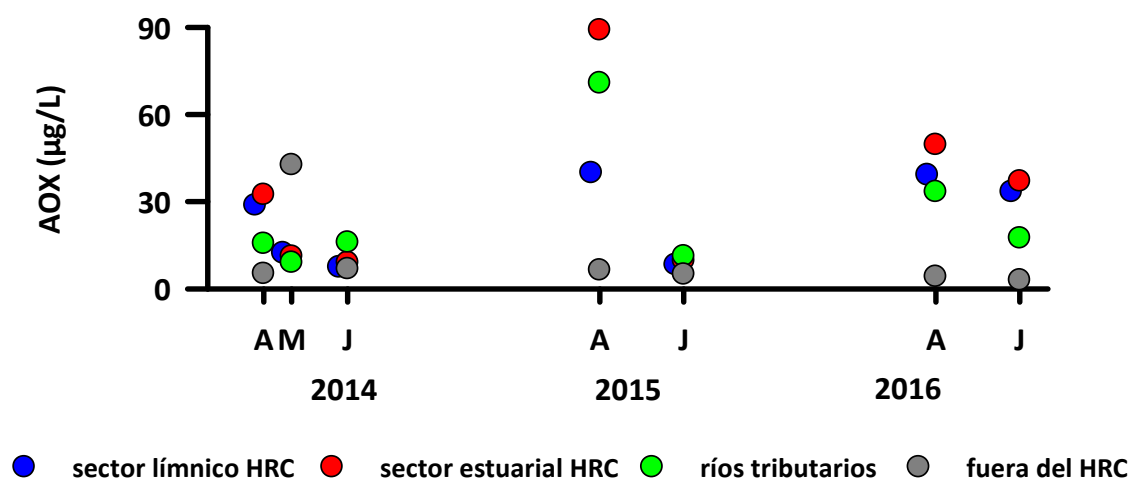


Figura 4.1.1.22. Comparación interanual de la concentración de los compuestos órgano-halogenados adsorbibles (AOX) en aguas superficiales del sector limnico del río Cruces, sector estuarial del río Cruces, ríos tributarios del río Cruces y fuera del humedal del río Cruces.

Análisis estadísticos

Los resultados de los análisis estadísticos muestran concentraciones de Ácidos grasos significativamente más altas ($p < 0,05$) durante el año 2014 vs las de los años posteriores (Tabla 4.1.1.48). Las concentraciones de AOX variaron significativamente ($p < 0,05$) entre sectores del área de estudio, el sector estuarial del humedal, presentó concentraciones significativamente más altas que las del sector fuera del HRC (Tabla 4.1.1.48).

Tabla 4.1.1.48. Resumen de ANDEVA Factorial y Prueba *a posteriori* de Tukey para evaluar diferencias en las concentraciones de Ácidos grasos y Compuestos Halogenados Adsorbibles registradas en aguas superficiales entre los factores principales. Los factores son Año de muestreo (2014-2015-2016) y Sector (L = sector límnic del río Cruces; EE = eje estuarial y central del río Cruces; T = ríos tributarios del humedal del río Cruces y F = fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios). Los valores de P en negrilla son significativos (<0,05) para cada prueba. Las comparaciones a posteriori deben interpretarse con cautela cuando la interacción AxS es significativa.

Parámetro	Fuente	GL	SC	CM	F	Valor P	Prueba de Tukey
Ác. grasos (***)	Año (A)	2	509,456	254,728	7,888	<0,001	2014 > 2015 = 2016
	Sector (S)	3	33,848	11,283	0,349	0,790	
	A × S	6	59,310	9,885	0,306	0,932	
	Error	100	3229,153	32,292			
	Total	111	4041,592	36,411			
AOX (***)	Año (A)	2	3641,985	1820,993	2,364	0,099	
	Sector (S)	3	8089,344	2696,448	3,500	0,018	EE > F
	A × S	6	6358,713	1059,786	1,376	0,232	
	Error	100	77042,074	770,421			
	Total	111	98211,831	884,791			

GL = grados de Libertad; SC = Suma de Cuadrados; CM = Cuadrados medios; F = razón F; P = Valor de Probabilidad de error al rechazar Ho; (*) = Datos transformados a \log_{10} . (**) = Cumple al menos uno de los supuestos de ANDEVA; (***) No cumple supuestos de ANDEVA.

Dioxinas y Furanos

La Tabla 4.1.1.49 muestra los resultados de los análisis tendientes a evaluar las concentraciones de Dioxinas y Furanos en el agua del área de estudio, a la vez que la Tabla 4.1.1.50 muestra los equivalentes tóxicos (EQTs) calculados.

El contenido de estos compuestos se expresa como la suma de los congéneres individuales analizados, *i.e.*, 7 Dioxinas y 10 Furanos. Por otra parte, los equivalentes tóxicos totales son la suma de los 17 congéneres, multiplicados por el factor equivalente respectivo utilizando los factores de la OMS (1998).

No se detectó la presencia de la Dioxina 2,3,7,8 en ninguna de las estaciones muestreadas ni en ninguna de las tres campañas realizadas (2014, 2015 y 2016). El

patrón de distribución de los 17 congéneres, está dominado por las Hepta Cloro Dibenzo Dioxinas y Furanos (HpCDD y HpCDF), seguido por la Octa Cloro Dibenzo Dioxina (OCDD), con concentraciones cercanas al límite de detección analítico (L.D. 0,0001 ng/L).

En general, se aprecia que, durante las campañas de abril de los años 2015 y 2016, Dioxinas, Furanos (tanto en concentraciones como equivalentes tóxicos), se encuentran dentro del rango (valor máximo y mínimo), obtenido en el Programa de Diagnóstico Ambiental del HRC (Tablas 4.1.1.49 y 4.1.1.50 y Fig. 4.1.1.23), es más los límites máximos detectados, han disminuido considerablemente hacia la última campaña, tendiendo a homogenizarse las concentraciones a lo largo de la zona estudiada

Tabla 4.1.1.49. Concentraciones de Dioxinas y Furanos en aguas superficiales del eje central del río Cruces y ríos Pichoy, Cayumapu y Calle Calle, entre los años 2014, 2015 y 2016. Los valores son promedios con desviación estándar en paréntesis. SD= sin datos.

estaciones	Dioxinas (ng/L)			
	2014			2015
	abril	mayo	julio	abril
Eje central del río Cruces (sector límnic)				
1 (sector Ciruelos)	0,0003 (0,0001)	0,0163 (0,0231)	0,0000 (0,0000)	0,0015 (0,0004)
2 (sector Rucaco)	0,0000 (0,0000)	0,0063 (0,0083)	0,0005 (0,0006)	0,0003 (0,0004)
Eje central del río Cruces (sector estuarial)				
3 (sector Fuerte San Luis)	0,0022 (0,0011)	0,0085 (0,012)	0,0001 (0,0001)	0,0003 (0,0001)
4 (sector Santa Clara)	SD	SD	SD	0,0014 (0,0001)
5 (sector Punucapa)	0,0021 (0,0008)	0,0183 (0,0091)	0,0000 (0,0000)	0,0000 (0,0000)
Ríos tributarios del río Cruces				
6 (río Pichoy)	0,0008 (0,0011)	0,0006 (0,0004)	0,0001 (0,0001)	0,0003 (0,0004)
7 (río Cayumapu)	0,001 (0,0013)	0,0009 (0,0012)	0,0000 (0,0000)	0,0015 (0,0007)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios				
8 (río calle Calle)	0,0000 (0,0000)	0,0008 (0,0006)	0,0013 (0,0002)	0,0000 (0,0000)

Continuación **Tabla 4.1.1.49**

estaciones	Dioxinas (ng/L)
	2016
	abril
Eje central del río Cruces (sector límnico)	
1 (sector Ciruelos)	0,0006 (0,0008)
2 (sector Rucaco)	0,0000 (0,0000)
Eje central del río Cruces (sector estuarial)	
3 (sector Fuerte San Luis)	0,0003 (0,0004)
4 (sector Santa Clara)	0,0002 (0,0002)
5 (sector Punucapa)	0,0003 (0,0004)
Ríos tributarios del río Cruces	
6 (río Pichoy)	0,0001 (0,0001)
7 (río Cayumapu)	0,0003 (0,0004)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios	
8 (río calle Calle)	0,0004 (0,0001)

Continuación **Tabla 4.1.1.49**

estaciones	Furanos (ng/L)			
	2014			2015
	abril	mayo	julio	abril
Eje central del río Cruces (sector límnico)				
1 (sector Ciruelos)	0,0004 (0,0000)	0,0074 (0,0104)	0,0004 (0,0002)	0,0008 (0,0006)
2 (sector Rucaco)	0,0004 (0,0005)	0,0113 (0,015)	0,0002 (0,0002)	0,0000 (0,0000)
Eje central del río Cruces (sector estuarial)				
3 (sector Fuerte San Luis)	0,0003 (0,0004)	0,0123 (0,0173)	0,0003 (0,0004)	0,0005 (0,0001)
4 (sector Santa Clara)	SD	SD	SD	0,0016 (0,0005)
5 (sector Punucapa)	0,0000 (0,0000)	0,0291 (0,0148)	0,0005 (0,0007)	0,0011 (0,0016)
Ríos tributarios del río Cruces				
6 (río Pichoy)	0,0003 (0,0004)	0,0002 (0,0003)	0,0003 (0,0000)	0,0003 (0,0001)
7 (río Cayumapu)	0,0000 (0,0000)	0,0006 (0,0000)	0,0003 (0,0000)	0,0011 (0,0001)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios				
8 (río calle Calle)	0,0000 (0,0000)	0,0002 (0,0003)	0,0005 (0,0007)	0,0000 (0,0000)

Continuación **Tabla 4.1.1.49**

estaciones	Furanos (ng/L)
	2016
	abril
Eje central del río Cruces (sector límnico)	
1 (sector Ciruelos)	0,0003 (0,0004)
2 (sector Rucaco)	0,0000 (0,0000)
Eje central del río Cruces (sector estuarial)	
3 (sector Fuerte San Luis)	0,0002 (0,0001)
4 (sector Santa Clara)	0,0006 (0,0004)
5 (sector Punucapa)	0,0001 (0,0001)
Ríos tributarios del río Cruces	
6 (río Pichoy)	0,0003 (0,0001)
7 (río Cayumapu)	0,0001 (0,0001)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios	
8 (río calle Calle)	0,00002 (0,0000)

Tabla 4.1.1.50. Concentración de Equivalentes Tóxicos (EQTs) en aguas superficiales del eje central del río Cruces y ríos Pichoy, Cayumapu y Calle Calle, entre los años 2014, 2015 y 2016. Los valores son promedios con desviación estándar en paréntesis. SD= sin dato.

Estaciones	EQTs (ng/L)			
	abril	2014 mayo	julio	2015 abril
Eje central del río Cruces (sector límnic)				
1 (sector Ciruelos)	0,00004 (0,0000)	0,00043 (0,0006)	0,00008 (0,00008)	0,00005 (0,00002)
2 (sector Rucaco)	0,0000 (0,0000)	0,00039 (0,00014)	0,00001 (0,00001)	0,00000 (0,00000)
Eje central del río Cruces (sector estuarial)				
3 (sector Fuerte San Luis)	0,00003 (0,00003)	0,00015 (0,00021)	0,00003 (0,00003)	0,00009 (0,00007)
4 (sector Santa Clara)	SD	SD	SD	0,00003 (0,00003)
5 (sector Punucapa)	0,0000 (0,0000)	0,00043 (0,00038)	0,00002 (0,00002)	0,00000 (0,00000)
Ríos tributarios del río Cruces				
6 (río Pichoy)	0,00003 (0,00004)	0,00002 (0,00003)	0,00003 (0,00001)	0,00000 (0,00000)
7 (río Cayumapu)	0,00000 (0,00000)	0,00008 (0,00003)	0,00003 (0,00001)	0,00005 (0,00002)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios				
8 (río calle Calle)	0,00000 (0,00000)	0,0000 (0,0000)	0,00006 (0,00009)	0,00000 (0,00000)

Continuación Tabla 4.1.1.50

estaciones	EQTs (ng/L)
	2016
	abril
Eje central del río Cruces (sector límnico)	
1 (sector Ciruelos)	0,00002 (0,00003)
2 (sector Rucaco)	0,00000 (0,00000)
Eje central del río Cruces (sector estuarial)	
3 (sector Fuerte San Luis)	0,00004 (0,00004)
4 (sector Santa Clara)	0,00014 (0,00015)
5 (sector Punucapa)	0,00001 (0,00001)
Ríos tributarios del río Cruces	
6 (río Pichoy)	0,00003 (0,00001)
7 (río Cayumapu)	0,00002 (0,00003)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios	
8 (río calle Calle)	0,00002 (0,0000)

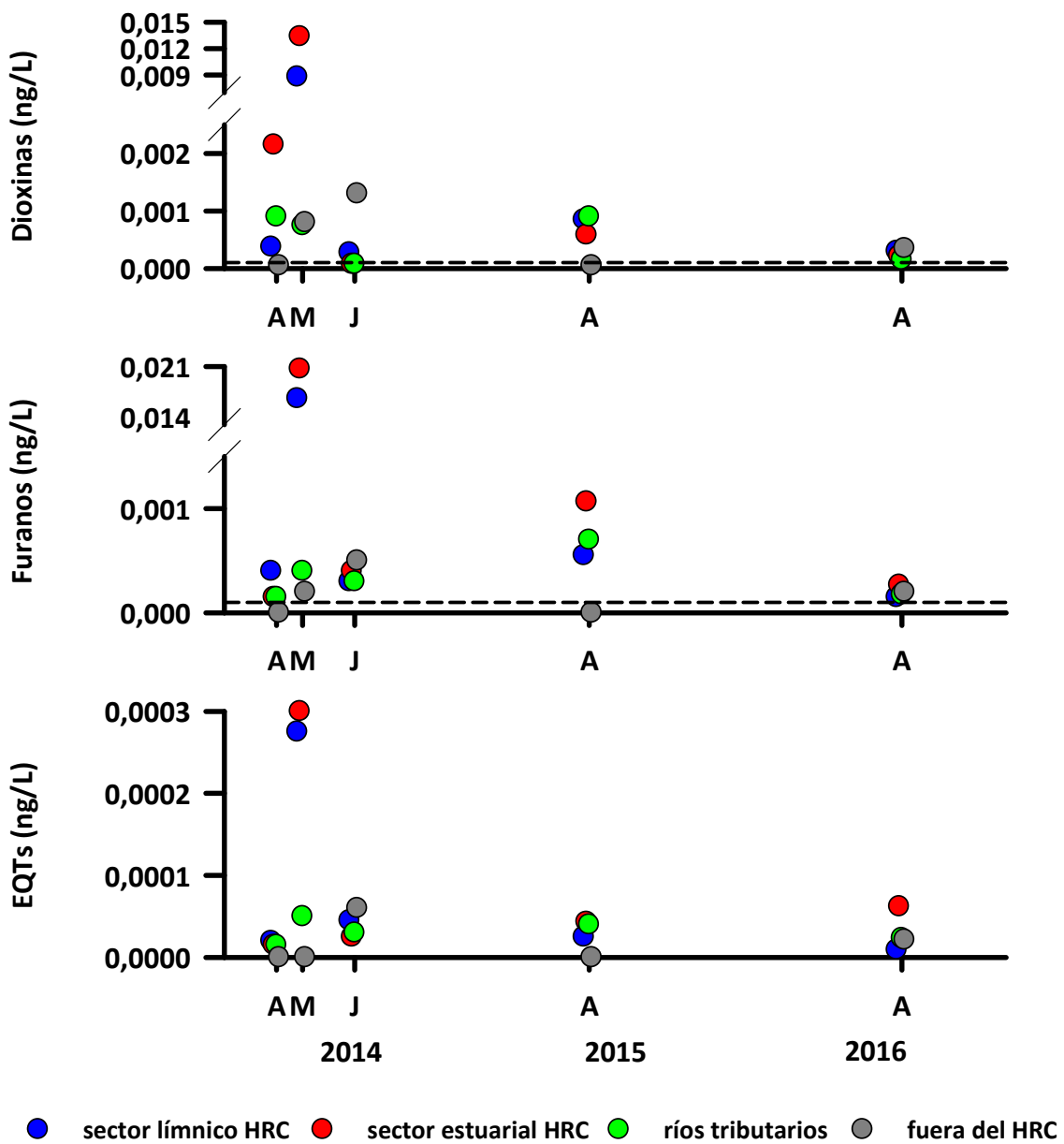


Figura 4.1.1.23. Comparación interanual de la concentración de Dioxinas, Furanos y Equivalentes Tóxicos en aguas superficiales del sector límico del río Cruces, sector estuarial del río Cruces, ríos tributarios del río Cruces y fuera del humedal del río Cruces. La línea segmentada indica el límite de detección del método utilizado.

Análisis estadísticos

No se detectaron diferencias significativas entre años y sectores del HRC para los parámetros Dioxinas y EQTs, sin embargo, si se detectó que las concentraciones de Furanos detectadas en el año 2016 fueron significativamente más altas que las detectadas en los años anteriores (Tabla 4.1.1.51).

Tabla 4.1.1.51. Resumen de ANDEVA Factorial y Prueba *a posteriori* de Tukey para evaluar diferencias en las concentraciones de Dioxinas y Furanos registradas en aguas superficiales entre los factores principales. Los factores son Año de muestreo (2014-2015-2016) y Sector (L = sector límnic del río Cruces; EE = eje estuarial y central del río Cruces; T = ríos tributarios del humedal del río Cruces y F = fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios). Los valores de P en negrilla son significativos (<0,05) para cada prueba. Las comparaciones a posteriori deben interpretarse con cautela cuando la interacción AxS es significativa.

Parámetro	Fuente	GL	SC	CM	F	Valor P	Prueba de Tukey
Dioxinas (**)	Año (A)	2	0,000534	0,000267	0,725	0,488	
	Sector (S)	3	0,000435	0,000145	0,393	0,758	
	A × S	6	0,00101	0,000169	0,459	0,836	
	Error	62	0,0228	0,000368			
	Total	73	0,0259	0,000355			
Furanos (**)	Año (A)	2	0,000000408	0,000000204	5,212	0,008	2014 = 2015 < 2016
	Sector (S)	3	0,0000000390	0,0000000130	0,332	0,802	
	A × S	6	0,0000000772	0,0000000129	0,329	0,919	
	Error	62	0,00000242	0,0000000391			
	Total	73	0,00000294	0,0000000402			
EQTs (**)	Año (A)	2	0,0000646	0,0000323	1,553	0,220	
	Sector (S)	3	0,0000272	0,00000907	0,436	0,728	
	A × S	6	0,0000696	0,0000116	0,558	0,762	
	Error	62	0,00129	0,0000208			
	Total	73	0,00153	0,0000210			

GL = grados de Libertad; SC = Suma de Cuadrados; CM = Cuadrados medios; F = razón F; P = Valor de Probabilidad de error al rechazar Ho; (*) = Datos transformados a \log_{10} . (**) = Cumple al menos uno de los supuestos de ANDEVA; (***) No cumple supuestos de ANDEVA.

4.1.1.4. Análisis comparativos en relación a calidad del agua

En general, los resultados del Programa de Diagnóstico Ambiental del HRC 2014-2015 y del Programa de Monitoreo Ambiental del HRC, no son comparables con resultados históricos de otros programas (tales como el Plan de Vigilancia Ambiental de Planta Arauco Valdivia o el registro de la Dirección general de Aguas (DGA)), debido a que los datos originados en esos programas, presentan diferencias de metodología, número de estaciones de muestreo y límites de detección analítico. Para este último caso, las diferencias entre las metodologías utilizadas entre éste y otros programas, generan diferencias de varios órdenes de magnitud con los límites de detección informados en este estudio. En términos prácticos, las diferencias pueden ir por ejemplo, entre 0,1mg/L a 0,0001 mg/L en los límites de detección, lo que implica una diferencia de tres órdenes de magnitud y consecuentemente, un aumento de la sensibilidad de los análisis.

Debido a lo anterior, los resultados obtenidos en este Programa de Monitoreo Ambiental del HRC, sólo se compararán a modo de referencias con la Guía CONAMA 2004 (Guía CONAMA para el establecimiento de las Normas Secundarias de Calidad Ambiental para Aguas Continentales Superficiales y Marinas) y con la Norma Chilena 1333 para Regadío, las Tablas 4.1.1.52 – 4.1.1.59 muestran la comparación entre los datos obtenidos en este programa, indicando si cumplen los parámetros impuestos en dichas normas.

Metales disueltos

De acuerdo a la Norma 1333 para Regadío, los cuatro sectores estudiados (límnico, estuarial, ríos tributarios, y fuera del HRC), han presentado hasta la fecha, concentraciones de metales disueltos bajo el límite de esta norma. Mientras que según lo establecido por la Guía CONAMA 2004 (para los metales disueltos), las aguas de todos los sectores estudiados pertenecen a la clase de excepción, es decir, muy buena calidad de agua.

Cloruros y Sulfatos

De acuerdo a la Norma 1333 para Regadío, tanto el sector límnico como el sector fuera del HRC, se han mantenido hasta la fecha dentro de los límites establecidos para ambos iones, sin embargo, tanto en el sector estuarial como en los ríos tributarios, la norma fue excedida en las concentraciones de Cloruros, esto ocurrió en abril 2015 y abril 2016, y en el caso del sector estuarial, también se sobrepasó en julio del 2016. Lo mismo ocurre con la Guía CONAMA, los cloruros en estas campañas y sectores se encuentran en dentro de la Clase 3.

Nutrientes

En el caso de los nutrientes, sólo los nitritos se encuentran incluidos dentro de la Guía CONAMA (no se consideran nutrientes en la Norma 1333 para Regadío), y hasta la fecha y en todos los sectores estudiados, se encuentran dentro de la clase de excepción.

Temperatura, pH, conductividad, sólidos disueltos totales (SDT), sólidos suspendidos totales y transparencia

La temperatura de todos los sectores estudiados ha presentado hasta la última campaña, temperaturas aceptadas en la Norma 1333 para uso recreativo.

El pH, se ha encontrado siempre dentro de lo aceptado en la Norma 1333 para Regadío, sin embargo, de acuerdo a la Norma 1333 para uso recreativo, se sobrepasó durante ambas campañas del año 2016 (excepto en abril en los ríos tributarios).

La conductividad, parámetro incluido en la Guía CONAMA, por lo general, ha permanecido dentro de la Clase de excepción, exceptuando en el sector estuarial y ríos tributarios, donde se detectaron valores pertenecientes a la Clase 2 (abril 2015 y 2016 en sector estuarial y abril 2015 en ríos tributarios).

Tanto los sólidos disueltos totales como los sólidos disueltos totales se han mantenidos dentro de la clase de excepción de la Guía CONAMA, excepto en el sector estuarial donde en abril del 2016 se detectaron valores pertenecientes a la clase 3, y en julio de 2016, valores de la clase 2.

La concentración de oxígeno por su parte, siempre se ha mantenido dentro de la Clase de excepción según la Guía CONAMA 2004.

Por último, la transparencia, parámetro incluido en la Norma 1333 para uso recreativo, se ha cumplido durante todo el Programa de Monitoreo Ambiental del HRC, y solo se incumplió durante el Programa de Diagnóstico del HRC en julio del año 2014 en el sector de los ríos tributarios.

Bacterias Coliformes fecales y totales

De acuerdo a lo establecido en la Norma 1333 para aguas de regadío y de uso recreativo, las concentraciones de bacterias coliformes fecales encontradas dentro del HRC cumplen con los parámetros establecidos en esta, sólo se sobrepasó ambas normas en el sector fuera del HRC, esto en mayo y julio del 2014, durante el Programa de Diagnóstico Ambiental del HRC 2014-2015. Mientras que según la Guía CONAMA, las concentraciones de bacterias coliformes fecales que se han informado, se han encontrado principalmente en la Clase 1 (exceptuando los meses de mayo y julio de 2014 en el sector fuera del HRC, ver Tabla 4.1.1.59). En cuanto a las bacterias coliformes totales, su comportamiento ha sido variado, sólo encontrándose una homogeneidad en el tiempo en el sector ríos tributarios donde generalmente se presentan valores pertenecientes a la Clase 1.

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)

De acuerdo a la Guía CONAMA, los valores de DBO₅, se han presentado principalmente dentro de la Clase 2.

Tabla 4.1.1.53. Calidad del agua del sector estuarial del río Cruces durante el periodo de estudio según la norma chilena 1333 para Agua de Riego y Agua de Uso Recreativo.

SECTOR ESTUARIAL (estaciones 3, 4 y 5)	Norma Chilena 1333 para Agua de Riego							Norma Chilena 1333 para Agua de Uso Recreativo						
	2014 (PD)			2015 (PM)		2016 (PM)		2014 (PD)			2015 (PM)		2016 (PM)	
	A	M	J	A	J	A	J	A	M	J	A	J	A	J
variables														
Fe	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓							
Al	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓							
Mn	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓							
Cu	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓							
Zn	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓							
Pb	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓							
Cd	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓							
As	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓							
Hg	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓							
Cloruros	✓	✓	✓	X	✓	X	X							
Sulfatos	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓							
Temperatura								✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
pH	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	X	X
Coliformes fecales	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Transparencia								✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Tabla 4.1.1.54. Calidad del agua de los ríos tributarios del río Cruces durante el periodo de estudio según la norma chilena 1333 para Agua de Riego y Agua de Uso Recreativo.

RÍOS TRIBUTARIOS (estaciones 6 y 7)	Norma Chilena 1333 para Agua de Riego								Norma Chilena 1333 para Agua de Uso Recreativo							
	2014 (PD)			2015 (PM)		2016 (PM)			2014 (PD)			2015 (PM)		2016 (PM)		
	A	M	J	A	J	A	J	A	M	J	A	J	A	J		
variables																
Fe	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓									
Al	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓									
Mn	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓									
Cu	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓									
Zn	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓									
Pb	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓									
Cd	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓									
As	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓									
Hg	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓									
Cloruros	✓	✓	✓	X	✓	X	✓									
Sulfatos	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓									
Temperatura								✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
pH	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	X		
Coliformes fecales	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
Transparencia								✓	✓	X	✓	✓	✓	✓		

Tabla 4.1.1.55. Calidad del agua fuera del humedal del río Cruces durante el periodo de estudio según la norma chilena 1333 para Agua de Riego y Agua de Uso Recreativo.

FUERA DEL HRC (estación 8)	Norma Chilena 1333 para Agua de Riego								Norma Chilena 1333 para Agua de Uso Recreativo							
	2014 (PD)			2015 (PM)		2016 (PM)			2014 (PD)			2015 (PM)		2016 (PM)		
	A	M	J	A	J	A	J	A	M	J	A	J	A	J		
variables																
Fe	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓									
Al	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓									
Mn	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓									
Cu	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓									
Zn	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓									
Pb	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓									
Cd	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓									
As	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓									
Hg	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓									
Cloruros	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓									
Sulfatos	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓									
Temperatura								✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
pH	✓	✓	✓	✓	✓	✓	X	✓	✓	✓	✓	✓	X	X		
Coliformes fecales	✓	X	X	✓	✓	✓	✓	✓	X	X	✓	✓	✓	✓		
Transparencia								✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		

Tabla 4.1.1.59. Calidad del agua fuera del humedal del río Cruces durante el periodo de estudio según la Guía CONAMA para el establecimiento de las normas secundarias de calidad ambiental para aguas continentales superficiales y marinas.

FUERA DEL HRC (estación 8)	Clase de excepción						Clase 1						Clase 2						Clase 3											
	2014 (PD)			2015 (PM)			2016 (PM)			2014 (PD)			2015 (PM)			2016 (PM)			2014 (PD)			2015 (PM)			2016 (PM)					
	A	M	J	A	J		A	J		A	M	J	A	J		A	J		A	M	J	A	J		A	M	J	A	J	
Fe	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓																						
Al	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓																						
Mn	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓																						
Cu	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓																						
Zn	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓																						
Pb	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓																						
Cd	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓																						
As	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓																						
Hg	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓																						
Cloruros	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓																						
Sulfatos	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓																						
Nitrito	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓																						
pH	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓																						
Conductividad	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓																						
SDT	✓	✓	✓	sd	✓		✓	✓																						
SST	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓																						
Concentración de Oxígeno	✓	✓	✓	sd	✓		✓	✓																						
Coliformes fecales							✓			✓			✓									✓								
Coliformes totales							✓	✓		✓	✓		✓	✓																✓
DBO5							✓			✓			✓	✓					✓											

4.1.1.5. Conclusiones

- En términos generales, la variabilidad espacial de la temperatura durante los muestreos del Programa de Monitoreo Ambiental del HRC fue bastante homogénea, con la ocurrencia general de valores más altos en el eje central del río Cruces y ríos tributarios.
- Aun cuando no se encontró un patrón definido de variabilidad espacial del pH, los datos muestran que en general los valores más altos ocurrieron en el sector estuarial del área de estudio.
- La conductividad del agua superficial mostró valores más altos y mayor heterogeneidad espacial durante los muestreos de abril 2014 (Programa de Diagnóstico Ambiental), abril y mayo 2015 y verano del año 2016 (Programa de Monitoreo Ambiental). Tales fechas corresponden a los meses de menor caudal hídrico y consecuentemente, hay mayor intrusión salina al HRC.
- En términos generales, el contenido de sólidos suspendidos totales fue menor durante el período estival y mayor durante el período invernal lo que evidencia influencia de lluvias y caudal hídrico (mayores durante el invierno).
- La transparencia del agua fue en general menor durante las campañas realizadas en los periodos de alto caudal hídrico correspondientes a los meses de julio y agosto; la transparencia del agua varió inversamente con la concentración de sólidos suspendidos totales.
- Los valores de concentración de oxígeno estuvieron casi en su totalidad cercanos o sobre los 8 mg/L; en general, los valores más bajos se registraron durante el verano del año 2016.
- En general, la DBO_5 presentó valores en el rango informado para el año 2014; durante el año 2015 y 2016 los valores más altos se detectaron durante julio período de mayor caudal hídrico, y con valores más altos en los ríos tributarios durante el año 2016.

- La demanda química de oxígeno durante los muestreos del Programa de Monitoreo (2015 y 2016), también mostró valores que están dentro del rango informado para el año 2014, detectándose una leve disminución en el año 2016.
- El carbono orgánico total (COT) presentó concentraciones significativamente más altas en el año 2016, observándose un aumento en la campaña de julio de 2016 respecto a los anteriores muestreos realizados en río Cruces.
- El Amonio, Nitrato y Nitrito presentaron valores significativamente más altos en el sector límnic del humedal del río Cruces, En general, el Nitrito se ha encontrado en el límite o bajo el límite de detección del método utilizado. El Nitrógeno total, Fosfato y Fósforo total detectado el año 2016 fue significativamente más bajo que los años anteriores.
- La concentración de coliformes fecales y totales mostró diferencias significativas entre sectores del humedal, con concentraciones más bajas en los ríos tributarios. Y concentraciones significativamente más bajas de bacterias coliformes fecales durante el año 2016.
- La concentración de Cloruros y Sulfatos presentó concentraciones significativamente más altas en el sector estuarial en todos los muestreos, entre años, solo se observó que el año 2015 fue significativamente más alto que lo detectado el 2014, pero muy similar al 2016.
- Las concentraciones de metales pesados disueltos y particulados presentaron diferencias significativas entre sectores del área de estudio y años estudiados, sin observarse un patrón definido, evidenciando la alta variabilidad que presenta el sistema río Cruces.
- Los Ácidos Grasos detectados durante 2015 y 2016 están dentro del rango informado el 2014, registró que presenta concentraciones significativamente más altas que los años siguientes.
- No se detectó la presencia de Ácidos resínicos en el agua durante el 2014 y tampoco durante el Programa de Monitoreo 2015 y 2016.

- Las concentraciones de AOX fueron significativamente más altas en el sector estuarial que en el sector fuera del HRC. Sin embargo, no se detectaron diferencias estadísticamente significativas entre los años de muestreo.
- Sólo se detectó diferencias en las concentraciones de Furanos detectadas en el año 2016, las cuales fueron significativamente más altas respecto a los años 2015 y 2014. No se detectaron diferencias significativas al comparar concentraciones de Dioxinas, Furanos, EQTs entre los sectores del área de estudio.
- No se ha detectado la presencia de la Dioxina TCDD 2,3,7,8 en ninguna de las estaciones muestreadas ni en ninguna de las campañas realizadas.

4.1.2. CALIDAD DEL SEDIMENTO

4.1.2.1. Objetivos

Medir y analizar en el sedimento los siguientes parámetros:

- Textura, granulometría, contenido de materia orgánica y carbono orgánico total.
- pH y Redox (potencial óxido - reducción).
- Metales pesados (Hierro, Aluminio, Manganeso, Cobre, Zinc, Plomo, Cadmio y Arsénico) medida con ICP – OES (Espectrometría de Emisión Óptica con Inducción Acoplada de Plasma) y/o EAA de llama, según niveles de concentración). Mercurio mediante análisis directo.
- Ácidos grasos, ácidos resínicos, compuestos Órgano-Halogenados Adsorbibles (AOX) y Órgano-Halogenados Extraíbles (EOX).
- Dioxinas y Furanos (17 congéneres incluidos en el Convenio de Estocolmo de 2001).

4.1.2.2. Material y métodos

El muestreo estacional destinado a análisis de calidad del sedimento para el segundo año del Programa de Monitoreo Ambiental del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios (HRC) (abril 2016 – marzo 2017), se realizó en ocho de las 14 estaciones seleccionadas dentro del Programa de Diagnóstico Ambiental del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios (HRC) (abril 2014 – marzo 2015). Los muestreos para estos análisis, se realizaron en las mismas estaciones seleccionadas para muestreos de calidad del agua. Las fechas de muestreo y estaciones se muestran en la Figura 4.1.2.1 y Tabla 4.1.2.1.

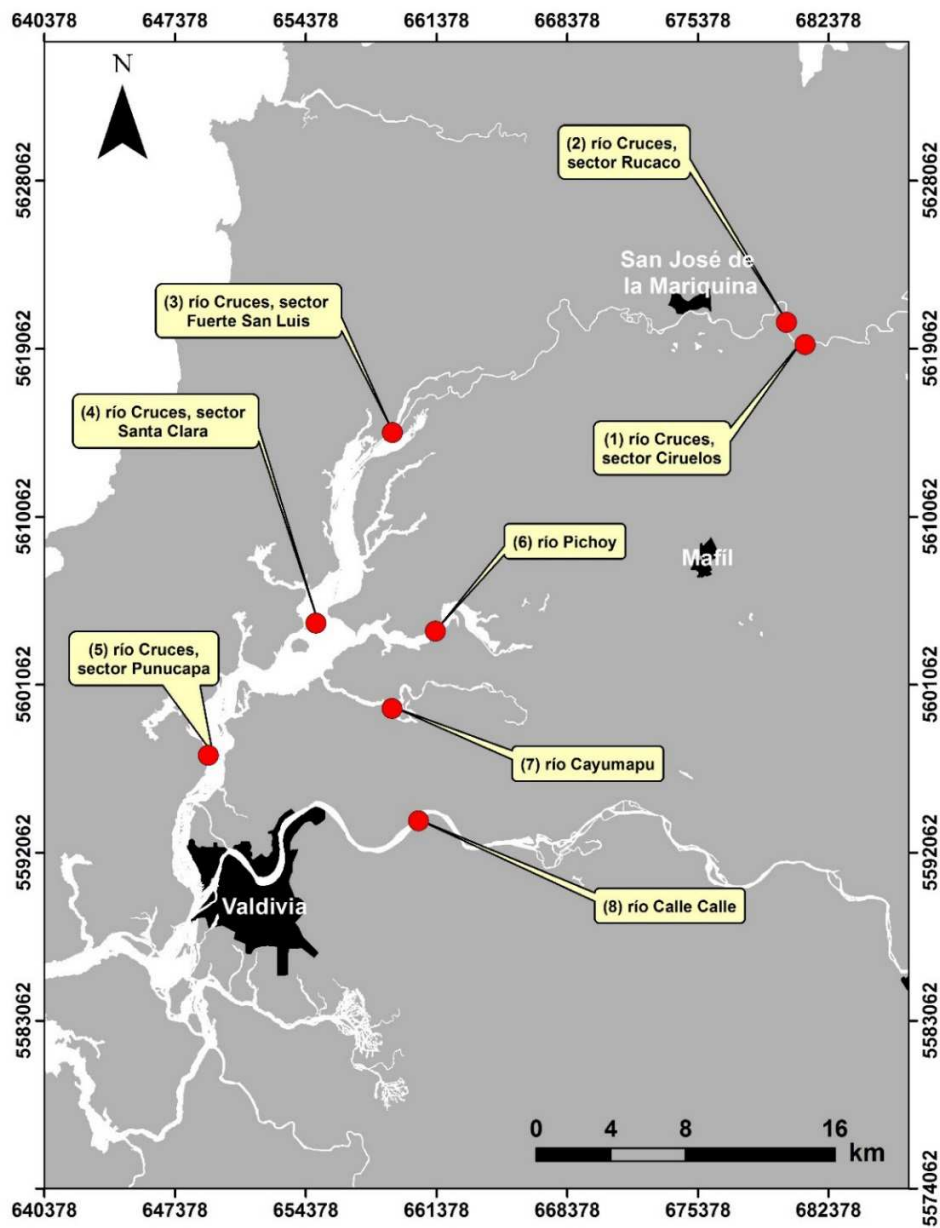


Figura 4.1 .2. 1. Ubicación de los sitios de muestreo (1 a 8) para análisis de calidad del sedimento en el área

a de estudio.

Tabla 4.1.2.1. Estaciones y fechas de muestreos de la calidad del sedimento durante abril 2016, periodo de menor caudal hídrico en el área de estudio.

Estaciones	período de menor caudal
Porción superior del río Cruces (sector límnico)	
1 (sector Ciruelos)	06-abr-2016
2 (sector Rucaco)	06-abr-2016
Eje central del río Cruces (sector estuarial)	
3 (sector Fuerte San Luis)	06-abr-2016
4 (sector Santa Clara)	05-abr-2016
5 (sector Punucapa)	05-abr-2016
Ríos tributarios del río Cruces (sector estuarial)	
6 (río Pichoy)	04-abr-2016
7 (río Cayumapu)	04-abr-2016
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios	
8 (río Calle Calle)	04-abr-2016

Las metodologías de obtención de muestras, mediciones *in situ* y análisis de laboratorio para **estudios de calidad del sedimento** fueron:

- Uso de draga PONAR que cubre un área del fondo de 33 x 33 cm. Uso de toma – testigo plástico de 10 cm de diámetro enterrado a 20 cm de profundidad en los sedimentos contenidos en la draga, para los análisis que se indican más abajo. Los sedimentos así recolectados se colocaron en envolturas de aluminio (*i.e.*, alusa foil) para los análisis de compuestos orgánicos y en bolsas plásticas selladas (tipo Whirl pack®) para los análisis de metales pesados.
- Potencial óxido – reducción: sonda con electrodo para medición de potencial óxido reducción.
- Análisis de textura mediante metodología de tamizado en húmedo (Anderson *et al.*, 1981) y granulometría de la arena mediante velocidad de decantación de las

partículas (Emery, 1938) y método de momentos (Seward-Thompson & Hails, 1973) (Unidades: % para análisis texturales y micrones para granulometría).

- Materia orgánica: calcinación y gravimetría (Unidad: % de materia orgánica por clase textural).
- Carbono orgánico total: combustión catalítica (Unidad: % C).
- Metales pesados: mediante espectroscopía de emisión óptica de plasma inductivamente acoplado (ICP-OES) y/o EAA de llama según nivel de concentración (Unidad: $\mu\text{g/g}$). El Mercurio se analizó con un Analizador Directo de Mercurio (MDA) por descomposición térmica, conversión catalítica, amalgamación y EAA (Unidad: $\mu\text{g/g}$).
- Ácidos grasos: cromatografía gaseosa con detección de masa (Unidad: $\mu\text{g/g}$).
- Ácidos resínicos: cromatografía gaseosa con detección de masa (Unidad: $\mu\text{g/g}$).
- Compuestos Órgano-Halogenados Adsorbibles (AOX): titulación micro coulombimétrica con adsorción en carbono activado (Unidad: $\mu\text{g/g}$).
- Compuestos Órgano-Halogenados Extraíbles (EOX): titulación micro coulombimétrica con extracción en hexano (Unidad: $\mu\text{g/g}$).
- Dioxinas y Furanos: Cromatografía gaseosa de alta resolución con detección de masa de alta resolución (HRGC/HRMS) y preparación automática de muestras (FMS) utilizando Extracción Presurizada Líquida (PLE) (Unidad: ng/g).

4.1.2.3. Resultados

Textura y granulometría

Las Tablas 4.1.2.2 a 4.1.2.5 muestran la variabilidad interanual de los valores porcentuales de los contenidos de grava, arena, tamaño medio de la partícula de arena, fango, agregados biogénicos, materia orgánica total y carbono orgánico total durante abril y julio de 2014 (Programa de Diagnóstico Ambiental del HRC) y abril del 2015 y 2016 (Programa de Monitoreo Ambiental del HRC).

Durante abril del año 2016, la fracción grava (> 2000 micrones) estuvo presente en el sector Ciruelos, Rucaco y San Luis, su valor porcentual más alto se registró en el sector de Rucaco (30,9%). Mientras que, en abril del año 2015, las partículas de tamaño grueso correspondientes a la grava no estuvieron representadas en las estaciones del área de estudio, con excepción del sector de Rucaco (estación 2). Durante el Programa de Diagnóstico Ambiental del HRC 2014-2015, el contenido porcentual de esta fracción se encontró en seis de los ocho sitios que se han continuado monitoreando, el valor más alto se registró en el sector del Fuerte San Luis (83,2% en abril 2014; ver Tabla 4.1.2.2).

Tabla 4.1.2.2. Comparación interanual de los valores porcentuales promedio de grava en los sedimentos del área de estudio durante 2014 (abril y julio), 2015 y 2016 (abril). Los valores son promedios con desviación estándar en paréntesis.

estaciones	grava (%)			
	2014		2015	2016
	abril	julio	abril	abril
Eje central del río Cruces (sector límnic)				
1 (sector Ciruelos)	9,3 (0,8)	0,0 (0,0)	0,0 (0,0)	13,1 (19,1)
2 (sector Rucaco)	46,2 (12,8)	39,2 (5,1)	11,9 (11,2)	30,9 (16,4)
Eje central del río Cruces (sector estuarial)				
3 (sector Fuerte San Luis)	83,2 (10,2)	0,0 (0,0)	0,0 (0,0)	1,3 (0,6)
4 (sector Santa Clara)	0,0 (0,0)	0,0 (0,0)	0,0 (0,0)	0,0 (0,0)
5 (sector Punucapa)	0,0 (0,0)	0,0 (0,0)	0,0 (0,0)	0,0 (0,0)
Ríos tributarios del río Cruces				
6 (río Pichoy)	0,7 (0,1)	0,0 (0,0)	0,0 (0,0)	0,0 (0,0)
7 (río Cayumapu)	4,0 (5,7)	0,0 (0,0)	0,0 (0,0)	0,0 (0,0)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios				
8 (río Calle Calle)	0,2 (0,1)	0,0 (0,0)	0,0 (0,0)	0,0 (0,0)

Durante la campaña de abril 2016, la fracción de arena estuvo primariamente representada (> 80%) en los sedimentos de las estaciones 1 (sector ciruelos), 4 (sector Santa Clara), 6 (río Pichoy) y 8 (río Calle Calle). Mientras que, en la campaña de abril 2015, estuvo primariamente representada (> 90%) en los sedimentos de las estaciones 3 (sector Fuerte San Luis), 4 (sector Santa Clara), 6 (río Pichoy) y 8 (río Calle Calle).

Similar a lo registrado en ambas campañas del Programa de Monitoreo Ambiental del HRC, durante el Programa de Diagnóstico Ambiental del HRC 2014-2015, la arena (partículas comprendidas entre 63 y 2000 micrones) también fue la fracción dominante en los sedimentos de la mayoría de las estaciones del área de estudio. Los valores porcentuales más altos (> 80%), se registraron en las estaciones 1 (sector Ciruelos, julio 2014), 4 (sector Santa Clara), 6 (río Pichoy) y 8 (río Calle Calle, julio 2014) (Tabla 4.1.2.3).

La variabilidad del tamaño de la partícula de arena, muestra en general dos tipos: arenas de tamaño medio (partículas comprendidas entre 250 - 500 micrones) en Rucaco, Santa Clara y Pichoy y arenas de tamaños finos (partículas comprendidas entre 125 - 250 micrones). Los tamaños de arena más finos se han registrado en la estación 7 (río Cayumapu), durante todas las campañas. Mientras que las más gruesas se registraron en las estaciones 2 (sector Rucaco, abril 2015 y 2016) y 3 (sector Fuerte San Luis, abril 2015), correspondientes a arenas de tamaño grueso (Tabla 4.1.2.3).

Durante el desarrollo del Programa de Diagnóstico Ambiental del HRC y durante ambas campañas del Programa de Monitoreo Ambiental del HRC, las arenas de mayor diámetro nominal se encontraron en los sedimentos de la estación ubicada en el sector Rucaco (estación 2). Durante la campaña de abril de 2014, las arenas más finas ocurrieron en el río Cayumapu y río Calle Calle (estaciones 7 y 8, 165 y 143 micrones, respectivamente), a la vez que, durante julio, las arenas de menor tamaño (94,4 micrones) ocurrieron en sedimentos de la estación 7 (río Cayumapu) (Tabla 4.1.2.3).

Tabla 4.1.2.3. Comparación interanual de los valores porcentuales promedio de arena (se indica el tamaño de las partículas correspondientes a esta fracción) en los sedimentos del área de estudio durante 2014 (abril y julio) y 2015 y 2016 (abril). Los valores son promedios con desviación estándar en paréntesis.

estaciones	arena (%)			
	2014		2015	2016
	abril	julio	abril	abril
Eje central del río Cruces (sector límnic)				
1 (sector Ciruelos)	65,1 (0,3)	97,9 (2,0)	64,8 (17,7)	83,8 (22,2)
2 (sector Rucaco)	47,0 (10,2)	46,1 (7,2)	69,7 (20,7)	63,9 (14,2)
Eje central del río Cruces (sector estuarial)				
3 (sector Fuerte San Luis)	12,6 (7,0)	63,1 (37,5)	98,7 (0,5)	68,7 (3,8)
4 (sector Santa Clara)	97,0 (0,2)	80,0 (1,7)	92,4 (2,8)	95,3 (3,1)
5 (sector Punucapa)	57,8 (10,5)	73,6 (12,4)	18,0 (2,8)	62,8 (13,2)
Ríos tributarios del río Cruces				
6 (río Pichoy)	96,5 (1,1)	98,4 (0,1)	93,2 (2,4)	97,2 (1,9)
7 (río Cayumapu)	17,6 (4,8)	6,4 (3,8)	18,4 (4,6)	19,5 (22,7)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios				
8 (río Calle Calle)	55,5 (2,7)	88,7 (2,1)	93,5 (1,7)	84,5 (4,8)

Continuación **Tabla 4.1.2.3**

estaciones	tamaño de la arena (micrones)			
	2014		2015	2016
	abril	julio	abril	abril
Eje central del río Cruces				
(sector límnic)				
1 (sector Ciruelos)	314,0 (11,7)	307,1 (7,9)	214,6 (12,4)	488,8 (56,4)
2 (sector Rucaco)	536,0 (45,6)	497,4 (7,5)	412,8 (141,1)	500,3 (97,7)
Eje central del río Cruces				
(sector estuarial)				
3 (sector Fuerte San Luis)	177,0 (7,8)	220,2 (18,6)	548,7 (25,2)	220,3 (1,2)
4 (sector Santa Clara)	394,0 (10,6)	213,1 (3,1)	299,3 (8,4)	387,0 (2,0)
5 (sector Punucapa)	211,0 (31,9)	245,4 (1,1)	178,8 (29,9)	233,0 (7,4)
Ríos tributarios del río Cruces				
6 (río Pichoy)	397,0 (7,0)	352,0 (6,4)	318,6 (7,7)	371,8 (3,0)
7 (río Cayumapu)	165,0 (35,4)	94,4 (19,3)	140,4 (29,6)	123,3 (0,6)
Fuera del humedal del río Cruces				
y sus ríos tributarios				
8 (río Calle Calle)	143,0 (3,9)	193,5 (4,3)	176,6 (5,3)	359,3 (11,6)

Durante ambas campañas del Programa de Monitoreo Ambiental de HRC 2015-2016, la fracción de fango (partículas < 63 micrones), estuvo mayormente representada (> 25%) en las estaciones 5 y 7 (sector Punucapa y río Cayumapu). Mientras que valores inferiores al 1% ocurrieron en la estación 3 (durante el año 2015), y en las estaciones 1, 4 y 6 (sector Ciruelos, Santa Clara y río Pichoy, durante el año 2016) (Tabla 4.1.2.4).

Durante las campañas de abril de los años 2015 y 2016, por lo general se encontró valores de agregados biogénicos dentro del rango que lo encontrado durante el Programa de Diagnóstico Ambiental del HRC 2014-2015 (exceptuando en el sector Cayumapu durante abril de 2016), los valores de agregados biogénicos fueron más altos (> 10%) registrados en las últimas campañas se detectaron en las estaciones 1 y 7 (sector Ciruelos

y río Cayumapu) durante abril del 2015 y en las estaciones 3 y 7 (sector Fuerte San Luis y Cayumapu) durante abril del 2016 (Tabla 4.1.2.4).

Durante las campañas del 2014 (abril y julio), los agregados biogénicos estuvieron mayoritariamente representados en los sedimentos de las estaciones 3 (sector Fuerte San Luis, julio), 7 (río Cayumapu, abril) y 8 (río Calle Calle, abril) (Tabla 4.1.2.4).

Tabla 4.1.2.4. Comparación interanual de los valores porcentuales promedio de fango y agregados biogénicos en los sedimentos del área de estudio durante 2014 (abril y julio) y 2015 y 2016 (abril). Los valores son promedios con desviación estándar en paréntesis.

estaciones	fango (%)			
	2014		2015	2016
	abril	julio	abril	abril
Eje central del río Cruces (sector límnic)				
1 (sector Ciruelos)	18,0 (2,7)	1,0 (0,7)	22,9 (10,3)	0,3 (0,2)
2 (sector Rucaco)	6,3 (2,5)	13,8 (1,2)	17,5 (12,6)	2,3 (1,0)
Eje central del río Cruces (sector estuarial)				
3 (sector Fuerte San Luis)	3,0 (3,6)	17,7 (11,9)	0,5 (0,2)	13,1 (1,9)
4 (sector Santa Clara)	1,2 (0,1)	11,1 (3,4)	7,3 (2,8)	0,9 (0,4)
5 (sector Punucapa)	40,6 (10,9)	21,8 (10,0)	77,0 (3,6)	28,0 (14,0)
Ríos tributarios del río Cruces				
6 (río Pichoy)	1,8 (0,2)	0,2 (0,1)	6,1 (2,1)	0,5 (0,0)
7 (río Cayumapu)	42,1 (6,0)	86,9 (8,2)	57,1 (24,1)	26,0 (7,8)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios				
8 (río Calle Calle)	28,3 (3,1)	10,2 (1,8)	5,3 (0,5)	10,5 (1,0)

Continuación **Tabla 4.1.2.4**

estaciones	agregados biogénicos (%)			
	2014		2015	2016
	abril	julio	abril	abril
Eje central del río Cruces (sector límnic)				
1 (sector Ciruelos)	7,6 (1,5)	1,1 (1,2)	12,2 (11,1)	2,8 (3,2)
2 (sector Rucaco)	0,5 (0,2)	0,9 (0,9)	0,9 (1,2)	2,9 (1,3)
Eje central del río Cruces (sector estuarial)				
3 (sector Fuerte San Luis)	1,3 (0,4)	19,2 (25,6)	0,8 (0,6)	16,9 (3,1)
4 (sector Santa Clara)	1,9 (0,3)	9,0 (1,7)	0,3 (0,0)	3,8 (2,6)
5 (sector Punucapa)	1,6 (0,4)	4,5 (2,4)	5,0 (3,7)	9,2 (4,5)
Ríos tributarios del río Cruces				
6 (río Pichoy)	1,0 (0,8)	1,4 (0,3)	0,7 (0,3)	2,3 (1,9)
7 (río Cayumapu)	36,2 (5,2)	6,6 (4,4)	24,5 (28,4)	54,6 (21,3)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios				
8 (río Calle Calle)	15,9 (0,3)	1,1 (0,3)	1,2 (1,3)	5,0 (3,9)

Durante abril de los años 2015 y 2016, por lo general las concentraciones de materia orgánica, se mantuvieron dentro de los rangos de lo registrado durante el Programa de Diagnóstico Ambiental del HRC 2014-2015, con la excepción del río Cayumapu durante abril del 2015, donde se encontró el máximo registrado, alcanzando un 33,4 %. Las mayores concentraciones (> 10%) se han encontrado en las estaciones 1, 5 y 7 (sector Ciruelos, Punucapa y río Cayumapu), durante abril del 2015 y en las estaciones 3 y 7 (sector Fuerte San Luis y Punucapa), durante abril del 2016 (Tabla 4.1.2.5). En tanto las concentraciones más bajas, se registraron en abril del 2016 en las estaciones 1,2 y 6 (sector Ciruelos, Rucaco y río Pichoy), valores inferiores al 1%. Durante el Programa de Diagnóstico Ambiental del HCR, las concentraciones más altas de materia orgánica total

se detectaron en sedimentos de la estación 7 (río Cayumapu), en tanto que los valores más bajos ocurrieron en la estación 6 (río Pichoy) (Tabla 4.1.2.5).

Durante abril del 2015 y 2016, las concentraciones porcentuales más altas (> a 5%) de Carbono orgánico total en el área de estudio se detectaron en los sedimentos de las estaciones 3 (sector Fuerte San Luis) y 7 (río Cayumapu) (Tabla 4.1.2.5). Mientras que en el Programa de Diagnóstico Ambiental del HRC 2014-2015, este parámetro registró sus valores porcentuales más altos en las estaciones 2 (sector Rucaco) y 7 (río Cayumapu), mientras que el resto de las estaciones presentaron, por lo general, valores inferiores a 2,0 % (Tabla 4.1.2.5).

Tabla 4.1.2.5. Comparación interanual de los valores porcentuales promedio de materia orgánica total y carbono orgánico total (COT) en los sedimentos del área de estudio durante 2014 (abril y julio) y 2015 y 2016 (abril). Los valores son promedios con desviación estándar en paréntesis.

estaciones	materia orgánica total (%)			
	2014		2015	2016
	abril	julio	Abril	abril
Eje central del río Cruces (sector límnic)				
1 (sector Ciruelos)	6,7 (0,2)	2,8 (0,2)	15,6 (0,6)	1,6 (0,3)
2 (sector Rucaco)	4,0 (1,1)	10,5 (0,7)	2,0 (0,4)	1,7 0,1
Eje central del río Cruces (sector estuarial)				
3 (sector Fuerte San Luis)	4,9 (2,1)	9,7 (2,7)	2,4 (0,4)	10,6 (1,0)
4 (sector Santa Clara)	2,6 (0,1)	6,8 (0,2)	4,9 (0,8)	3,1 (0,3)
5 (sector Punucapa)	8,3 (1,2)	4,3 (1,5)	13,8 (0,3)	7,0 (1,2)
Ríos tributarios del río Cruces				
6 (río Pichoy)	3,1 (0,0)	2,4 (0,8)	2,8 (0,8)	1,6 (0,1)
7 (río Cayumapu)	21,1 (2,7)	18,5 (0,2)	33,4 (19,7)	18,4 (0,4)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios				
8 (río Calle Calle)	11,7 (1,8)	7,4 (0,8)	5,1 (0,4)	2,5 (0,6)

Continuación Tabla 4.1.2.5.

estaciones	carbono orgánico total (% C)			
	2014		2015	2016
	abril	julio	abril	abril
Eje central del río Cruces (sector límnico)				
1 (sector Ciruelos)	0,3 (0,1)	0,5 (0,0)	0,3 (0,0)	0,3 (0,0)
2 (sector Rucaco)	6,4 (0,3)	3,1 (0,4)	0,3 (0,0)	0,9 (0,0)
Eje central del río Cruces (sector estuarial)				
3 (sector Fuerte San Luis)	3,4 (0,2)	0,6 (0,0)	5,2 (0,3)	3,7 (0,1)
4 (sector Santa Clara)	0,4 (0,1)	0,7 (0,0)	0,6 (0,0)	0,2 (0,0)
5 (sector Punucapa)	1,2 (0,1)	1,3 (0,1)	2,0 (0,0)	0,3 (0,1)
Ríos tributarios del río Cruces				
6 (río Pichoy)	0,6 (0,1)	0,3 (0,0)	1,9 (0,1)	0,2 (0,0)
7 (río Cayumapu)	4,4 (0,5)	4,7 (0,3)	5,8 (0,1)	6,1 (0,4)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios				
8 (río Calle Calle)	0,5 (0,0)	1,9 (0,2)	2,2 (0,0)	0,3 (0,0)

Análisis estadísticos

Las fracciones granulométricas y concentraciones de materia orgánica y COT no presentaron diferencias significativas entre años (Tabla 4.1.2.6). El porcentaje de grava encontrado en el sector límnico, fue significativamente más alto ($p < 0,05$) que el registrado en los ríos tributarios. El porcentaje de agregados biogénicos encontrado en los ríos Tributarios fue significativamente más alto ($p < 0,05$) que el encontrado en el sector límnico y en eje estuarial del río Cruces. Por último, la materia orgánica total registrada en los ríos tributarios, fue significativamente más alta ($p < 0,05$) que la registrada en el sector límnico.

Tabla 4.1.2.6. Resumen de ANDEVA Factorial y Prueba *a posteriori* de Tukey para evaluar diferencias en las fracciones granulométricas, materia orgánica y carbono orgánico total de los sedimentos, registrados entre los factores principales. Los factores son Año de muestreo (2014-2015-2016) y Sector (L = sector límnic del río Cruces; EE = eje estuarial y central del río Cruces; T = ríos tributarios del humedal del río Cruces y F = fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios). Los valores de P en negrilla son significativos (<0,05) para cada prueba. Las comparaciones a posteriori deben interpretarse con cautela cuando la interacción A x S es significativa.

Parámetro	Fuente	GL	SC	CM	F	Valor P	Prueba de Tukey
Arena (**)	Año (A)	2	145,381	72,690	0,166	0,848	
	Sector (S)	3	1056,558	352,186	0,803	0,496	
	A x S	6	1324,586	220,764	0,503	0,804	
	Error	68	29817,845	438,498			
	Total	79	32117,667	406,553			
Fango (*)(**)	Año (A)	2	874,049	437,024	1,991	0,144	
	Sector (S)	3	613,825	204,608	0,932	0,430	
	A x S	6	1082,649	180,441	0,822	0,557	
	Error	68	14927,385	219,520			
	Total	79	17977,382	227,562			
Grava (**)	Año (A)	2	436,114	218,057	0,885	0,417	
	Sector (S)	3	2343,111	781,037	3,170	0,030	L > T
	A x S	6	1298,526	216,421	0,878	0,515	
	Error	68	16752,033	246,353			
	Total	79	21246,915	268,948			
A. Biogénicos (***)	Año (A)	2	412,204	206,102	1,202	0,307	
	Sector (S)	3	2135,466	711,822	4,153	0,009	T > L = E
	A x S	6	1093,476	182,246	1,063	0,393	
	Error	68	11655,343	171,402			
	Total	79	15295,465	193,613			
MOT (***)	Año (A)	2	207,616	103,808	1,841	0,166	
	Sector (S)	3	572,078	190,693	3,382	0,023	T > L
	A x S	6	359,622	59,937	1,063	0,393	
	Error	68	3834,271	56,386			
	Total	79	4920,927	62,290			
COT (**)	Año (A)	2	6,364	3,182	0,853	0,432	
	Sector (S)	3	19,675	6,558	1,758	0,167	
	A x S	6	25,199	4,200	1,126	0,361	
	Error	52	194,030	3,731			
	Total	63	238,487	3,786			

GL = grados de Libertad; SC = Suma de Cuadrados; CM = Cuadrados medios; F = razón F; P = Valor de Probabilidad de error al rechazar Ho; (*) = Datos transformados. (**) = Cumple al menos uno de los supuestos de ANDEVA; (***) No cumple supuestos de ANDEVA.

pH y Potencial óxido reducción

La Tabla 4.1.2.7 muestra la variabilidad interanual del pH y potencial óxido reducción (Redox) en los sedimentos de las distintas estaciones de muestreo durante las campañas del Programa de Monitoreo Ambiental del HRC y del Programa de Diagnóstico Ambiental del HRC 2014-2015.

Los valores de pH medidos en el sedimento durante abril del 2015, han sido los más altos registrados superando a los encontrados durante las campañas del 2014 (abril y julio) y a los encontrados durante la última campaña de abril 2016. El valor más alto (7,7) ocurrió en la estación 4 (sector Santa Clara), durante abril 2015, en tanto los valores más bajos (5,6 y 5,8) se encontraron en la estación 6 (río Pichoy) y 8 (río Calle Calle), durante abril del 2016. Durante el Programa de Diagnóstico Ambiental del HRC 2014-2015, los valores de pH medidos en el sedimento fueron muy similares en las estaciones y campañas de muestreo (entre 6,1 y 7,2) (Tabla 4.1.2.7).

Durante abril del 2016, se registró valores negativos en tres de las ocho estaciones (sector Fuerte San Luis, río Cayumapu y río Calle Calle), en la estación 5 (sector Punucapa), y durante la última campaña se detectó el valor más alto registrado (207,5 mV). Durante abril del 2015, los valores de potencial Redox fueron negativos (*i.e.*, condiciones de menor oxigenación en el espacio intersticial del sedimento), con excepción de la estación 1 (sector Ciruelos, 201,1mV) que presentó un valor positivo. Los valores de potencial óxido reducción durante el Programa de Diagnóstico Ambiental del HRC, también fueron mayoritariamente negativos, valores positivos se encontraron sólo en las estaciones 1 (sector Rucaco), 4 (sector Santa Clara) y 6 (río Pichoy) (Tabla 4.1.2.7).

Tabla 4.1.2.7. Comparación interanual de los valores de pH y potencial óxido reducción (POR) en los sedimentos del área de estudio durante los años 2014 (abril y julio) y 2015 y 2016 (abril). Los valores son promedios. SD = sin datos ya que el sustrato no es adecuado para el uso de la sonda para medición de POR (fondo con muchas piedras).

estaciones	pH			
	2014		2015	2016
	abril	julio	abril	abril
Eje central del río Cruces (sector límnic)				
1 (sector Ciruelos)	6,5	6,7	7,0	5,7
2 (sector Rucaco)	6,6	6,9	SD	6,0
Eje central del río Cruces (sector estuarial)				
3 (sector Fuerte San Luis)	6,7	6,9	7,4	6,4
4 (sector Santa Clara)	6,2	6,9	7,7	6,3
5 (sector Punucapa)	6,7	7,2	7,4	6,3
Ríos tributarios del río Cruces				
6 (río Pichoy)	6,1	6,1	7,0	5,6
7 (río Cayumapu)	6,2	6,4	6,6	6,1
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos ributarios				
8 (río Calle Calle)	6,6	6,3	6,8	5,8

Continuación **Tabla 4.1.2.7**

estaciones	POR (mV)			
	2014		2015	2016
	abril	julio	abril	abril
Eje central del río Cruces (sector límnic)				
1 (sector Ciruelos)	120,1	95,6	201,1	117,0
2 (sector Rucaco)	-17,1	-25,8	SD	177,9
Eje central del río Cruces (sector estuarial)				
3 (sector Fuerte San Luis)	-119	-131,5	-138,7	-59,7
4 (sector Santa Clara)	52,8	-94,8	-0,6	207,5
5 (sector Punucapa)	-104,4	-84,4	-72,8	34,6
Ríos tributarios del río Cruces				
6 (río Pichoy)	123	234	-67,5	187,3
7 (río Cayumapu)	-92,8	-27,5	-158	-55,3
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios				
8 (río Calle Calle)	-155,1	-62,7	-151,6	-56,2

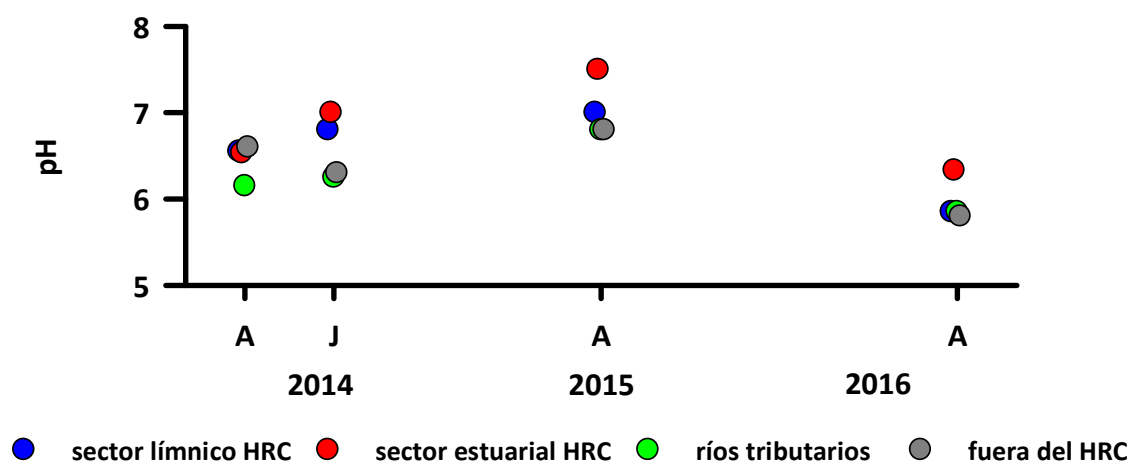


Figura 4.1.2.2. Comparación interanual de los valores de pH en los sedimentos del sector límnico del río Cruces, sector estuarial del río Cruces, ríos tributarios del río Cruces y fuera del humedal del río Cruces.

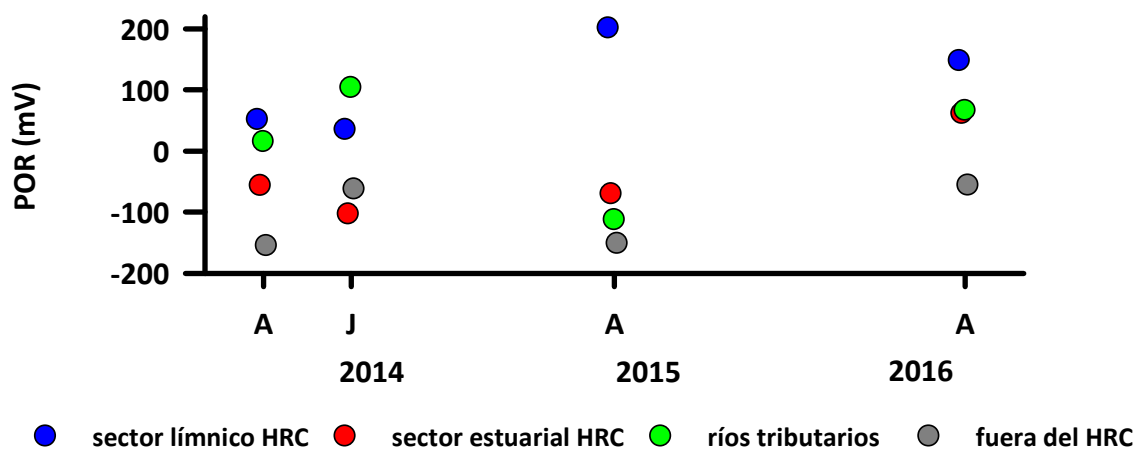


Figura 4.1.2.3. Comparación interanual de los valores de potencial óxido reducción (POR) en los sedimentos del sector límnico del río Cruces, sector estuarial del río Cruces, ríos tributarios del río Cruces y fuera del humedal del río Cruces.

Análisis estadísticos

Los niveles de pH presentaron diferencias significativas ($p < 0,05$) entre años y sectores, reflejado en que los valores significativamente más altos se encontraron durante el año 2015 mientras que los más bajos se detectaron durante el año 2016. A la vez que los valores detectados en el eje estuarial fueron significativamente más altos que los detectados en los otros sectores estudiados. Por otro lado, el potencial óxido reducción registrado en los sedimentos fue homogéneo a través de ambos años y sectores del área de estudio (Tabla 4.1.2.8).

Tabla 4.1.2.8. Resumen de ANDEVA Factorial y Prueba *a posteriori* de Tukey para evaluar diferencias en los valores de pH y potencial óxido reducción (POR), registrados en los sedimentos entre los factores principales. Los factores son Año de muestreo (2014-2015-2016) y Sector (L = sector límnic del río Cruces; EE = eje estuarial y central del río Cruces; T = ríos tributarios del humedal del río Cruces y F = fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios). Los valores de P en negrilla son significativos ($< 0,05$) para cada prueba. Las comparaciones a posteriori deben interpretarse con cautela cuando la interacción AxS es significativa.

Parámetro	Fuente	GL	SC	CM	F	Valor P	Prueba de Tukey
pH	Año (A)	2	3,647	1,823	32,406	<0,001	2015 > 2014 > 2016
	Sector (S)	3	1,754	0,585	10,391	<0,001	EE > L = F = T
	A × S	6	0,308	0,0513	0,912	0,508	
	Error	19	1,069	0,0563			
	Total	30	7,780	0,259			
POR (**)	Año (A)	2	39839,541	19919,770	1,625	0,222	
	Sector (S)	3	96144,988	32048,329	2,614	0,079	
	A × S	6	23373,727	3895,621	0,318	0,920	
	Error	20	245214,546	12260,727			
	Total	31	441114,835	14229,511			

GL = grados de Libertad; SC = Suma de Cuadrados; CM = Cuadrados medios; F = razón F; P = Valor de Probabilidad de error al rechazar H_0 ; (*) = Datos transformados a \log_{10} . (**) = Cumple al menos uno de los supuestos de ANDEVA; (***) No cumple supuestos de ANDEVA.

Metales pesados

Las Tablas 4.1.2.9 a 4.1.2.17 muestran las concentraciones de metales pesados adsorbidos en los sedimentos recolectados durante las campañas del Programa de Monitoreo Ambiental del HRC y del Programa de Diagnóstico Ambiental del HRC 2014-2015.

Los valores más altos se han registrado en las estaciones 3, 5 y 7, para todos los metales analizados. Estas estaciones se sitúan en el sector Fuerte San Luis, sector Punucapa y Sector Cayumapu, respectivamente. Las concentraciones más bajas para los metales pesados evaluados se presentaron en las estaciones 1 (río Cruces, sector Ciruelos) y 4 (sector Santa Clara).

Los metales pesados con las representaciones más altas fueron Aluminio (*ca.* 16.466-88.420 $\mu\text{g/g}$) y Hierro (*ca.* 14.918-64.434 $\mu\text{g/g}$), seguidos de Manganeso (*ca.* 186-1.902 $\mu\text{g/g}$), a la vez que Mercurio fue el metal con la menor representación en el área de estudio (Tabla 4.1.2.17).

Durante abril de los años 2015 y 2016, hubo varios casos en que no se detectaron algunos de los metales pesados evaluados. Durante abril de 2015 el Plomo estuvo bajo el límite de detección (L.D.: 0,10 $\mu\text{g/g}$) en las estaciones 1 y 2 (sectores Ciruelos y Rucaco), mientras que, durante abril 2016, se detectó en todas las estaciones, en concentraciones dentro del rango de lo detectado durante el Programa de Diagnóstico Ambiental del HRC 2014-2015 (Tabla 4.1.2.14). El Cadmio, al igual que en ambas campañas del Programa de Diagnóstico Ambiental del HRC 2014-2015, estuvo bajo los límites de detección del método utilizado (0,01 $\mu\text{g/g}$) en ambas campañas del Programa de Monitoreo Ambiental del HRC y en todas las estaciones de muestreo (Tabla 4.1.2.15). Las concentraciones de Arsénico detectadas durante el Programa de Monitoreo Ambiental del HRC, han estado dentro del rango de lo detectado durante el Programa de Diagnóstico Ambiental del HRC 2014-2015, sin embargo, durante abril 2016, las concentraciones fueron

considerablemente más bajas que las detectadas con anterioridad. Finalmente, el Mercurio se mantuvo dentro del rango de lo detectado en el Programa de Diagnóstico Ambiental del HRC 2014-2015, con la excepción de las estaciones 1, 4 y 5 (sectores Ciruelos, Santa Clara y Punucapa), donde estuvo bajo el límite de detección del método utilizado (L.D.: 0,0001 µg/g) (Tabla 4.1.2.17).

Tabla 4.1.2.9. Comparación interanual de las concentraciones de Hierro en los sedimentos del área de estudio durante abril y julio 2014 y abril 2015. Los valores son promedios con desviación estándar en paréntesis.

estaciones	Hierro (µg/g)			
	2014		2015	2016
	abril	julio	abril	abril
Eje central del río Cruces (sector límnico)				
1 (sector Ciruelos)	14.918 (192)	23.611 (1.806)	16.849 (1.644)	18.007 (360)
2 (sector Rucaco)	53.572 (24)	34.407 (30)	21.398 (157)	22.963 (1.137)
Eje central del río Cruces (sector estuarial)				
3 (sector Fuerte San Luis)	40.592 (2.036)	55.551 (3.595)	48.426 (411)	48.466 (1.257)
4 (sector Santa Clara)	19.820 (33)	23.244 (90)	25.459 (132)	21.617 (985)
5 (sector Punucapa)	45.951 (162)	63.019 (238)	64.434 (1.503)	26.808 (1.319)
Ríos tributarios del río Cruces				
6 (río Pichoy)	20.827 (541)	21.885 (2.361)	42.748 (564)	15.019 (472)
7 (río Cayumapu)	54.906 (1.636)	61.560 (86)	54.652 (1.856)	60.495 (3.428)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios				
8 (río Calle Calle)	25.641 (742)	32.558 (492)	29.455 (145)	23.642 (1.256)

Tabla 4.1.2.10. Comparación interanual de las concentraciones de Aluminio en los sedimentos del área de estudio durante abril y julio 2014 y abril 2015. Los valores son promedios con desviación estándar en paréntesis.

estaciones	Aluminio ($\mu\text{g/g}$)			
	2014		2015	2016
	abril	julio	abril	abril
Eje central del río Cruces (sector límnic)				
1 (sector Ciruelos)	16.466 (468)	20.451 (310)	17.877 (1.179)	39.453 (5.109)
2 (sector Rucaco)	58.252 (1.442)	32.807 (202)	21.389 (440)	36.667 (843)
Eje central del río Cruces (sector estuarial)				
3 (sector Fuerte San Luis)	46.824 (2.087)	53.373 (786)	47.876 (1.778)	69.318 (162)
4 (sector Santa Clara)	23.202 (247)	23.973 (323)	40.491 (398)	37.254 (5.127)
5 (sector Punucapa)	63.232 (700)	68.053 (612)	80.645 (5.458)	34.484 (862)
Ríos tributarios del río Cruces				
6 (río Pichoy)	26.404 (1.591)	27.413 (252)	45.873 (1.128)	21.571 (1.516)
7 (río Cayumapu)	70.048 (1.244)	88.420 (3.149)	49.593 (3.560)	65.412 (1.568)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios				
8 (río Calle Calle)	28.110 (66)	37.197 (448)	38.270 (1.114)	28.192 (2.208)

Tabla 4.1.2.11. Comparación interanual de las concentraciones de Manganeso en los sedimentos del área de estudio durante abril y julio 2014 y abril 2015 y 2016. Los valores son promedios con desviación estándar en paréntesis.

estaciones	Manganeso ($\mu\text{g/g}$)			
	2014		2015	2016
	abril	julio	abril	abril
Eje central del río Cruces (sector límnico)				
1 (sector Ciruelos)	215 (13)	358 (3)	225 (1)	251 (10)
2 (sector Rucaco)	1.902 (21)	579 (5)	362 (10)	370 (14)
Eje central del río Cruces (sector estuarial)				
3 (sector Fuerte San Luis)	1.230 (92)	838 (25)	851 (15)	914 (36)
4 (sector Santa Clara)	453 (11)	443 (17)	541 (2)	539 (17)
5 (sector Punucapa)	744 (8)	1.100 (4)	1.057 (5)	497 (15)
Ríos tributarios del río Cruces				
6 (río Pichoy)	519 (46)	554 (12)	486 (0)	343 (14)
7 (río Cayumapu)	1.080 (37)	1.091 (29)	1.271 (5)	1.004 (37)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios				
8 (río Calle Calle)	236 (2)	261 (6)	240 (3)	186 (10)

Tabla 4.1.2.12. Comparación interanual de las concentraciones de Cobre en los sedimentos del área de estudio durante abril y julio 2014 y abril 2015 y 2016. Los valores son promedios con desviación estándar en paréntesis.

estaciones	Cobre ($\mu\text{g/g}$)			
	2014		2015	2016
	abril	julio	abril	abril
Eje central del río Cruces (sector límnico)				
1 (sector Ciruelos)	11,6 (0,1)	18,5 (1,6)	15,1 (0,6)	20,9 (1,5)
2 (sector Rucaco)	53,0 (1,7)	33,8 (1,3)	16,4 (0,7)	18,5 (2,0)
Eje central del río Cruces (sector estuarial)				
3 (sector Fuerte San Luis)	42,3 (1,1)	48,6 (0,6)	51,7 (0,7)	45,7 (2,8)
4 (sector Santa Clara)	11,5 (0,2)	14,8 (0,1)	16,9 (0,3)	13,5 (1,2)
5 (sector Punucapa)	43,1 (0,3)	60,5 (1,0)	63,8 (1,6)	13,6 (0,6)
Ríos tributarios del río Cruces				
6 (río Pichoy)	13,2 (0,6)	13,1 (1,0)	40,7 (0,1)	8,1 (0,9)
7 (río Cayumapu)	46,5 (0,3)	48,8 (0,1)	47,9 (0,1)	46,3 (0,8)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios				
8 (río Calle Calle)	15,3 (0,5)	25,5 (0,3)	25,1 (0,1)	11,6 (0,1)

Tabla 4.1.2.13. Comparación interanual de las concentraciones de Zinc en los sedimentos del área de estudio durante abril y julio 2014 y abril 2015 y 2016. Los valores son promedios con desviación estándar en paréntesis.

estaciones	Zinc ($\mu\text{g/g}$)			
	2014		2015	2016
	abril	julio	abril	abril
Eje central del río Cruces (sector límnic)				
1 (sector Ciruelos)	22,6 (0,4)	33,0 (1,8)	23,5 (0,1)	31,4 (2,4)
2 (sector Rucaco)	112,4 (8,1)	68,8 (0,8)	36,2 (0,4)	39,7 (2,3)
Eje central del río Cruces (sector estuarial)				
3 (sector Fuerte San Luis)	83,1 (0,3)	127,0 (0,1)	92,1 (0,3)	82,4 (4,8)
4 (sector Santa Clara)	34,8 (0,3)	34,2 (0,2)	42,0 (0,1)	33,7 (0,9)
5 (sector Punucapa)	56,3 (0,8)	64,5 (1,3)	66,3 (1,8)	31,5 (0,1)
Ríos tributarios del río Cruces				
6 (río Pichoy)	26,3 (1,5)	22,6 (2,3)	57,4 (0,1)	12,6 (0,5)
7 (río Cayumapu)	91,4 (0,8)	89,7 (0,2)	88,9 (0,1)	83,1 (2,5)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios				
8 (río Calle Calle)	52,2 (1,2)	64,7 (1,5)	67,2 (6,6)	37,1 (1,3)

Tabla 4.1.2.14. Comparación interanual de las concentraciones de Plomo en los sedimentos del área de estudio durante abril y julio 2014 y abril 2015 y 2016. Los valores son promedios con desviación estándar en paréntesis. * = No detectado, *i.e.*, bajo el límite de detección del método utilizado.

estaciones	Plomo ($\mu\text{g/g}$)			
	2014		2015	2016
	abril	julio	abril	abril
Eje central del río Cruces (sector límnico)				
1 (sector Ciruelos)	*	*	*	4,6 (0,2)
2 (sector Rucaco)	11,2 (0,3)	6,0 (0,2)	*	4,7 (0,5)
Eje central del río Cruces (sector estuarial)				
3 (sector Fuerte San Luis)	6,6 (0,3)	10,7 (0,6)	12,3 (0,1)	11,0 (0,0)
4 (sector Santa Clara)	*	*	3,7 (0,4)	4,4 (0,1)
5 (sector Punucapa)	8,8 (0,4)	12,1 (0,3)	12,8 (0,1)	4,6 (0,1)
Ríos tributarios del río Cruces				
6 (río Pichoy)	4,2 (0,3)	4,7 (0,3)	9,9 (0,1)	5,1 (0,4)
7 (río Cayumapu)	13,4 (0,2)	13,7 (0,2)	12,2 (0,4)	11,1 (1,3)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios				
8 (río Calle Calle)	5,8 (0,4)	6,6 (0,4)	6,6 (0,4)	4,2 (0,4)

Tabla 4.1.2.15. Comparación interanual de las concentraciones de Cadmio en los sedimentos del área de estudio durante abril y julio 2014 y abril 2015 y 2016. * = No detectado, *i.e.*, bajo el límite de detección del método utilizado.

estaciones	Cadmio ($\mu\text{g/g}$)			
	2014		2015	2016
	abril	julio	abril	abril
Eje central del río Cruces (sector límnico)				
1 (sector Ciruelos)	*	*	*	*
2 (sector Rucaco)	*	*	*	*
Eje central del río Cruces (sector estuarial)				
3 (sector Fuerte San Luis)	*	*	*	*
4 (sector Santa Clara)	*	*	*	*
5 (sector Punucapa)	*	*	*	*
Ríos tributarios del río Cruces				
6 (río Pichoy)	*	*	*	*
7 (río Cayumapu)	*	*	*	*
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios				
8 (río Calle Calle)	*	*	*	*

Tabla 4.1.2.16. Comparación interanual de las concentraciones de Arsénico en los sedimentos del área de estudio durante abril y julio 2014 y abril 2015 y 2016. Los valores son promedios con desviación estándar en paréntesis.

estaciones	Arsénico ($\mu\text{g/g}$)			
	2014		2015	2016
	abril	julio	abril	abril
Eje central del río Cruces (sector límnic)				
1 (sector Ciruelos)	3,8 (0,0)	4,1 (0,2)	3,0 (0,0)	4,0 (0,2)
2 (sector Rucaco)	11,4 (0,1)	4,5 (0,3)	3,6 (0,0)	3,2 (0,0)
Eje central del río Cruces (sector estuarial)				
3 (sector Fuerte San Luis)	10,3 (0,3)	13,3 (0,5)	11,7 (0,5)	1,0 (0,0)
4 (sector Santa Clara)	4,4 (0,2)	4,8 (0,1)	7,2 (1,1)	2,7 (0,1)
5 (sector Punucapa)	10,9 (0,9)	15,2 (0,0)	14,6 (0,4)	5,9 (0,1)
Ríos tributarios del río Cruces				
6 (río Pichoy)	4,2 (0,2)	3,6 (0,1)	9,8 (0,1)	1,9 (0,0)
7 (río Cayumapu)	9,1 (0,2)	10,2 (0,2)	11,2 (0,2)	1,1 (0,2)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios				
8 (río Calle Calle)	4,1 (0,1)	5,1 (0,1)	4,7 (0,4)	3,9 (0,1)

Tabla 4.1.2.17. Comparación interanual de las concentraciones de Mercurio en los sedimentos del área de estudio durante abril y julio 2014 y abril 2015 y 2016. Los valores son promedios con desviación estándar en paréntesis. * = No detectado, *i.e.*, bajo el límite de detección del método utilizado.

estaciones	Mercurio ($\mu\text{g/g}$)			
	2014		2015	2016
	abril	julio	abril	abril
Eje central del río Cruces (sector límnico)				
1 (sector Ciruelos)	0,008 (0,001)	0,008 (0,000)	*	0,016 (0,001)
2 (sector Rucaco)	0,08 (0,008)	0,01 (0,002)	0,04 (0,010)	0,012 (0,001)
Eje central del río Cruces (sector estuarial)				
3 (sector Fuerte San Luis)	0,04 (0,001)	0,06 (0,000)	0,05 (0,001)	0,061 (0,001)
4 (sector Santa Clara)	0,008 (0,001)	0,08 (0,003)	*	0,009 (0,001)
5 (sector Punucapa)	0,04 (0,003)	0,04 (0,001)	*	0,015 (0,001)
Ríos tributarios del río Cruces				
6 (río Pichoy)	0,01 (0,001)	0,002 (0,000)	0,04 (0,004)	0,008 (0,001)
7 (río Cayumapu)	0,07 (0,001)	0,07 (0,000)	0,06 (0,004)	0,086 (0,001)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios				
8 (río Calle Calle)	0,01 (0,002)	0,02 (0,001)	0,01 (0,001)	0,014 (0,002)

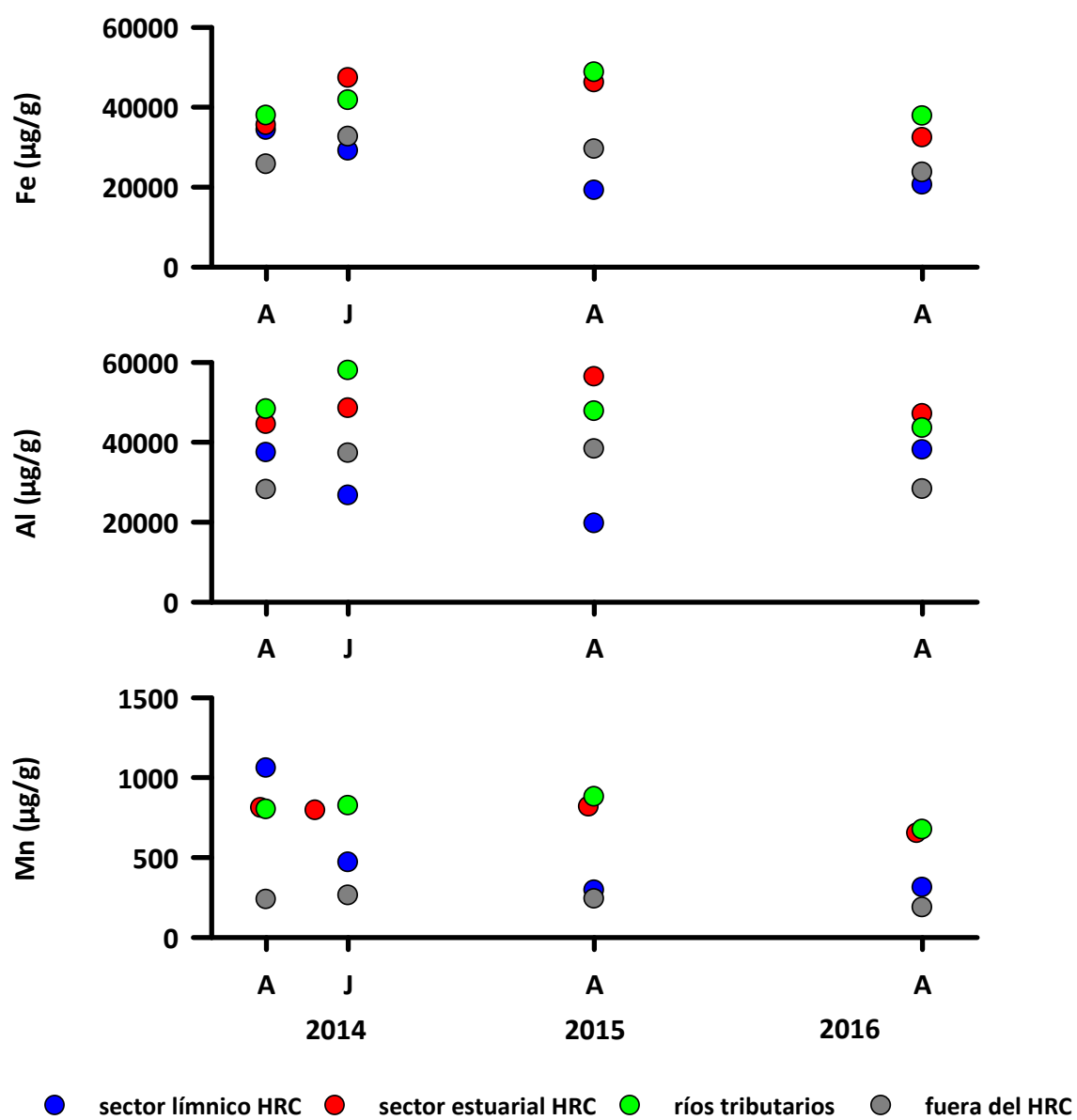


Figura 4.1.2.4. Comparación interanual de la concentración Hierro, Aluminio y Manganeso en los sedimentos del sector lagoon del río Cruces, sector estuarial del río Cruces, ríos tributarios del río Cruces y fuera del humedal del río Cruces.

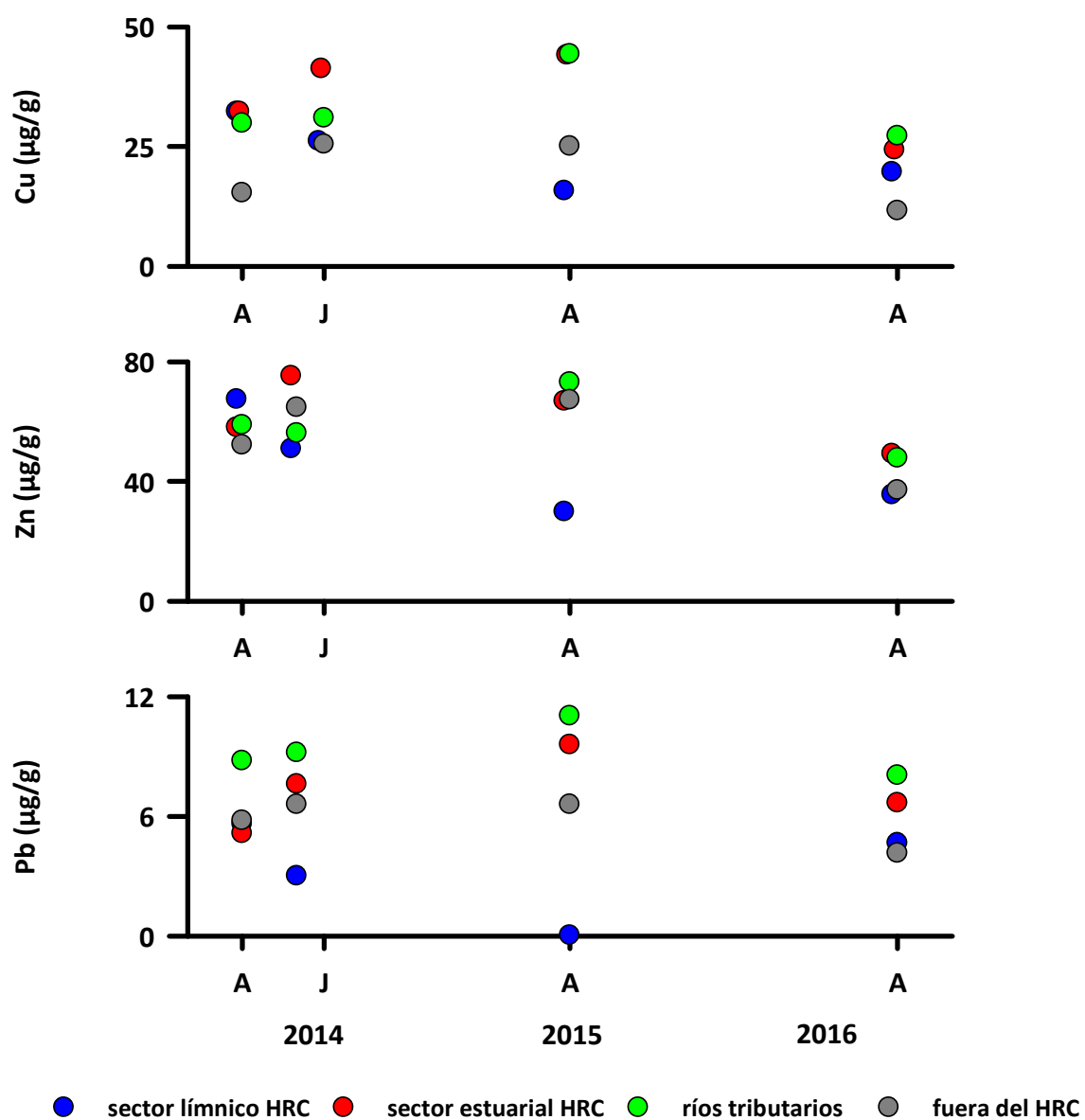


Figura 4.1.2.5. Comparación interanual de la concentración Cobre, Zinc y Plomo en los sedimentos del sector lagoon del río Cruces, sector estuarial del río Cruces, ríos tributarios del río Cruces y fuera del humedal del río Cruces.

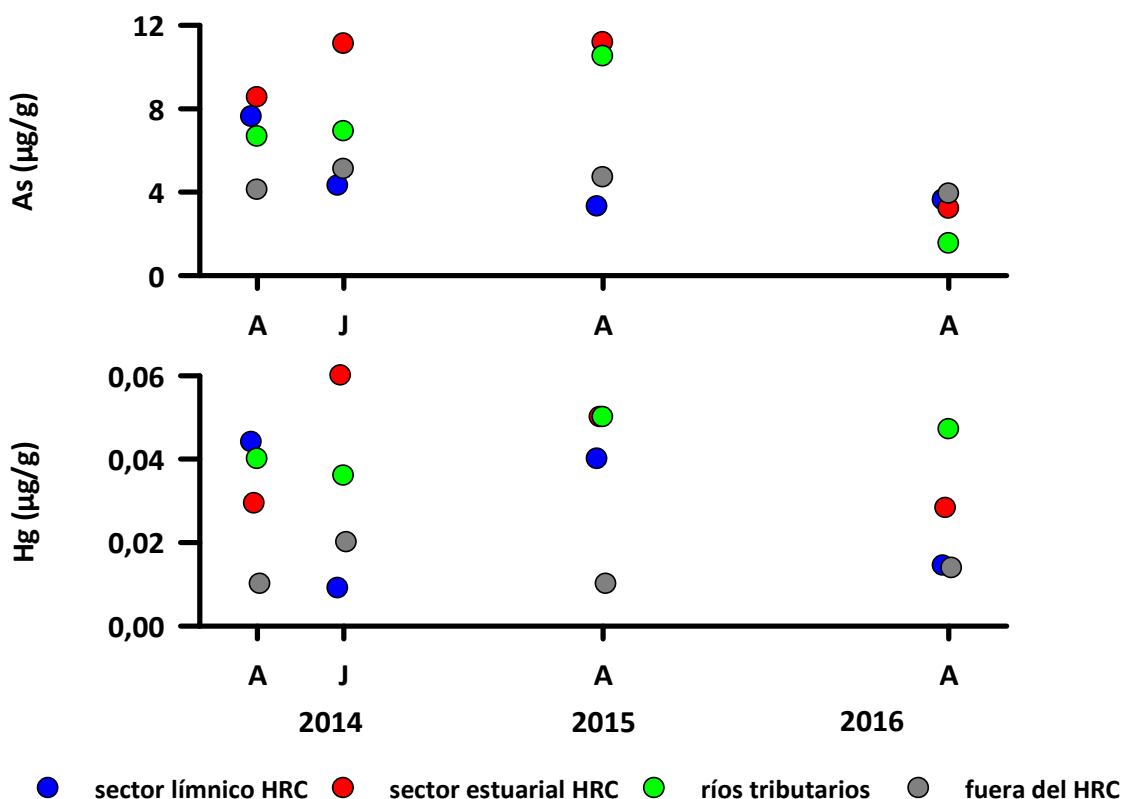


Figura 4.1.2.6. Comparación interanual de la concentración Arsénico y Mercurio en los sedimentos del sector límnico del río Cruces, sector estuarial del río Cruces, ríos tributarios del río Cruces y fuera del humedal del río Cruces.

Análisis estadísticos

Solo se encontró variación significativa entre años en las concentraciones de Arsénico, siendo significativamente más bajas ($p < 0,05$) durante el 2016 que en los años anteriores. Se detectaron variaciones asociadas a diferencias significativas entre sectores del humedal (Tabla 4.1.2.18). Los metales que mostraron diferencias entre sectores fueron el Hierro (Fe), con concentraciones significativamente más altas en los ríos tributarios que en el sector límnico; el Manganeseo (Mn), concentraciones significativamente más bajas en el sector fuera del HRC que en los ríos tributarios y el eje estuarial del río Cruces; y Plomo (Pb), con concentraciones significativamente más altas en los ríos tributarios que en el eje estuarial del río Cruces.

Tabla 4.1.2.18. Resumen de ANDEVA Factorial y Prueba *a posteriori* de Tukey para evaluar diferencias en la concentración de metales pesados en sedimentos registrados en los sedimentos entre los factores principales. Estos son Año de muestreo (2014 – 2015) y Sector (L = sector límnic del río Cruces; EE = eje estuarial y central del río Cruces; T = ríos tributarios del humedal del río Cruces y F = fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios). Los valores de P en negrilla son significativos (<0,05). (*) Datos transformados usando Log₁₀.

Parámetro	Fuente	GL	SC	CM	F	Valor P	Prueba de Tukey
Fe (**)	Año (A)	2	644544184,9	322272092,5	1,252	0,294	
	Sector (S)	3	2266722191,6	755574063,9	2,936	0,042	T > L
	A × S	6	1311360230,0	218560038,3	0,849	0,538	
	Error	52	13383952915,8	257383709,9			
	Total	63	17408208677,7	276320772,7			
Al	Año (A)	2	209886135,0	104943067,5	0,328	0,722	
	Sector (S)	3	2129095434,9	709698478,3	2,219	0,097	
	A × S	6	2811222423,1	468537070,5	1,465	0,208	
	Error	52	16629409951,9	319796345,2			
	Total	63	21704459784,8	344515234,7			
Mn (**)	Año (A)	2	342355,447	171177,724	1,200	0,309	
	Sector (S)	3	1828833,864	609611,288	4,274	0,009	T = EE > F
	A × S	6	462776,581	77129,430	0,541	0,775	
	Error	52	7417019,669	142634,994			
	Total	63	10252794,775	162742,774			
Cu	Año (A)	2	1436,978	718,489	1,852	0,167	
	Sector (S)	3	2670,284	890,095	2,294	0,089	
	A × S	6	1758,017	293,003	0,755	0,608	
	Error	52	20173,461	387,951			
	Total	63	25917,490	411,389			
Zn	Año (A)	2	3032,041	1516,020	1,833	0,170	
	Sector (S)	3	829,718	276,573	0,334	0,801	
	A × S	6	4280,315	713,386	0,862	0,529	
	Error	52	43016,221	827,235			
	Total	63	50619,354	803,482			
Pb (*) (**)	Año (A)	2	0,0843	0,0422	0,320	0,728	
	Sector (S)	3	1,137	0,379	2,876	0,045	T > EE
	A × S	6	1,115	0,186	1,411	0,228	
	Error	52	6,851	0,132			
	Total	63	9,322	0,148			
As (**)	Año (A)	2	192,322	96,161	9,736	<0,001	2014 = 2015 > 2016

	Sector (S)	3	37,607	12,536	1,269	0,295
	A × S	6	232,206	38,701	3,918	0,003
	Error	52	513,620	9,877		
	Total	63	1075,372	17,069		
Hg (**)	Año (A)	2	0,000488	0,000244	0,347	0,708
	Sector (S)	3	0,00571	0,00190	2,708	0,055
	A × S	6	0,00561	0,000935	1,329	0,261
	Error	52	0,0366	0,000703		
	Total	63	0,0485	0,000769		

GL = grados de Libertad; SC = Suma de Cuadrados; CM = Cuadrados medios; F = razón F; P = Valor de Probabilidad de error al rechazar Ho; (*) = Datos transformados a \log_{10} . (**) = Cumple al menos uno de los supuestos de ANDEVA; (***) No cumple supuestos de ANDEVA.

Ácidos grasos y Ácidos resínicos

Las Tablas 4.1.2.19 y 4.1.2.20, muestran los resultados de los análisis tendientes a evaluar las concentraciones de Ácidos grasos y Ácidos resínicos en los sedimentos del área de estudio.

Se detectaron Ácidos Grasos en todas las estaciones de muestreo, con concentraciones considerablemente altas durante abril de 2014 (ca. 52,5 – 533,0 $\mu\text{g/g}$) que en todas las campañas posteriores (0,6 – 64,5 $\mu\text{g/g}$), a la vez que se puede observar una tendencia a disminuir en el tiempo en todos los sectores estudiados (Tabla 4.1.2.19 y Fig. 4.1.2.7)

No se detectaron Ácidos resínicos durante ambas campañas del Programa de Monitoreo Ambiental del HRC, al igual que en ambas campañas del Programa de Diagnóstico Ambiental del HRC 2014-2015 (Tabla 4.1.2.20).

Tabla 4.1.2.19. Comparación interanual de las concentraciones de Ácidos grasos en los sedimentos del área de estudio durante abril y julio 2014 y abril 2015 y 2016. Los valores son promedios con desviación estándar en paréntesis.

estaciones	Ácidos grasos ($\mu\text{g/g}$)			
	2014		2015	2016
	abril	julio	abril	abril
Eje central del río Cruces (sector límnic)				
1 (sector Ciruelos)	52,0 (5,0)	2,0 (0,0)	4,9 (0,5)	0,6 (0,0)
2 (sector Rucaco)	533,0 (28,0)	11,0 (1,0)	6,1 (1,5)	1,5 (0,4)
Eje central del río Cruces (sector estuarial)				
3 (sector Fuerte San Luis)	101,0 (10,0)	25,0 (3,0)	12,7 (0,6)	5,2 (0,3)
4 (sector Santa Clara)	276,0 (36,0)	14,0 (3,0)	7,6 (0,1)	1,1 (0,0)
5 (sector Punucapa)	313,0 (56,0)	6,0 (1,0)	8,5 (1,6)	1,2 (0,3)
Ríos tributarios del río Cruces				
6 (río Pichoy)	216,0 (28,0)	1,0 (0,0)	6,8 (2,1)	0,8 (0,4)
7 (río Cayumapu)	347,0 (10,0)	16,0 (3,0)	64,5 (0,4)	26,0 (3,3)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios				
8 (río Calle Calle)	475,0 (58,0)	8,0 (2,0)	32,4 (2,1)	1,4 (0,3)

Tabla 4.1.2.20. Comparación interanual de las concentraciones de Ácidos resínicos en los sedimentos del área de estudio durante abril y julio 2014 y abril 2015 y 2016. * = No detectado, *i.e.*, bajo el límite de detección del método utilizado.

estaciones	Ácidos resínicos ($\mu\text{g/g}$)			
	2014		2015	2016
	abril	julio	abril	abril
Eje central del río Cruces (sector límnic)				
1 (sector Ciruelos)	*	*	*	*
2 (sector Rucaco)	*	*	*	*
Eje central del río Cruces (sector estuarial)				
3 (sector Fuerte San Luis)	*	*	*	*
4 (sector Santa Clara)	*	*	*	*
5 (sector Punucapa)	*	*	*	*
Ríos tributarios del río Cruces				
6 (río Pichoy)	*	*	*	*
7 (río Cayumapu)	*	*	*	*
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios				
8 (río Calle Calle)	*	*	*	*

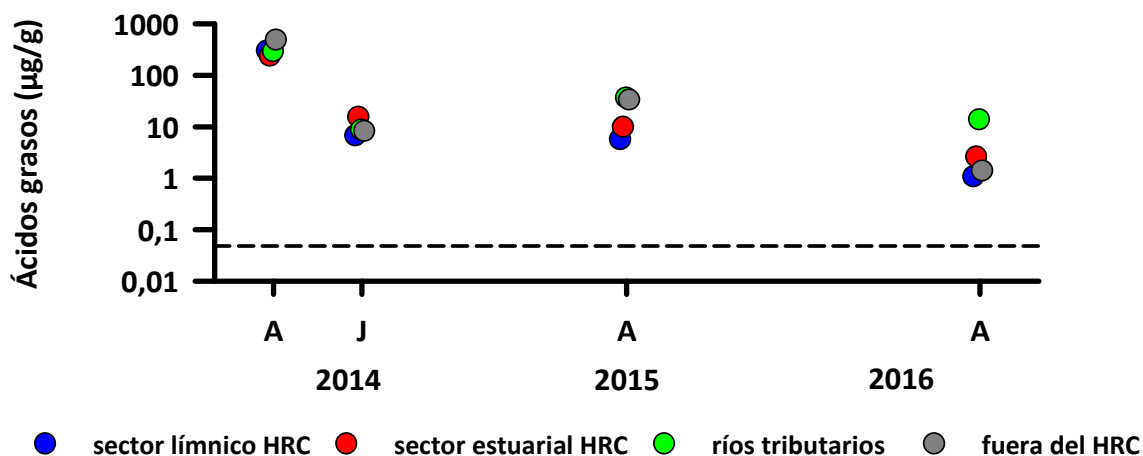


Figura 4.1.2.7. Comparación interanual de la concentración de Ácidos grasos en los sedimentos del sector límnic del río Cruces, sector estuarial del río Cruces, ríos tributarios del río Cruces y fuera del humedal del río Cruces. La línea segmentada indica el límite de detección del método utilizado.

AOX y EOX

La Tabla 4.1.2.21 muestra las concentraciones de AOX en los sedimentos del área de estudio. Durante abril de los años 2015 y 2016, las concentraciones más bajas de estos compuestos se registraron en los sedimentos de las estaciones 1 y 6 (río Cruces, sector Ciruelos y río Pichoy), a la vez que la concentración más alta ($>100 \mu\text{g/g}$) se detectó en los sedimentos de la estación 7 (río Cayumapu, abril 2015 y 2016) (Tabla 4.1.2.21 y Fig. 4.1.2.8). Durante ambas campañas del Programa de Monitoreo Ambiental del HRC, las concentraciones de AOX en los sedimentos se han encontrado dentro del rango (valor máximo y mínimo), obtenido en el Programa de Diagnóstico Ambiental del HRC 2014-2015 (Tabla 4.1.2.21 y Fig.4.1.2.8).

Tabla 4.1.2.21. Comparación interanual de las concentraciones de AOX en los sedimentos del área de estudio durante abril y julio 2014 y abril 2015 y 2016. Los valores son promedios con desviación estándar en paréntesis.

estaciones	AOX ($\mu\text{g/g}$)			
	2014		2015	2016
	abril	julio	abril	abril
Eje central del río Cruces (sector límnico)				
1 (sector Ciruelos)	17,4 (0,8)	22,9 (3,2)	23,6 (3,8)	25,1 (5,8)
2 (sector Rucaco)	174,9 (16,0)	61,9 (0,6)	35,8 (6,1)	33,7 (6,8)
Eje central del río Cruces (sector estuarial)				
3 (sector Fuerte San Luis)	46,6 (6,5)	76,7 (0,6)	67,0 (1,8)	48,5 (2,5)
4 (sector Santa Clara)	33,1 (1,9)	24,2 (0,1)	35,7 (3,3)	25,1 (4,9)
5 (sector Punucapa)	25,1 (1,7)	24,4 (2,7)	60,4 (0,6)	26,0 (3,2)
Ríos tributarios del río Cruces				
6 (río Pichoy)	10,4 (0,9)	8,6 (0,0)	25,9 (3,2)	12,8 (4,1)
7 (río Cayumapu)	67,0 (5,9)	59,2 (2,6)	121,5 (0,1)	87,7 (4,6)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios				
8 (río Calle Calle)	47,2 (2,1)	69,5 (7,6)	64,2 (3,9)	32,2 (2,6)

Durante la campaña de abril del año 2015, no se detectaron EOX en ninguna de las estaciones muestreadas, situación similar a lo detectado durante el Programa de Diagnóstico Ambiental del HRC, sin embargo, durante abril del año 2016, se detectó EOX, en la estación 7 (río Callumapu) en una concentración de 0,13 $\mu\text{g/g}$ (Tabla 4.1.2.22).

Tabla 4.1.2.22. Comparación interanual de las concentraciones de EOX en los sedimentos del área de estudio durante abril y julio 2014 y abril 2015 y 2016. * = No detectado, *i.e.*, bajo el límite de detección del método utilizado.

estaciones	EOX ($\mu\text{g/g}$)			
	2014		2015	2016
	abril	julio	abril	abril
Eje central del río Cruces (sector límnico)				
1 (sector Ciruelos)	*	*	*	*
2 (sector Rucaco)	*	*	*	*
Eje central del río Cruces (sector estuarial)				
3 (sector Fuerte San Luis)	*	*	*	*
4 (sector Santa Clara)	*	*	*	*
5 (sector Punucapa)	*	*	*	*
Ríos tributarios del río Cruces				
6 (río Pichoy)	*	*	*	*
7 (río Cayumapu)	*	*	*	0,13 (0,02)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios				
8 (río Calle Calle)	*	*	*	*

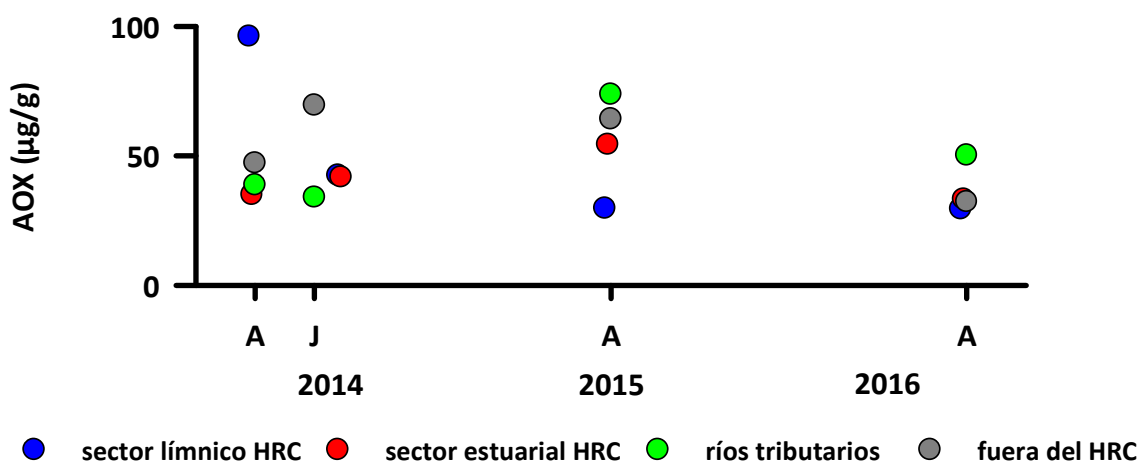


Figura 4.1.2.8. Comparación interanual de la concentración de compuestos orgánico-halogenados adsorbibles en los sedimentos del sector límnic del río Cruces, sector estuarial del río Cruces, ríos tributarios del río Cruces y fuera del humedal del río Cruces.

Análisis estadísticos

Los resultados indican que sólo se detectaron diferencias significativas ($p < 0,05$) al comparar las concentraciones de Ácidos grasos entre años (concentraciones significativamente más bajas durante el año 2016 que los años anteriores). Mientras que no se detectaron diferencias significativas ($p > 0,05$) al comparar las concentraciones de AOX entre años ni entre sectores del HRC.

Tabla 4.1.1.23. Resumen de ANDEVA Factorial y Prueba *a posteriori* de Tukey para evaluar diferencias en las concentraciones de Ácidos grasos y Compuestos Halogenados Adsorbibles registradas en los sedimentos entre los factores principales. Los factores son Año de muestreo (2014-2015-2016) y Sector (L = sector límnico del río Cruces; EE = eje estuarial y central del río Cruces; T = ríos tributarios del humedal del río Cruces y F = fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios). Los valores de P en negrilla son significativos (<0,05) para cada prueba. Las comparaciones a posteriori deben interpretarse con cautela cuando la interacción AxS es significativa.

Parámetro	Fuente	GL	SC	CM	F	Valor P	Prueba de Tukey
Ác. grasos (*)(**)	Año (A)	2	12,951	6,476	14,700	<0,001	2014 = 2015 < 2016
	Sector (S)	3	0,795	0,265	0,602	0,617	
	A × S	6	0,718	0,120	0,272	0,948	
	Error	100	22,906	0,441			
	Total	111	39,060	0,620			
AOX (***)	Año (A)	2	2423,498	1211,749	1,065	0,352	
	Sector (S)	3	410,449	136,816	0,120	0,948	
	A × S	6	11725,017	1954,169	1,717	0,136	
	Error	100	59191,912	1138,306			
	Total	111	74731,152	1186,209			

GL = grados de Libertad; SC = Suma de Cuadrados; CM = Cuadrados medios; F = razón F; P = Valor de Probabilidad de error al rechazar Ho; (*) = Datos transformados a log₁₀. (**) = Cumple al menos uno de los supuestos de ANDEVA; (***) No cumple supuestos de ANDEVA.

Dioxinas, Furanos y Equivalentes Tóxicos

Las Tablas 4.1.2.24, 4.1.2.25 y 4.1.2.26 y la Figura 4.1.2.9 muestran los resultados de los análisis de Dioxinas, Furanos y su expresión en Equivalente Tóxicos en los sedimentos del área de estudio.

El contenido de estos compuestos se expresa como la suma de los congéneres individuales analizados, *i.e.*, 7 dioxinas y 10 furanos. Por otra parte, los Equivalentes tóxicos totales son la suma de los 17 congéneres, multiplicados por el factor equivalente respectivo utilizando los factores equivalentes de peces, según lo sugerido en las directrices establecidas en la Guía Provisoria de Calidad de Sedimentos (ISQG en inglés). Estas fueron propuestas por el Consejo Canadiense de Ministros del Ambiente (CCME en inglés) en el año 2001 y son actualmente utilizadas para definir el riesgo toxicológico de una muestra de sedimento.

En general, se detectaron dioxinas y furanos (Tablas 4.1.2.24, 4.1.2.25 y Fig.4.1.2.9), en todas las muestras de sedimentos con concentraciones en el orden de decenas de ng/g y con valores en equivalentes tóxicos inferiores a 1 pg/g.

Hasta la última campaña (abril 2016) no se ha detectado la presencia de la Dioxina TCDD 2,3,7,8 en los sedimentos de ninguna de las estaciones muestreadas. El patrón de distribución de los 17 congéneres está dominado por la HxCDD y HxCDF (moléculas con 6 sustituciones de átomos de hidrógeno por átomos de cloro), con concentraciones cercanas al límite de detección analítico.

De acuerdo a las últimas dos campañas realizadas (abril del año 2015 y 2016), se observa un notorio aumento en las concentraciones de Dioxinas, Furanos y sus Equivalentes tóxicos, sobre todo en el sector estuarial (específicamente en la estación 3, sector Fuerte San Luis), aun cuando no es estadísticamente significativa.

Tabla 4.1.2.24. Comparación interanual de las concentraciones de Dioxinas en los sedimentos del área de estudio durante abril y julio 2014 y abril 2015. Los valores son promedios con desviación estándar en paréntesis.

estaciones	Dioxinas (ng/g)			
	2014		2015	2016
	abril	julio	abril	abril
Eje central del río Cruces (sector límnic)				
1 (sector Ciruelos)	0,003 (0,002)	0,002 (0,002)	0,012 (0,015)	0,004 (0,000)
2 (sector Rucaco)	0,081 (0,006)	0,019 (0,000)	0,004 (0,001)	0,008 (0,000)
Eje central del río Cruces (sector estuarial)				
3 (sector Fuerte San Luis)	0,197 (0,016)	0,125 (0,007)	0,181 (0,009)	0,397 (0,049)
4 (sector Santa Clara)	0,004 (0,001)	0,011 (0,001)	0,004 (0,001)	0,002 (0,000)
5 (sector Punucapa)	0,026 (0,001)	0,014 (0,001)	0,010 (0,001)	0,002 (0,000)
Ríos tributarios del río Cruces				
6 (río Pichoy)	0,006 (0,001)	0,003 (0,001)	0,008 (0,000)	0,002 (0,000)
7 (río Cayumapu)	0,077 (0,001)	0,016 (0,001)	0,004 (0,000)	0,083 (0,004)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios				
8 (río Calle Calle)	0,002 (0,002)	0,012 (0,001)	0,013 (0,002)	0,003 (0,001)

Tabla 4.1.2.25. Comparación interanual de las concentraciones de Furanos en los sedimentos del área de estudio durante abril y julio 2014 y abril 2015 y 2016. Los valores son promedios con desviación estándar en paréntesis.

estaciones	Furanos (ng/g)	
	2014	
	abril	julio
Eje central del río Cruces (sector límnic)		
1 (sector Ciruelos)	0,0003 (0,0001)	0,0003 (0,0002)
2 (sector Rucaco)	0,0079 (0,0007)	0,0019 (0,0004)
Eje central del río Cruces (sector estuarial)		
3 (sector Fuerte San Luis)	0,0170 (0,0003)	0,0103 (0,0002)
4 (sector Santa Clara)	0,0006 (0,0002)	0,0007 (0,0000)
5 (sector Punucapa)	0,0004 (0,0000)	0,0004 (0,0000)
Ríos tributarios del río Cruces		
6 (río Pichoy)	0,0004 (0,0001)	0,0001 (0,0001)
7 (río Cayumapu)	0,0025 (0,0004)	0,0011 (0,0000)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios		
8 (río Calle Calle)	0,0002 (0,0002)	0,0005 (0,0000)

Continuación **Tabla 4.1.2.25**

estaciones	Furanos (ng/g)	
	2015	2016
	abril	abril
Eje central del río Cruces (sector límnic)		
1 (sector Ciruelos)	0,0014 (0,0006)	0,0003 (0,0001)
2 (sector Rucaco)	0,0009 (0,0001)	0,0006 (0,0001)
Eje central del río Cruces (sector estuarial)		
3 (sector Fuerte San Luis)	0,0150 (0,0004)	0,0246 (0,0033)
4 (sector Santa Clara)	0,0004 (0,0000)	0,0001 (0,0001)
5 (sector Punucapa)	0,0003 (0,0000)	0,0002 (0,0002)
Ríos tributarios del río Cruces		
6 (río Pichoy)	0,0009 (0,0000)	0,0002 (0,0003)
7 (río Cayumapu)	0,0018 (0,0020)	0,0066 (0,0003)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios		
8 (río Calle Calle)	0,0007 (0,0001)	0,0006 (0,0006)

Tabla 4.1.2.26. Comparación interanual de las concentraciones de Equivalentes Tóxicos (EQTs) en los sedimentos del área de estudio durante abril y julio 2014 y abril 2015 y 2016. Los valores son promedios con desviación estándar en paréntesis.

estaciones	EQTs (ng/g)	
	2014	
	abril	julio
Eje central del río Cruces (sector límnic)		
1 (sector Ciruelos)	0,00002 (0,00000)	0,00006 (0,00008)
2 (sector Rucaco)	0,00119 (0,00107)	0,00016 (0,00008)
Eje central del río Cruces (sector estuarial)		
3 (sector Fuerte San Luis)	0,00087 (0,00009)	0,00051 (0,00002)
4 (sector Santa Clara)	0,00002 (0,00000)	0,00031 (0,00035)
5 (sector Punucapa)	0,00011 (0,00011)	0,00004 (0,00000)
Ríos tributarios del río Cruces		
6 (río Pichoy)	0,00003 (0,00002)	0,00000 (0,00000)
7 (río Cayumapu)	0,00048 (0,00003)	0,00017 (0,00008)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios		
8 (río Calle Calle)	0,00001 (0,00001)	0,00002 (0,00000)

Continuación **Tabla 4.1.2.26**

estaciones	EQTs (ng/g)	
	2015	2016
	abril	abril
Eje central del río Cruces (sector límnic)		
1 (sector Ciruelos)	0,00007 (0,00004)	0,00001 (0,00000)
2 (sector Rucaco)	0,00002 (0,00000)	0,00001 (0,00000)
Eje central del río Cruces (sector estuarial)		
3 (sector Fuerte San Luis)	0,00047 (0,00005)	0,00096 (0,00005)
4 (sector Santa Clara)	0,00001 (0,00000)	0,00000 (0,00000)
5 (sector Punucapa)	0,00004 (0,00000)	0,00000 (0,00000)
Ríos tributarios del río Cruces		
6 (río Pichoy)	0,00005 (0,00000)	0,00001 (0,00002)
7 (río Cayumapu)	0,00002 (0,00001)	0,00050 (0,00008)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios		
8 (río Calle Calle)	0,00002 (0,00000)	0,00008 (0,00010)

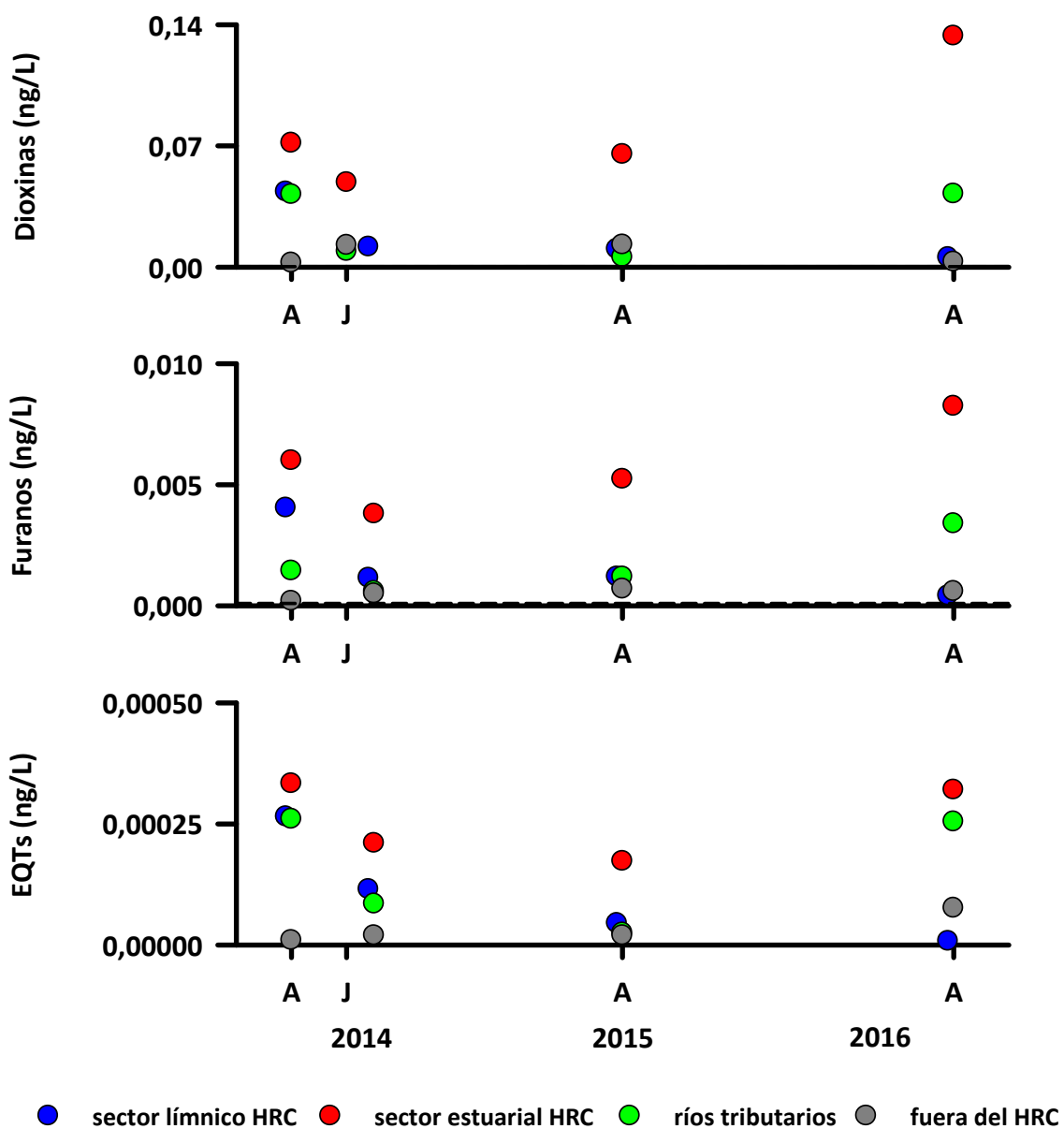


Figura 4.1.2.9. Comparación interanual de la concentración de Dioxinas, Furanos y Equivalentes Tóxicos en los sedimentos del sector límnico del río Cruces, sector estuarial del río Cruces, ríos tributarios del río Cruces y fuera del humedal del río Cruces.

Análisis estadísticos

Aun cuando se observa un aumento en las concentraciones de Dioxinas, Furanos y sus EQTs, no se registraron diferencias temporales o espaciales en las concentraciones detectadas en los sedimentos del área de estudio (Tabla 4.1.2.27). Dada esta homogeneidad en la variación de estos compuestos, no se realizaron evaluaciones posteriores.

Tabla 4.1.2.27. Resumen de ANDEVA Factorial y Prueba *a posteriori* de Tukey para evaluar diferencias en la concentración de Dioxinas, Furanos y EQT en sedimentos registrados en los sedimentos entre los factores principales. Estos son Año de muestreo (2014 – 2015) y Sector (L = sector límnic del río Cruces; EE = eje estuarial y central del río Cruces; T = ríos tributarios del humedal del río Cruces y F = fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios). Los valores de P en negrilla son significativos (<0,05). (*) Datos transformados usando Log₁₀.

Parámetro	Fuente	GL	SC	CM	F	Valor P
Dioxinas (*)	Año (A)	1	0,1832	0,0681	0,17	0,685
	Sector (S)	3	2,6806	0,8257	2,02	0,126
	A × S	3	0,5006	0,1669	0,41	0,748
	Error	40	16,3389	0,4085		
	Total	47	19,7034			
Furanos (*)	Año (A)	1	0,0058	0,0304	0,08	0,777
	Sector (S)	3	1,3764	0,3282	0,88	0,459
	A × S	3	0,3025	0,1008	0,27	0,846
	Error	38	14,1399	0,3721		
	Total	45	15,8246			
EQT (*)	Año (A)	1	0,954	0,6587	1,47	0,232
	Sector (S)	3	3,3702	0,9479	2,12	0,113
	A × S	3	0,1241	0,0414	0,09	0,964
	Error	39	17,4457	0,4473		
	Total	46	21,894			

4.1.2.4. Análisis comparativos en relación a calidad de sedimentos

Debido a la inexistencia de normativas de calidad ambiental para sedimentos en Chile, los resultados de este Programa de Monitoreo se comparan con datos tomados de la literatura especializada y con los resultados del Programa de Diagnóstico Ambiental 2014.

Adicionalmente, se utilizan en esta sección los resultados de metales pesados y compuestos orgánicos (Ácidos grasos y resínicos, AOX, EOX, Dioxinas y Furanos) obtenidos desde las muestras estratificadas de sedimentos, durante noviembre de 2014 (Estudio Hidrografía, Programa de Diagnóstico Ambiental del HRC). Estos resultados permiten obtener los niveles basales locales anteriores al año 2004, año en que se originaron los cambios ambientales en el humedal del río Cruces y sus ríos tributarios.

Metales pesados

Muchos de los compuestos y elementos que ingresan a un cuerpo de agua continental son retenidos en los sedimentos que se depositan en el fondo del cauce. Estos depósitos son de gran valor científico para el estudio de estos ecosistemas, debido a que en ellos se conserva un registro histórico del tipo de sustancia y su abundancia. La concentración de Metales pesados en los sedimentos tiene estrecha relación con el tamaño de las partículas que constituyen el sedimento (*e.g.*, limo, arcilla y arena) y con la cantidad de materia orgánica sedimentada, lo que afecta al equilibrio ecológico y biogeoquímico del sistema. Estos compuestos y elementos acumulados en los sedimentos, pueden posteriormente actuar como fuentes de compuestos de los ecosistemas, dependiendo de la tasa de depositación y degradación, además del pH y potencial Redox presente, entre otros factores (Acosta *et al.*, 2002).

Los sedimentos de los estuarios y ríos están conformados principalmente, por la fracción sedimentable orgánica y mineral de los sólidos suspendidos, y por los desechos

celulares de la actividad bacteriana producidos por la oxidación de compuestos orgánicos biodegradables que ingresan al cauce por aportes naturales y antropogénicos (Bohn *et al.*, 2001). Consecuentemente, el aumento de caudal y cambios en la dinámica fluvial de los cuerpos de agua superficial pueden afectar drásticamente la configuración del lecho de estos cuerpos acuáticos, así como la distribución y composición del sedimento.

Durante el desarrollo de este Programa de Monitoreo, los metales pesados en los sedimentos presentaron el siguiente patrón en términos de concentración: Aluminio > Hierro > Manganeso > Zinc > Cobre > Plomo > Arsénico > Mercurio > Cadmio. El hecho de que Aluminio, Hierro y Manganeso sean los metales más abundantes en los sedimentos del río Cruces y sus ríos tributarios, sugiere un origen común para los mismos; en la superficie del suelo estos metales se acumulan en forma de los siguientes agregados: i) limonita (agregado de óxidos e hidróxidos de Hierro), ii) bauxita (agregado de óxidos e hidróxidos de Aluminio); y iii) "wad" (óxidos e hidróxidos de Manganeso) (Otero *et al.*, 2005). A medida que el agua lluvia (pH < 6) se filtra por los suelos (percolación) y arrastra estos minerales (óxidos e hidróxidos), estos se disuelven (lixiviado) transformándose en soluciones o material particulado fino, los cuales se depositan en el sedimento de los cauces hídricos, aportando una señal de la corteza terrestre a la matriz sedimentaria.

En promedio, Arsénico, Mercurio y Cadmio son los metales menos abundantes de los sedimentos del área de estudio. Estos tres metales pesados son considerados los de mayor preocupación debido a su alta toxicidad, persistencia, bioacumulación y biomagnificación en la biota y cadena trófica. La principal fuente natural de estos metales es el vulcanismo y la erosión de los suelos, procesos que aportan estos elementos a los sistemas continentales. En este estudio, el Cadmio no fue detectado en ninguna de las estaciones de muestreo, a la vez que las concentraciones de Mercurio se encuentran para todas las estaciones bajo el rango informado para suelos continentales por Chester (2000). El Arsénico presenta un rango de 1,6 a 6,0 ug/g para suelos continentales (*sensu*, Chester, 2000; Tratado de Geoquímica), lo que evidencia que los sedimentos de todas las

estaciones evaluadas durante el año 2016 en el río Cruces presentan concentraciones (rango 1,6 a 5,9 ug/g) dentro de las informadas en las referencias, por lo cual no se pueden establecer un enriquecimiento de este metal para la zona de estudio.

Los efectos adversos producidos por sedimentos contaminados sobre los organismos acuáticos pueden ser evaluados, a modo de referencia, mediante la Guía de Calidad de Sedimentos de Canadá (SQG) basada en los estudios de Long *et al.* (1999) y MacDonald *et al.* (2000). La SQG establece valores de referencia denominados efecto de rango bajo (ERL) y efecto de rango medio (ERM), de los cuales se derivan tres categorías de efectos biológicos adversos: raramente observados (concentración < ERL), ocasionalmente observados (concentración entre ERL y ERM) y frecuentemente observados (concentración > ERM). La Tabla 4.1.2.28 incorpora los valores de ERL y ERM; según esta clasificación, el contenido de Hierro, Aluminio, Manganeso, Zinc, Cobre, Plomo, Arsénico, Cadmio y Mercurio raramente generarían efectos adversos en los organismos. Sin embargo, es necesario mirar con precaución estas comparaciones, ya que la Guía de Calidad de Sedimentos de Canadá se refiere a sedimentos cuyo origen y dinámica pueden ser diferentes a los del área estudiada en este Programa de Diagnóstico, lo que puede invalidar la comparación anteriormente mencionada.

Tabla 4.1.2.28. Resultados de análisis comparativos de calidad de sedimentos del año 2016. L = sector límnic, EE = eje estuarial del río Cruces, T = ríos tributarios del humedal.

parámetros	unidad	Programa de Monitoreo 2016				criterios de calidad de los sedimentos (Long et al., 1995)		rango		referencias	
		L	EC	T	río Calle Calle	ERL	ERM	Min	Max		
pH		6,7	6,7	6,5	6,5						
P. Redox	mV	43,2	-63,8	-25,5	-108,9						
MOT	%	6	6,4	9,1	9,6						
COT	%	0,6	1,4	3,1	0,3	-	-	0,1	5,4	Nassm Malik <i>et al.</i> , 2014	
metales disueltos	Fe	µg/g	20485	32297	37757	23642	-	-	40000	41700	Chester, 2000 / Tratado Geoquímica
	Al	µg/g	38060	47019	43491	28192	-	-	71000	78300	Chester, 2000 / Tratado Geoquímica
	Mn	µg/g	311	650	673	186	-	-	7700	10000	Chester, 2000 / Tratado Geoquímica
	Cu	µg/g	20	24	27	12	34	270	30	39	Chester, 2000 / Tratado Geoquímica
	Zn	µg/g	36	49	48	37	150	410	67	90	Chester, 2000 / Tratado Geoquímica
	Pb	µg/g	4,671	7	8	4	47	218	17	35	Chester, 2000 / Tratado Geoquímica
	Cd	µg/g	BLD	BLD	BLD	BLD	1,2	9,6	0,1	0,35	Chester, 2000 / Tratado Geoquímica
	As	µg/g	3,6	3,2	1,5	3,9	8,2	70	1,6	6	Chester, 2000 / Tratado Geoquímica
	Hg	µg/g	0,01	0,03	0,05	0,01	0,15	0,71	-	0,08	Tratado Geoquímica
Comp. orgánicos	Ac. Grasos	µg/g	1,0	2,5	13,4	1,4	-	-	9,9	29,7	Brewer <i>et al</i> 1998
	Ac. Resínicos	µg/g	BLD	BLD	BLD	BLD	-	-	0,24	0,79	Brewer <i>et al</i> 1998
	AOX	µg/g	29,4	33,2	50,2	32,2	-	-	5,6	231,4	Palm & Lammi, 1995
	EOX	µg/g	BLD	BLD	0,125	BLD	-	-	0,25	70,62	Palm & Lammi, 1995
	Dioxinas	ng/g	0,0055	0,1336	0,0424	0,0030	-	-	0,00005	3,44	National DioxinsProgram, 2004
	Furanos	ng/g	0,0004	0,0083	0,0034	0,0006	-	-	0,00006	0,51	National DioxinsProgram, 2004
	EQTs	ng/g	0,00001	0,00032	0,00025	0,00008	-	-	0,00004	0,03	National DioxinsProgram, 2004

Índices de Calidad de los sedimentos

Para establecer la calidad de los sedimentos y obtener una visión amplia de del valor ambiental que tienen las concentraciones de metales obtenida desde la matriz sedimentaria, se ha comparado los resultados del muestreo 2016 con valores de referencia pre-industriales a nivel local, tal como ha sido descrito en (Chandía & Salamanca, 2012), para lo cual se realizaron los cálculos de índices. En este análisis se utilizaron las concentraciones de metales pesados y compuestos orgánicos (Ácidos Grasos y Resínicos, AOX, EOX, Dioxinas y Furanos) obtenida desde una muestra estratificada desde los sedimentos del río Cruces, en un sitio dentro y fuera del HRC (sectores Fuerte San Luis & San Martín y Angachilla, respectivamente), durante noviembre de 2014 (Programa de Diagnóstico Ambiental del HRC).

Los valores referenciales (“background”) fueron obtenidos del corte más profundo de 2 testigos (cores o núcleos) recolectados desde el sector del eje central del río Cruces (C-1: 14 cm de sedimento) y del sector Angachilla o fuera del humedal (A-1: 24 cm de sedimento), respectivamente, durante noviembre de 2014. Las muestras fueron tratadas químicamente al igual que el resto de las muestras de sedimentos obtenidas en el Programa de Diagnóstico (abril y julio de 2014) y Monitoreo (abril de 2015 y 2016) del río Cruces. Los sedimentos de la base de estos corer (24 y 14 cm) muestran características propias del suelo vegetal previo al terremoto del año 1960 que afectó a la zona de Valdivia, lo que permite establecer que estos estratos son representativos de las concentraciones de elementos y compuestos químicos existentes en ese entonces.

Factor de enriquecimiento (EF)

Este índice permite evaluar el significado de la información de metales en sedimentos obteniendo de un cálculo el factor de enriquecimiento el cual se utiliza para evaluar el origen de los Metales pesados en los sedimentos.

$$EF = (Me/Al)_s / (Me/Al)_c$$

Donde, $(Me)_s$ es la concentración del metal en una muestra (s); $(Al)_s$ es la concentración de *Aluminio*, $(Me)_c$ es la concentración de referencia del metal y $(Al)_c$ es la concentración de referencia de *Al*. Si el valor del EF varía entre 0,5 y 1,5, esto sugiere que los metales trazas serían de origen natural (Zhang & Liu, 2002).

$EF = >1$, enriquecimiento promedio.

$EF = <1$, metal relativamente empobrecido respecto a la referencia (procesos de transformación físico/química).

$EF = 1$, concentración igual a la referencia.

Los resultados obtenidos del cálculo de los factores de enriquecimiento informados en la Tabla 4.1.2.29 muestran que la mayoría de las estaciones evaluadas (> 90% de las muestras), presentan condiciones naturales, es decir, no se observa un enriquecimiento de metales. El rango absoluto de los factores de enriquecimiento obtenido varió entre 0,0 a 1,7 (Tabla 4.1.2.29), sólo 3 de las 128 muestras analizadas para los metales en sedimentos presentaron un valor de enriquecimiento mayor a 1,5 (considerado de origen natural, según Zhang & Liu (2002), respecto de los valores referenciales utilizados, lo que indica que los sedimentos presentan condiciones normales y totalmente comparable con los valores referenciales obtenidos desde la base de los testigos usados como referencia.

Tabla 4.1.2.29. Factores de Enriquecimiento (FE) en los sedimentos durante la campaña de abril 2016; Programa de Monitoreo, i= réplica 1; ii= réplica 2.

estación	FE	Al	As	Cu	Fe	Hg	Mn	Pb	Zn
1	<i>i</i>	0,7	0,7	0,5	0,5	0,4	0,5	0,7	0,6
	<i>ii</i>	0,6	0,8	0,6	0,6	0,4	0,7	0,8	0,7
2	<i>i</i>	0,6	0,6	0,5	0,7	0,3	0,9	0,8	0,8
	<i>ii</i>	0,6	0,6	0,6	0,7	0,3	1,0	0,9	0,9
3	<i>i</i>	1,2	0,1	0,7	0,8	0,8	1,2	1,0	1,0
	<i>ii</i>	1,2	0,1	0,6	0,8	0,8	1,2	1,0	0,9
4	<i>i</i>	0,7	0,5	0,4	0,6	0,2	1,2	0,7	0,7
	<i>ii</i>	0,6	0,6	0,4	0,7	0,3	1,4	0,9	0,8
5	<i>i</i>	0,6	1,3	0,4	0,9	0,4	1,3	0,9	0,7
	<i>ii</i>	0,6	1,2	0,4	0,8	0,4	1,3	0,9	0,7
6	<i>i</i>	0,4	0,7	0,4	0,8	0,4	1,6	1,7	0,5
	<i>ii</i>	0,4	0,6	0,4	0,8	0,3	1,3	1,4	0,5
7	<i>i</i>	1,1	0,1	0,7	1,1	1,2	1,5	1,2	1,1
	<i>ii</i>	1,1	0,1	0,7	1,0	1,1	1,3	1,0	1,0
8	<i>i</i>	0,5	1,1	0,4	1,0	0,5	0,6	1,0	1,1
	<i>ii</i>	0,5	1,0	0,4	0,9	0,4	0,6	1,0	1,0

Índice de Geoacumulación (I_{geo})

Otro criterio para evaluar el grado de contaminación es el Índice de Geoacumulación (I_{geo}) propuesto por Müller (1979), el cual compara concentraciones actuales y pre-industriales de metales en sedimentos.

$$I_{geo} = \log_2 \left(\frac{C_n}{1.5B_n} \right)$$

Donde C_n es la concentración medida de un metal dado en los sedimentos y B_n es la concentración de referencia del metal (n). El factor 1.5 es el factor de corrección de la matriz de referencia debido a los efectos litogénicos. Para la evaluación llevada a cabo en este estudio, se utilizaron las clases de contaminación propuestas por Müller (1981).

< 0 : no contaminado

0 - 1: no contaminado a levemente contaminado

1 - 2: moderadamente contaminado

2 - 3: contaminado

3 - 4: muy contaminado

4 - 5: muy fuertemente contaminado

> 5 : totalmente contaminado

Los resultados obtenidos del cálculo del Índice de geoacumulación muestran que más del 99% de las determinaciones, se encuentra en el rango considerado no contaminado, y sólo 1 de las 128 muestras se pueden clasificar en el rango de no contaminado a levemente contaminado con un I_{geo} de 0,1, valor muy cercano al nivel de no contaminado (Tabla 4.1.2.30). El parámetro que está en esta categoría es el Manganeso en la estación 7 para una de las 2 muestras; no obstante, no se puede establecer ningún patrón temporal o espacial, ya que esta muestra presenta un Índice de geoacumulación muy cercano al límite inferior que separa las categorías, lo que puede estar más asociado a la variabilidad propia de las muestras extraídas desde un sistema natural muy dinámico, tal cual es el sistema del río cruces.

Tabla 4.1.2.30. Índice de Geo acumulación (I_{geo}) en los sedimentos durante la campaña de abril 2016; Programa de Monitoreo, i= réplica 1; ii= réplica 2.

estación	I_{geo}	Al	As	Cu	Fe	Hg	Mn	Pb	Zn
1	i	-1,0	-1,6	-2,1	-2,1	-5,0	-2,0	-1,5	-1,9
	ii	-1,3	-1,5	-2,0	-2,1	-5,2	-1,9	-1,6	-1,7
2	i	-1,2	-1,9	-2,3	-1,7	-5,2	-1,4	-1,6	-1,5
	ii	-1,3	-1,9	-2,1	-1,8	-5,2	-1,3	-1,4	-1,4
3	i	-0,3	-3,5	-0,9	-0,7	-4,3	0,0	-0,3	-0,3
	ii	-0,3	-3,6	-1,0	-0,7	-4,3	-0,1	-0,3	-0,5
4	i	-1,1	-2,2	-2,6	-1,8	-5,0	-0,8	-1,6	-1,7
	ii	-1,4	-2,1	-2,8	-1,9	-5,3	-0,9	-1,6	-1,7
5	i	-1,4	-1,0	-2,6	-1,5	-5,3	-1,0	-1,5	-1,8
	ii	-1,3	-1,1	-2,7	-1,6	-5,2	-0,9	-1,5	-1,8
6	i	-2,1	-2,6	-3,5	-2,4	-6,0	-1,4	-1,3	-3,1
	ii	-2,0	-2,6	-3,3	-2,3	-5,9	-1,5	-1,5	-3,1
7	i	-0,4	-3,6	-0,9	-0,3	-4,4	0,1	-0,1	-0,4
	ii	-0,4	-3,3	-0,9	-0,4	-4,3	0,0	-0,4	-0,4
8	i	-1,7	-1,6	-2,9	-1,8	-5,6	-2,4	-1,8	-1,6
	ii	-1,6	-1,6	-2,9	-1,7	-5,5	-2,3	-1,6	-1,5

Índice de carga de contaminación (PLI)

Para comparar el contenido total de metales en los diferentes sitios de muestreo, se utilizó el índice de carga de contaminación por metales (Tomlinson *et al.*, 1980), obtenido por la siguiente ecuación:

$$MPI = (Cf_1 \times Cf_2 \dots Cf_n)^{1/n}$$

Donde n es el número de metales (siete en el presente estudio) y Cf_n es el factor de contaminación. El factor de contaminación puede ser calculado desde la siguiente relación:

$$Cfn = \frac{\text{Concentración de metal en sedimentos}}{\text{Nivel de referencia del metal}}$$

PLI = < 1: ausencia de contaminantes

PLI = 1: contaminación transitoria

PLI = > 1: contaminado

Los niveles siguientes (2, 3,..., 10) indican el deterioro progresivo de los sedimentos.

Los resultados obtenidos del cálculo del Índice de carga de contaminación muestran que todas las estaciones tienen un valor inferior a 1 (Tabla 4.1.2.31.), lo que, de acuerdo a la categorización del Índice de Carga de Contaminación, permite establecer la ausencia de contaminación por metales pesados en los sedimentos del área de estudio.

Tabla 4.1.2.31. Índice de Carga de Contaminación (PLI) en los sedimentos; Programa de Monitoreo HRC 2016. i= réplica 1; ii= réplica 2.

Estación	Réplica	PLI
1	<i>i</i>	0,42
	<i>ii</i>	0,44
2	<i>i</i>	0,44
	<i>ii</i>	0,46
3	<i>i</i>	0,88
	<i>ii</i>	0,85
4	<i>i</i>	0,42
	<i>ii</i>	0,40
5	<i>i</i>	0,49
	<i>ii</i>	0,48
6	<i>i</i>	0,28
	<i>ii</i>	0,28
7	<i>i</i>	0,95
	<i>ii</i>	0,94
8	<i>i</i>	0,38
	<i>ii</i>	0,39

Ácidos Grasos

Las concentraciones registradas en los sedimentos durante abril 2016 son muy variables entre los sectores de muestreo Tabla 4.1.2.19, donde el mayor valor registrado se obtuvo en la estación 7 (río Cayumapu) con una concentración de 26,0 µg/g y la menor concentración obtenida fue de 0,6 µg/g para la estación 1 (sector Los Ciruelos). A pesar de esta variabilidad, los resultados son muy similares a los obtenidos en abril 2014 y 2015, pero menores en casi dos órdenes de magnitud comparado con julio 2014 y dentro del mismo orden de magnitud que los resultados de 2015. Los resultados obtenidos en abril de 2016, muestran que el sector de los ríos tributarios y eje central presentan la mayor concentración por sectores (13,4 y 2,5 µg/g, respectivamente), a la vez que el sector Límnico (L) presentó la menor concentración (1,0 µg/g). Los valores obtenidos en abril 2016 están dentro de rango informado para sedimentos lacustres por Brewer *et al.* (1998).

AOX

Las concentraciones de AOX presentaron diferencias entre estaciones, debido principalmente a que las mayores concentraciones se registraron en la estación 3 ubicada en el sector Fuerte San Luis, ubicado en el eje central del río Cruces. La Tabla 4.1.2.18, presenta los resultados promedio por sector muestreado en este monitoreo y el rango de concentración para AOX en sedimentos informados por Palm & Lammi (1995). De esta comparación se desprende que todos los sectores evaluados están dentro del rango de concentración de la referencia utilizada y de lo cual se desprende que no existe un proceso de acumulación de los AOX en los sedimentos evaluados.

Dioxinas, Furanos y EQTs

En esta campaña no se detectó la presencia del congénere de mayor toxicidad, es decir, la TCDD en los sedimentos de las estaciones muestreadas durante el 2016, por lo que la toxicidad es baja referida a los EQTs. El patrón de distribución de los 17 congéneres está dominado por la HxCDD y HxCDF (moléculas con 6 sustituciones de cloro), con concentraciones cercanas al límite de detección analítico. Los rangos informados para

campana de monitoreo 2016 es de N.D. a 0,3970 ng/g durante abril 2015, Tabla 4.1.2.24. En general, se detectaron dioxinas y furanos, en todas las muestras de sedimentos con concentraciones en el orden de decenas de ng/g y con valores en equivalentes tóxicos menores a 0,001 ng/g. La Tabla 4.1.2.28, muestra los resultados promedio por sector para el monitoreo 2016 y el rango de concentración para Dioxinas y Furanos en sedimentos informados por la National Dioxins Program (2004) de Australia. De esta comparación se desprende que todos los sectores evaluados están dentro del rango de concentración para la referencia utilizada.

Factores de Enriquecimiento de Compuestos Orgánicos

Utilizando las concentraciones locales de referencia de los sedimentos del río Cruces, obtenidas desde la base de los dos testigos muestreados en noviembre 2014, en el contexto del Programa de Diagnóstico Ambiental del HRC, se procedió al cálculo de los factores de enriquecimiento para los compuestos orgánicos complejos (*i.e.*, Ácidos grasos, Ácidos resínicos, Compuestos órgano-halogenados adsorbidos (AOX), Dioxinas y Furanos) en los sedimentos del área de estudio (Tabla 4.1.2.31). Esos resultados del monitoreo 2016, muestran que Ácidos Resínicos presentan concentraciones bajo el límite de detección, igual condición que los resultados obtenidos en el programa de monitoreo 2015, para sedimentos superficiales, por lo cual no es posible calcular los enriquecimientos de estos parámetros.

El Sector Límnico (L), conformado por las estaciones 1 y 2 (sector Ciruelos y Rucaco), no presenta enriquecimiento para ninguno de los parámetros evaluados (Tabla 4.1.2.31), por lo que este sector no muestra una señal de aportes de estos compuestos y se encuentra empobrecido respecto a los valores de referencia local, esto puede ser consecuencia de la granulometría local (granos medios a grueso) y a la velocidad que de arrastre que alcanza el agua en estos sectores, condiciones que impiden la depositación del material en suspensión.

En el Sector Eje Estuarial (EE), conformado por las estaciones 3, 4 y 5 (sectores Fuerte San Luis, Santa Clara y Punucapa), no presenta enriquecimiento para Ácidos Grasos, COT y AOX (Tabla 4.1.2.31). En cambio, las Dioxinas y Furanos se encuentra enriquecido respecto a la referencia utilizada, con un enriquecimiento promedio de 623%. Este resultado puede ser efecto de lo somero que es el río en el sector y de la menor velocidad que se desarrolla aquí, favoreciendo la retención del material particulado y en suspensión.

Los ríos tributarios (T), están conformados por las estaciones 6 y 7 (río Pichoy y río Cayumapu), y en estas estaciones no presentaron enriquecimiento los parámetros Ácidos Grasos y AOX (Tabla 4.1.2.31). En cambio, el COT, EOX y Dioxinas y Furanos, se encuentra enriquecidos respecto a la referencia utilizada, aumentando un 107% en promedio, el enriquecimiento de estos parámetros puede estar relacionado con otras actividades desarrolladas aguas arriba en estos ríos, que aportan material de origen orgánico, lo que favorecería la retención de compuestos orgánicos en estas estaciones.

En la estación ubicada en el río Calle Calle, todos los parámetros se encuentran empobrecidos respecto a la referencia obtenida desde los testigos muestreados en noviembre 2014 (Tabla 4.1.2.31).

Tabla 4.1.2.31. Factores de Enriquecimiento estimados a partir de los resultados del corer de sedimentos recolectado en el río Cruces durante noviembre 2014. L = sector límnico, EE = eje estuarial del río Cruces, T = ríos tributarios del humedal.

parámetros	unidad	Corer	Factor de Enriquecimiento (%)			
		Promedio	L	EE	T	río Calle Calle
Ác. Grasos	µg/g	14,6	-93	-83	-8	-91
Ác. Resínicos	µg/g	-	-	-	-	-
COT	%	2,3	-74	-39	36	-88
AOX	µg/g	68,2	-57	-51	-26	-53
EOX	µg/g	0,07	-	-	79	-
Dioxinas	ng/g	0,0156	-65	756	171	-81
Furanos	ng/g	0,0014	-70	489	143	-57

4.1.2.5. Conclusiones

- No se detectó diferencias significativas entre años para las fracciones granulométricas y concentraciones de materia orgánica y carbono orgánico total en el sedimento. Entre sectores en cambio, se detectó que los ríos tributarios presentaron valores significativamente más altos de agregados biogénicos y materia orgánica, y significativamente más bajos en porcentaje de grava.
- Los niveles de pH detectados durante el año 2016 fueron significativamente más bajos que los encontrados en años anteriores, a la vez que los detectados durante el año 2015 fueron significativamente más altos. Entre sectores en cambio, en el sector del eje estuarial del humedal del río Cruces, se detectó valores significativamente más altos que en los otros sectores.
- Los valores de Redox fueron mayoritariamente negativos durante el año 2015, situación inversa ocurre en la campaña del 2016, observándose un aumento en tres de los cuatro sectores (excepto el sector límnic). Los valores del potencial óxido reducción registrados en los sedimentos no registraron diferencias significativas, *i.e.*, fueron homogéneos a través de ambos años y sectores.
- Las concentraciones de metales pesados, presentaron variaciones significativas entre años sólo en las concentraciones de Arsénico (As), las cuales fueron significativamente más bajas durante el año 2016. Comparando entre sitios, en cambio, se detectó que los sedimentos en los ríos tributarios presentaron concentraciones de Hierro (Fe), Manganeso (Mn) y Plomo (Pb) significativamente más altas.
- Los resultados del Factor de Enriquecimiento, Índice de Geoacumulación e Índice de Carga de contaminación, muestran que los metales en sedimentos se encuentran en términos generales en ausencia de contaminación.

- Las concentraciones de Ácidos Grasos fueron más bajas durante el año 2016 comparado con los años anteriores (2014 y 2015). No se detectaron diferencias entre sectores, lo que indica una homogeneidad del área de estudio.
- No se detectaron Ácidos resínicos durante la campaña de abril 2016.
- Las concentraciones de AOX no variaron significativamente al comparar años y sectores del humedal.
- No se detectaron EOX en los sedimentos del área de estudio, a excepción de la estación 7 (río Cayumapu), con valores muy cercanos al límite de detección.
- Los Factores de Enriquecimiento para los compuestos orgánicos de los sedimentos muestran que los sedimentos del sector Límnico y río Calle Calle no están enriquecidos para ningún parámetro, en tanto que el eje estuarial y tributarios muestran un enriquecimiento en 2 y 4 de los 5 parámetros comparables.
- El patrón de distribución de los 17 congéneres de Dioxinas y Furanos está dominado por la HxCDD y HxCDF (moléculas con 6 sustituciones de cloro), con concentraciones cercanas al límite de detección analítico. No se detectó la presencia de la TCDD en los sedimentos de ninguna de las estaciones muestreadas.

4.1.2.6. Referencias

Anderson, F., L. Black, L. Mayer, L. Watling. 1981. A temporal and spatial study of mudflat texture. *Northeastern Geology* 3: 184-191.

Emery, K.O. 1938. Rapid method of mechanical analysis of sands. *Journal of Sedimentary Research* 8: 105-111.

Folk, R. L. 1980. *Petrology of sedimentary rocks*. Hemphill Publishing Company. 190 pp.

Seward-Thompson, B., J. Hails. 1973. An appraisal of the computation of statistical parameters in grain size analysis. *Sedimentology* 20: 161-169.

4.1.3. ANÁLISIS DEL FLUJO DE MATERIAL SUSPENDIDO EN UN CANAL DEL ESTUARIO DEL RÍO CRUCES, SECTOR PUNUCAPA

4.1.3.1. Antecedentes

Uno de los aspectos más difíciles de cuantificar en un estuario es el flujo de sedimentos, debido a las condiciones de transporte asociadas a las corrientes mareales de flujo y reflujo (Pino *et al.*, 1994); estos flujos de sedimento están significativamente influenciados por la batimetría de los canales y las fases de marea de sicigia y cuadratura. Esto no es trivial, cuando por ejemplo la variabilidad temporal de los flujos de los sedimentos en suspensión, puede explicar la variabilidad temporal que ocurre en la superficie de planicies sedimentarias intermareales.

Es en el contexto de lo anteriormente descrito, que se incluye en el Programa de Monitoreo Ambiental del HRC y sus ríos tributarios, el monitoreo de la variabilidad en el transporte de los sedimentos suspendidos en la columna de agua en la parte inferior del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios (HRC), lugar en donde se ha observado en los últimos años una variabilidad en la extensión areal de planicies sedimentarias intermareales.

El uso de trampas de sedimentos para capturar partículas transportadas en suspensión, ha sido aplicado desde la década de 1950, lo que ha sido analizado y discutido en una serie de publicaciones clásicas en experimentos de laboratorio (Gardner, 1980) y de terreno (lagos, estuarios y ambientes marinos) para determinar las tasas de

sedimentación de partículas inorgánicas, polen, plancton y nutrientes (White & Wetzel, 1973; Kirchner, 1975; Hardgrave & Burns, 1979; Anderson, 1980; Dymond *et al.*, 1981; Blomqvist & Hakanson, 1981; Lorenzen *et al.*, 1981; Kraus, 1987; Bale, 1998).

Existe consenso en que las trampas de sedimentos, pueden sub o sobreestimar considerablemente los flujos de partículas, que las trampas cilíndricas por la ausencia de esquinas son más confiables que los angulares y asimétricas, y que para evitar la resuspensión y pérdida de material desde el interior de la trampa, la razón altura / diámetro debe ser > 3 (Blomqvist, 1981; Blomqvist & Hakanson, 1981; Valeur & Pejrup, 1998). Gardner (1980) indicó que estos tipos de trampas tienen 100% de eficiencia en la captura del material transportado en suspensión. La importancia de la razón elevada entre diámetro y altura, radica en que bajo cualquier condición de remolinos, incluso causados por la propia trampa, las partículas más livianas como componentes orgánicos no tienen la oportunidad de escapar del agua que se encuentra estancada dentro de la trampa (*cf.* Fig. 4.1.3.1)

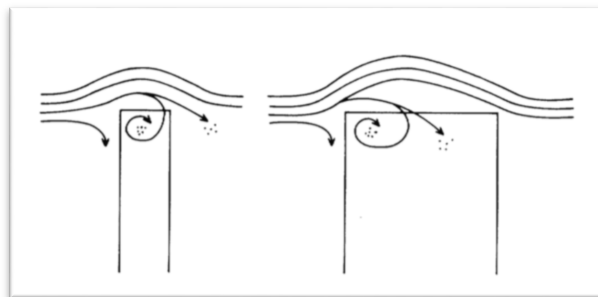


Figura 4.1.3.1. Esquema presentado por Blomqvist (1981) para explicar las diferencias que ocurren entre dos trampas: una de boca angosta a la izquierda y otra de boca ancha a la derecha del gráfico. En el caso de la izquierda, la materia más fina segregada por el remolino cae fuera de la trampa y se pierde, mientras que en la trampa de la derecha, tanto la fracción mineral como orgánica quedan atrapadas en la trampa.

Datos no publicados en poder del autor de este Capítulo (Mario Pino), muestran la alta efectividad y reproducibilidad del uso de trampas cilíndricas para la captura de material suspendido en el agua, en una planicie mareal del estuario del río Queule (*ca.*

39°S, costa de La Araucanía). Recientemente, este tipo de trampas cilíndricas fueron empleadas con éxito, para medir tasas de transporte de sedimentos suspendidos en pequeñas cuencas montañosas y así evaluar relaciones causales de estas tasas con otros parámetros hidrológicos (Little *et al.*, 2015).

En este estudio se empleó la concentración de cuatro metales traza (Cobre, Plomo, Zin y Titanio) adsorbidos a la fracción más fina del sedimento transportado (< 63 μ , limo y arcilla), para evitar considerar aquellos metales traza contenidos en los minerales de la fracción arena, que sólo representan el origen natural de tales metales en los silicatos de las rocas del entorno y tienen por su forma una menor proporción de superficie para adsorber los elementos traza (Cobelo-García y Prego, 2004). De este modo se intenta evaluar, el comportamiento de estos metales adsorbidos a los sedimentos finos asociados a fases de la marea de manera muy precisa, señal que no se puede obtener una vez que los metales y los sedimentos que los contienen se depositan en el fondo.

El Cobre, Plomo, Zinc y Titanio se eligieron sobre la base del conocimiento adquirido en estudios anteriores (Villalobos, 1997; Fuentes, 2000; Pino y Fuentes 2002; UACH 2014-2015) y de la experiencia de otros autores que han trabajado en la región (Boström *et al.*, 1973; De Vleeschouwer *et al.*, 2008). Ya que las trampas de material suspendido son el mejor método para conocer que tipo de sedimento está siendo transportado, se utilizó esta aproximación para evaluar las concentraciones de cuatro elementos durante un período del año. Se eligió entre otros al Zinc, Cobre y Plomo, porque estos elementos han estado presentes en estudios previos de agua y sedimentos del HRC (UACH, 2015).

Otros elementos como por ejemplo, Hierro, Manganeso, Cadmio, Arsénico y Mercurio, o presentan normalmente concentraciones muy altas y muchos orígenes posibles (Hierro y Manganeso) o concentraciones muchas veces, o muy bajas o en el límite

del nivel de detección de los métodos analíticos utilizados (Cadmio, Arsénico y Mercurio) (Villalobos, 1997; Fuentes, 2000; Pino y Fuentes 2002, Jaramillo, 2015).

El Cobre, Plomo y Zinc fueron detectados durante el Programa de Diagnóstico Ambiental del HRC y sus ríos tributarios (UACH 2014-2015) en varios muestreos de material particulado en el agua y en los sedimentos depositados C, con muy alta variabilidad, pero siempre con concentraciones de Zinc > Cobre > Plomo. Según ese mismo estudio, el cálculo del Índice de geoacumulación muestra que la mayoría absoluta de las determinaciones corresponde al rango considerado de ausencia de contaminación, pero 14 de las 504 muestras analizadas correspondientes al 2,7% del total se pudieron clasificar en el rango de no contaminado a levemente contaminado, considerando Cobre, Plomo y Zinc, aún cuando no se ha podido establecer patrón temporal o espacial alguno. Sin embargo, las muestras analizadas hasta la fecha en el HCR, corresponden a capturas de agua o material particulado instantáneos, mientras que las muestras de las trampas integran períodos de tiempo más significativos y naturales (una fase mareal).

4.1.3.2. Objetivos

- Analizar el flujo de sedimentos suspendidos en condición de verano y fases de marea de cuadratura y sicigia, en un canal del estuario del río Cruces.
- Determinar las características texturales de los sedimentos transportados en suspensión.
- Determinar las concentraciones de Cobre, Plomo, Zinc y Titanio en la fracción fina (< 63 μ) de los sedimentos transportados en suspensión.

4.1.3.3. Material y métodos

Instalación de trampas de sedimento en la zona submareal

Las trampas se confeccionaron en PVC de 11 cm de diámetro y 50 cm de largo, con una razón Diámetro/Altura de 4,54. La superficie de la boca de la trampa es de 95,3 cm².

Para instalar las trampas, se construyó un armazón de hierro lastrado diseñado para contener de manera paralela cuatro trampas como las descritas anteriormente (Fig. 4.1.3.2). En este armazón, las trampas fueron numeradas con los valores 1 y 4 en los extremos y 2 y 3 en el centro.



Figura 4.1.3.2. Armazón de hierro y lastre de concreto usado para la instalación de las cuatro trampas en un canal submareal de la parte inferior del estuario del río Cruces.

El lugar elegido para llevar a cabo el monitoreo de transporte de sedimentos suspendidos, corresponde a un canal secundario del estuario del río Cruces, cercano a la localidad de Punucapa y adyacente a una planicie intermareal también objeto de estudio en este Programa de Monitoreo del HRC (Fig. 4.1.3.3). La profundidad del canal en este lugar es del orden de 3 m, aproximadamente.

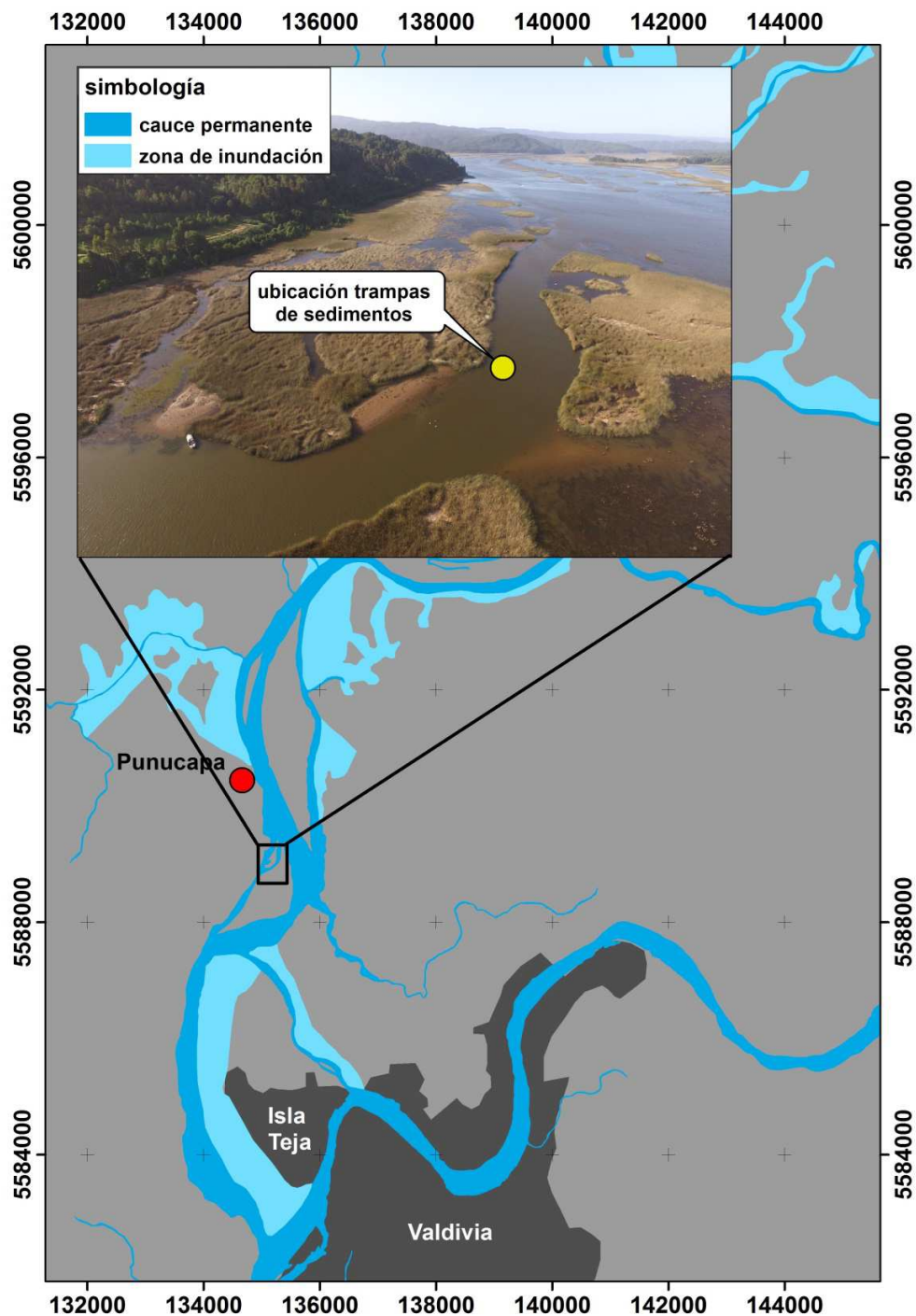


Figura 4.1.3.3. Ubicación del sector de Punucapa donde se instalaron trampas submareales para el monitoreo de transporte de material suspendido entre el 7 de diciembre de 2015 y el 7 de enero de 2016.

Las trampas fueron instaladas durante cuatro períodos de siete días; estos períodos se iniciaron los días lunes 7, 14, 21 y 28 de diciembre del año 2015. El primer y tercer período se iniciaron cuatro días antes de una fase mareal de sicigia (11 y 25 de diciembre de 2015), a la vez que el segundo y cuarto período empezaron cuatro días antes de una fase mareal de cuadratura (18 de diciembre de 2015 y 1 de enero de 2016). La velocidad de las corrientes y por ende la capacidad de resuspender y transportar sedimentos en suspensión está fuertemente determinada por la fase de la luna (sicigia versus cuadratura), para una estación del año. En ausencia de precipitación, la única variable a considerar es la fase de la luna (Perillo, 1995).

En el primer y segundo muestreo se recuperaron las cuatro trampas, pero en el tercero y cuarto solamente se recuperaron dos y tres trampas, respectivamente. No fue posible conocer las causas de estas pérdidas.

Análisis de laboratorio

En el laboratorio, se observó que el contenido sedimentario de las trampas contenía grandes cantidades de fragmento de macrófitas acuáticas (primariamente restos de Luchecillo) que impedían su procesamiento. Por esta razón y en primer lugar, se tamizó todo el contenido de las trampas con agua sobre un colador de acero inoxidable de 2 mm para separar los detritos mayores que este diámetro y equivalentes a partículas de grava (*sensu* Folk, 1980). Este material fue secado a 60°C en una estufa, pesado en una balanza analítica, incinerado a 550°C por 4 horas y pesado por segunda vez con la misma balanza anterior. De esta manera, se calculó el peso total y el peso del remanente mineral inorgánico y por diferencia, el peso de la fracción de materia orgánica carbonosa combustible.

En todos los casos, el material que pasó por el colador de 2 mm y que correspondía a las fracciones de arena (2 a 0,063 mm) y fango (< 0,063 mm), constituía un volumen tan grande que impedía su correcto procesamiento. Por esta razón, se mezcló este material

con agua en un balde, hasta alcanzar un volumen de 10 litros. A continuación, se agitó el agua con la mano en movimientos circulares cerca del fondo, mientras simultáneamente se sostenía una manguera de ½" llena de agua. Cuando la suspensión fue uniforme y toda la arena estuvo junto al fango en suspensión, se extrajo sin dejar de revolver, la porción de agua contenida en la manguera e inmediatamente después se recogió en una probeta el equivalente a 1/10 del total, es decir 1 litro de suspensión de toda la mezcla. Este procedimiento se denomina cuarteo y es un tipo de metodología desarrollada y probada en el laboratorio de Sedimentología del Instituto de Ciencias de la Tierra, desde hace muchos años (Pino y González, 2009).

Este volumen de 1 litro fue posteriormente tamizado sobre un colador de 0,063 mm para separar la arena del fango. Ambas fracciones fueron analizadas siguiendo el mismo procedimiento antes indicado para la fracción > 2mm, pero amplificado por 10. Finalmente, los pesos de cada una de las subfracciones de partículas (> 2mm, entre 2 y 0,063 mm y < 0,063 mm) fueron convertidas a porcentajes.

Una porción representativa de la fracción de fango correspondiente a los muestreos realizados en sicigia (primer y tercer período de muestreo, iniciados el 11 y 25 de diciembre de 2015, respectivamente), fueron colectados para analizar las concentraciones de Cobre, Plomo, Titanio y Zinc. Los análisis fueron llevados a cabo en el Laboratorio de Oceanografía Química de la Universidad de Concepción, usando la técnica de espectroscopía de emisión óptica de plasma inductivamente acoplado (ICP-OES) (Unidad: µg/g). Para el Cobre, Plomo y Zinc se empleó la metodología FASS (IT-LET-SSTB01), mientras que para el Titanio se usó ICP-OES(IT-LET-SST-04).

4.1.3.4. Resultados

La Tabla 4.1.3.1 resume los datos obtenidos en relación a la tasa total de sedimentos atrapados y a su composición granulométrica. Durante la primera y tercera

semana de muestreo (sicigia), las trampas atraparon entre 287 y 468 g y entre 231 y 376 g de sedimento en suspensión, respectivamente. Durante la segunda y cuarta semana (cuadratura), estas trampas recolectaron entre 118 y 139 g y entre 143 y 185 g, respectivamente. La totalidad del material > 2 mm (*i.e.*, grava; *sensu* Folk, 1980) correspondió a restos vivos y degradados de macrófitas acuáticas, que incluían pequeñas cantidades adheridas de material sedimentario mineral.

La fracción dominante del sedimento capturado en las trampas, correspondió a arena total (fracción mineral y orgánica carbonosa). Durante la primera y tercera semana de muestreo (fase lunar de sicigia) las trampas atraparon entre 141 y 315 g y entre 146 y 268 g de sedimento en suspensión, respectivamente. Durante la segunda y cuarta semana (cuadratura), las mismas capturaron entre 56 y 76 g y entre 72 y 108 g, respectivamente. Para la fracción d (*i.e.*, 0,063 -2 mm; *sensu* Folk, 1980), los valores de material capturado en el primer caso (sicigia) variaron entre 23 y 89 g y entre 11 y 17 g; en el segundo caso (fase lunar de cuadratura) los rangos variaron entre 9 y 11 g y entre 13 y 46 g. Durante el período de estudio se observó dominancia absoluta de la fracción mineral inorgánica (Tabla 4.1.3.1).

Como las trampas estuvieron instaladas en cada caso 7 días - equivalente a 10.080 minutos - durante la fase lunar de sicigia la tasa de transporte de sedimento total, arena total y fango total fluctuó entre 23 y 46, 14 y 31 y 8 y 15 mg min⁻¹, respectivamente. En la fase de cuadratura lunar, los mismos parámetros variaron entre 12 y 18, 6 y 11 y 6 y 9 mg min⁻¹. Estos valores muestran el efecto importante de la fase mareal, la que en los estuarios se expresa en diferencias de velocidad de flujo y reflujos que son finalmente responsables de las tasas de transporte. Las diferencias entre transporte suspendido de arena total y fango total fueron mayores en fase lunar de sicigia, mientras que en cuadratura las diferencias fueron menores.

Tabla 4.1.3.1. Flujos de sedimentos transportados en suspensión expresados en gramos y en períodos de 7 días. Las semanas 1 y 3 correspondieron a la fase de sicigia y las semanas 2 y 4 a la fase de cuadratura. Grava, arena y fango orgánico corresponden a material particulado carbonoso de diámetro equivalente a las fracciones minerales de los mismos tres componentes.

marea	semanas/ muestras	sedimento total	grava total	grava inorgánica	grava orgánica	arena total	arena inorgánica	arena orgánica	fango total	fango inorgánico	fango orgánico	Inórgánico total	orgánico total
sicigia	1.1	405,3	6,9	1,6	5,3	250,4	215,2	35,3	148,0	122,5	25,5	339,2	66,1
sicigia	1.2	468,2	1,8	0,6	1,2	315,0	226,4	88,5	151,4	127,5	23,9	354,5	113,7
sicigia	1.3	374,5	4,7	1,3	3,4	249,7	152,6	97,1	120,1	101,0	19,2	254,9	119,7
sicigia	1.4	287,3	5,3	1,2	4,1	141,0	117,7	23,4	141,0	117,7	23,4	236,5	50,8
cuadratura	2.1	139,1	1,6	0,3	1,3	76,3	65,0	11,3	61,1	51,4	9,8	116,6	22,4
cuadratura	2.2	124,2	1,0	0,3	0,7	63,1	54,4	8,6	60,2	50,8	9,4	105,5	18,7
cuadratura	2.3	117,7	1,0	0,2	0,7	55,6	47,8	7,7	61,2	51,4	9,8	99,4	18,3
cuadratura	2.4	132,8	0,7	0,1	0,6	57,7	48,8	8,9	74,4	49,1	25,3	98,1	34,7
sicigia	3.1	376,1	3,1	0,9	2,2	267,9	256,7	11,2	105,1	88,1	17,0	345,7	30,4
sicigia	3.4	230,5	0,1	0,0	0,1	145,8	128,3	17,4	84,6	78,6	6,0	134,4	96,1
cuadratura	4.2	174,1	4,3	0,9	3,4	77,4	62,1	15,3	92,4	72,8	19,7	135,7	38,3
cuadratura	4.3	184,9	3,6	0,6	3,0	107,6	62,1	45,5	73,8	61,8	11,9	124,5	60,4
cuadratura	4.4	142,6	4,3	1,4	2,9	72,4	59,1	13,3	65,9	55,3	10,7	115,8	26,8

La Tabla 4.1.3.2 muestra los resultados de los análisis realizados con los sedimentos transportados en suspensión y capturados por las trampas y expresados porcentualmente. Se observó un claro dominio de la fracción arena inorgánica con valores que fluctuaron en sicigia entre 41 y 68%, mientras que esta misma fracción varió durante cuadratura entre 34 y 47%. El fango inorgánico fluctuó entre 23 y 41% en sicigia y entre 33 y 44% en cuadratura. Por otra parte, la fracción de arena orgánica constituyó entre 3 y 26% (sicigia) y entre 7 y 25 % (cuadratura), mientras que el fango orgánico fluctuó entre 3 y 8% y entre 5 y 11% en sicigia y cuadratura, respectivamente.

Tabla 4.1.3.2. Textura de los sedimentos transportados en suspensión expresados en porcentajes, en períodos de 7 días. La semanas 1 y 3 correspondieron a la fase de sicigia y las semanas 2 y 4 a la fase de cuadratura. Grava, arena y fango orgánico corresponden a material particulado carbonoso de diámetro equivalente a las fracciones minerales de los mismos tres componentes.

mareas	semanas/ muestras	grava total	grava inorgánica	grava orgánica	arena total	arena inorgánica	arena orgánica	fango total	fango inorgánico	fango orgánico	Inórganico total	orgánico total
sicigia	1.1	1,7	0,4	1,3	61,8	53,1	8,7	36,5	30,2	6,3	83,7	16,3
sicigia	1.2	0,4	0,1	0,3	67,3	48,4	18,9	32,3	27,2	5,1	75,7	24,3
sicigai	1.3	1,3	0,3	0,9	66,7	40,8	25,9	32,1	27,0	5,1	68,0	32,0
sicigia	1.4	1,8	0,4	1,4	49,1	41,0	8,1	49,1	41,0	8,1	82,3	17,7
cuadratura	2.1	1,2	0,2	0,9	54,9	46,7	8,2	44,0	36,9	7,0	83,9	16,1
cuadratura	2.2	0,8	0,2	0,6	50,8	43,8	6,9	48,5	40,9	7,6	84,9	15,1
cuadratura	2.3	0,8	0,2	0,6	47,2	40,6	6,6	52,0	43,6	8,4	84,5	15,5
cuadratura	2.4	0,5	0,1	0,4	43,4	36,8	6,7	56,0	37,0	19,0	73,9	26,1
sicigia	3.1	0,8	0,2	0,6	71,2	68,2	3,0	27,9	23,4	4,5	91,9	8,1
sicigia	3.4	0,0	0,0	0,0	63,2	55,7	7,6	36,7	34,1	2,6	58,3	41,7
cuadratura	4.2	2,5	0,5	1,9	44,4	35,7	8,8	53,1	41,8	11,3	78,0	22,0
cuadratura	4.3	2,0	0,3	1,6	58,2	33,6	24,6	39,9	33,4	6,5	67,3	32,7
cuadratura	4.4	3,0	1,0	2,0	50,8	41,4	9,3	46,2	38,8	7,5	81,2	18,8

La Tabla 4.1.3.3 es un resumen que incluye las fechas de instalación de las trampas, la fase mareal dominante, el número de trampas recuperadas y los promedios y desviaciones estándar para el sedimento suspendido transportado, sin incluir la fracción > 2 mm que resultó ser sólo de origen vegetal.

Las desviaciones estándar variaron entre 0,7 y 9%, lo que resulta aceptable para un procedimiento experimental donde la posición de las trampas con respecto a las corrientes de flujo y reflujos, no se puede establecer. En los promedios de las fracciones arena inorgánica, se observó una tendencia a que los valores fueran mayores en sicigia (46 y 62%) con respecto a cuadratura (37 a 42%), pero en la fracción de fango inorgánico esta situación no se observó (29 a 31% y 38 a 40%, sicigia y cuadratura, respectivamente). Tampoco se observaron tendencias claras en la variabilidad de las fracciones orgánicas.

Tabla 4.1.3.3. Promedios y desviaciones estándar (expresada porcentualmente) de los sedimentos transportados en suspensión. Arena y fango orgánico corresponden a material particulado carbonoso de diámetro equivalente a las fracciones minerales de los mismos tres componentes.

fecha de instalación trampas	fase mareal	número trampas	estadígrafos	arena total	arena inorgánica	arena orgánica	fango total	fango inorgánico	fango orgánico	inorgánico total	orgánico total
07/12/2015	Sicigia	4	promedio desv. est.	61,2 8,4	45,8 6,0	15,4 8,6	37,5 8,0	31,3 6,6	6,2 1,4	77,4 7,2	22,6 7,2
14/12/2015	cuadratura	4	promedio desv. est.	49,1 4,9	42,0 4,3	7,1 0,7	50,1 5,1	39,6 3,3	10,5 5,7	81,8 5,3	18,2 5,3
21/12/2015	Sicigia	2	promedio desv. est.	67,2 5,7	62,0 8,9	5,3 3,2	32,3 6,2	28,8 7,5	3,6 1,4	90,9 1,5	9,1 1,5
28/12/2105	cuadratura	3	promedio desv. est.	51,1 6,9	36,9 4,1	14,2 9,0	46,4 6,6	38,0 4,2	8,4 2,5	75,5 7,3	24,5 7,3

La Tabla 4.1.3.4 incluye las fechas de instalación de las trampas, y la concentración de Cobre, Plomo, Zinc y Titanio ($\mu\text{g/g}^{-1}$) y los promedios y desviaciones estándar correspondientes. En general, las concentraciones de los cuatro elementos analizados son levemente mayores y no estadísticamente significativas durante el segundo muestreo.

Tabla 4.1.3.4. Concentración ($\mu\text{g g}^{-1}$), promedio y desviación estándar de los metales traza Cobre, Plomo, Zinc y Titanio en la fracción sedimentaria fina (< 0,063 mm) capturada en dos períodos de sicigia (períodos 1 y 3).

semanas y muestras	Cobre	Plomo	Zinc	Titanio
1.1	71,30	15,06	111,9	3368
1.2	66,11	13,07	88,7	3395
1.3	66,96	13,53	94,9	3350
1.4	69,03	13,00	95,7	3613
promedio	68,35	13,66	97,8	3432
desv. est.	2,32	0,96	9,9	122
3.1	66,74	11,65	97,4	3556
3.2	59,43	12,41	105,4	3307
3.3	58,30	11,99	120,0	3529
3.4	67,62	11,68	113,3	3535
promedio	63,02	11,93	109,0	3482
desv. est.	4,84	0,35	9,8	117

Al comparar los promedios obtenidos para Cu, Zn y Pb medidos en los dos períodos en las trampas en fase de marea de sicigia, con los datos obtenido del testigo C obtenido en el río Cruces (Jaramillo, 2015; Programa de Diagnóstico Ambiental del HRC y sus ríos tributarios: 2014 – 2015, Tabla 4.1.51) se observa que entre los conjuntos de datos no existen diferencias significativas para el Cu ($68,4 \pm 2,3$; $63,0 \pm 4,8$ y $69,2 \pm 4,6 \mu\text{g g}^{-1}$). En el caso del Zn, el contenido en los sedimentos del testigo C, la concentración es significativamente mayor que en los sedimentos aquí informados ($71,9 \pm 5,0$ v/s $13,7 \pm 1,0$ y $12,0 \pm 0,4 \mu\text{g g}^{-1}$). En sedimentos de estuario en plena zona urbana de Valdivia (Los Pelúes), usando metodología de análisis similares pero no acreditadas (Laboratorio Instituto de Química UACH),

Fuentes (2000) detectó en 10 muestras concentraciones de Zn de $60,8 \pm 2,3 \mu\text{g g}^{-1}$, similares a los medidos en el testigo C. Varios años después Viilalobos (1997) midió promedios similares de $74,6 \pm 15 \mu\text{g g}^{-1}$ para este elemento en una estación en el río Cruces (5 muestras).

Finalmente para el Pb ocurre la situación contraria; las concentraciones medidas en los sedimentos del testigo C son significativamente menores que en los sedimentos de las trampas ($97,8 \pm 10,0 / 109,0 \mu\text{g g}^{-1} \pm 10,0 \mu\text{g g}^{-1}$ v/s $11,2 \pm 1,0 \mu\text{g g}^{-1}$). En este caso, Fuentes (2000) también midió valores similares a los obtenidos en el testigo C, en este caso $7,3 \pm 1,0 \mu\text{g g}^{-1}$. Los valores que informó Vilalobos (1997) también son del mismo orden de magnitud ($7,9 \pm 1,5 \mu\text{g g}^{-1}$).

La baja concentración de Zn medida en las trampas, podría corresponder al bajo ingreso de Zn al sistema producto de la estación seca; para los altos contenidos de Pb que prácticamente están presentes en un orden de magnitud por sobre los valores de los sedimentos obtenidos en el piso del estuario con el testigo C, no tenemos una explicación.

4.1.3.5. Conclusiones

- No se observó tendencia alguna entre la cantidad de sedimento capturado por las trampas y su posición relativa en la estructura que las contenía.
- La cantidad de partículas $> 2 \text{ mm}$, equivalentes en diámetro a la grava, consistieron de fragmentos de macrófitas acuáticas (principalmente Luchecillo), en distintos grados de degradación.
- La cantidad de sedimento total capturado, presentó una tendencia a ser mayor en la fase mareal de sicigia que en la de cuadratura, lo que estuvo dado principalmente por la cantidad de arena inorgánica; esto es

esperable, pues las corrientes de flujo y reflujos son mayores en la fase de sicigia.

- Las diferencias entre transporte suspendido de arena total y fango total, fueron mayores en fase de sicigia, mientras que en cuadratura las diferencias fueron menores.
- La cantidad de arena orgánica y fango inorgánico y orgánico no mostraron una tendencia clara con respecto a las fases mareales, lo que significa que su presencia en el sedimento transportado, no estuvo relacionada con la velocidad de las corrientes, y no se relaciona con la cantidad total de sedimento capturado, por lo que los resultados no están obliterados por la energía del sistema sino que determinados por su origen en la cuenca.
- Las concentraciones de Cobre, Plomo, Zinc y Titanio medidas en los sedimentos finos capturados con trampas en dos períodos de verano y sicigia, fueron muy similares entre sí y no se relacionan con la cantidad total de sedimento capturado tal como fue explicado en el párrafo anterior.
- Las concentraciones de Pb y Zn en sedimentos estuariales en diferentes períodos de muestreo y diferentes laboratorios son de magnitud similar, sin embargo se detectó más Pb y menos Zn en los sedimentos recuperados de las trampas, con respecto a los sedimentos del fondo del estuario del río Cruces y zona urbana de Valdivia (UACH, 2015).

4.1.3.6. Referencias

Anderson, F.E. 1980. The variation in suspended sediment and water properties in the flood-water front traversing the tidal flat. *Estuaries* 3: 28-37.

Bale, A.J. 1998. Sediment trap performance in tidal waters: comparison of cylindrical and conical collectors. *Continental Shelf Research* 18:1401-1418.

Boström, K., Kraemer, T., Gartner, S. 1973. Provenance and accumulation rates of opaline silica, Al, Ti, Fe, Mn, Cu, Ni and Co in Pacific pelagic sediments. *Chemical Geology* 11: 123-148.

Blomquist, S. 1981. Sediment trapping-A subaquatic *in situ* experiment. *Limnology and Oceanography* 26: 585-590.

Blomqvist, S., L. Hakanson. 1981. A review on sediment traps in aquatic environments. *Archiv für Hydrobiologie* 91: 101-132.

De Vleeschouwer, F., Ibañez, M., Mattielli, N., Maerschalk, C., Fagel, N. 2008. Geochemical and Pb isotopic signature of peaty sediments from Central-South Chile: identification of particle supplies over the Holocene. *Journal of the Chilean Chemical Society*, 53: 1640-1649.

Dymond, J., K. Fischer, M. Clauson, R. Cobler, W.D. Gardner, M.J. Richardson, W. Berger, A. Soutar, R. Dunbar. 1981. A sediment trap intercomparison study in the Santa Barbara Basin. *Earth and Planetary Science Letters* 53: 409-418.

Gardner, W.D. 1980. Sediment trap dynamics and calibration: a laboratory evaluation. *Journal of Marine Research* 38: 17-39.

Folk, R. 1980. *Petrology of Sedimentary Rocks*. Hemphill Publishing Company. Austin Texas 78703, 182p.


Fuentes, N. 2000. Variabilidad temporal y espacial de la concentración de metales traza en el estuario medio y superior del río Valdivia. Tesis para optar al Título de Biólogo Marino. 38p.

Hargrave, B.H., N.M. Burns. 1979. Assessment of sediment trap collection efficiency. *Limnology and Oceanography* 24: 1124-1136.

Jaramillo, E. (Ed). 2015. Programa de Diagnóstico Ambiental del Humedal del Río Cruces y sus Ríos Tributarios. Informe final. Convenio Celulosa Arauco y Constitución y Universidad Austral de Chile. 1518 p.

Kirchner, W. 1975. An evaluation of sediment trap methodology. *Science* 162: 796-799.

Kraus, N. 1987. Application of portable traps for obtaining point measurements of sediment transport rates in the surf zone. *Journal of Coastal Research* 3: 139-152.

Little, C., J. Cuevas, A. Lara, M. Pino, S. Schoenholtz. 2015. Buffer effects of streamside native forests on water provision in watersheds dominated by exotic forest plantations. *Ecohydrology* 8: 1205-1217. 

Lorenzen, C.J., F.R. Shuman, J.T. Bennett. 1981. In situ calibration of a sediment trap. *Limnology and Oceanography* 26: 580-585.

Perillo, G. M. 1995. Definitions and geomorphologic classifications of estuaries. En G.M. Perillo (Ed.). *Geomorphology and sedimentology of estuaries. Developments in Sedimentology* 53: 17-47. Elsevier.

Pino, M., G.M. Perillo y P. Santamarina. 1994. Residual fluxes in a cross section in the Valdivia river estuary, Chile. *Estuary, Coastal and Shelf Sciences* 38: 491-505.

Pino, M. y Fuentes, N. 2002. Origen de metales pesados en la cuenca del río Valdivia. Informe Inédito, convenio SERNAGEOMIN – UACH. Biblioteca SERNAGEOMIN Oficina Pto. Varas. 250 pp.

Pino, M. & Gonzalez, C. 2009. Guía práctica de geología costera y playas. En *Práctica de la Geografía* (J.P. Bergoeing & L.G. Brenes, compiladores). Editorial Tecnológica de Costa Rica, Cartago Costa Rica, ISBN 978-9977-66-205-3, pp 119-138.

Stuut, J. B. W., Kasten, S., Lamy, F., Hebbeln, D. 2007. Sources and modes of terrigenous sediment input to the Chilean continental slope. *Quaternary International*, 161: 67-76.

Valeur, J.R., M. Pejrup. 1998. Sedimentological impact of artificial islands and pits, measured with sediment traps. *Journal of Coastal Research* 14: 1334-1342.

Villalobos, S. 1997. Distribución espacial y temporal de metales traza en los sedimentos del complejo estuarial de los ríos Valdivia y Tornagaleones. Tesis para optar al Título de Biólogo Marino. 41p.

White, W.S., R.G. Wetzel. 1973. A modified sedimentation trap. *Limnology and Oceanography* 18: 986-988.

4.1.4. PLANICIES SEDIMENTARIAS INTERMAREALES

4.1.4.1. Antecedentes

Las planicies sedimentarias intermareales, son áreas de transición entre ecosistemas terrestres y acuáticos afectas por marea y donde los elementos bióticos acuáticos, presentan una aparente dominancia ante sus pares terrestres (Reise, 1985). La composición superficial de estos hábitats intermareales presenta una amplia variedad de tipos sedimentarios, variando desde sustratos areno-fangosos a fango-arenosos, según su ubicación en relación a la línea de costa (ver Reineck, 1972; Reise, 1985; Miththapala, 2013). Esto genera una disminución de la energía del oleaje y variaciones en la depositación de partículas derivadas, tanto de la escorrentía de ríos como de las corrientes litorales y flujos mareales (Pethick, 1984; Pino *et al.*, 1999; Fagherazzi *et al.*, 2013).

En los estuarios - áreas reconocidas en Chile como humedales costeros de importancia nacional por el Ministerio de Medio Ambiente - las planicies sedimentarias intermareales se encuentran distribuidas a lo largo de sus riberas. Sus diferentes extensiones superficiales son el resultado de las interacciones de las variadas condiciones de borde y rangos mareales locales (Reineck, 1972; Whitlatch, 1982; Reise, 1985; Pino *et al.*, 1999; Miththapala, 2013; Fagherazzi *et al.*, 2013; Ma *et al.*, 2014; Choi, 2014).

Durante las campañas de terreno realizadas durante el desarrollo del Programa de Diagnóstico Ambiental del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios (HRC) (abril 2014 – marzo 2015), se observó un aparente aumento en cuanto a la presencia de estos ambientes dentro del área de estudio; esto en relación a las observaciones realizadas durante años anteriores, como por ejemplo durante el desarrollo del Diagnóstico del HRC realizado durante el año 2012 y parte del año 2013 (UACH, 2014). El aumento en su ocurrencia y cobertura areal de las planicies sedimentarias intermareales, podría resultar en el re-encausamiento de las aguas (disminución del espejo de agua), lo que podría causar la pérdida de zonas de fondos someros (< 1 m de profundidad), justamente aquellos donde hay mayor cobertura de macrófitas acuáticas como el Luchecillo, especie base en la dieta de las aves acuáticas herbívoras del HRC. Consecuentemente, se incluyó en el Programa de Monitoreo Ambiental Actualizado del HRC (abril 2015), el seguimiento de los eventuales cambios en extensión areal y características del sustrato que puedan estar afectando a las planicies sedimentarias intermareales del área de estudio.

4.1.4.2. Objetivos

- Evaluar las extensiones superficiales de seis planicies sedimentarias intermareales presentes en el HRC.
- Analizar estacionalmente (abril y diciembre) las proporciones texturales, contenidos de materia orgánica total, pH y Potencial Óxido Reducción (POR), en los sedimentos superficiales de esas planicies.
- Analizar las relaciones entre POR y características sedimentológicas.
- Estudiar estacionalmente (abril y diciembre) la variabilidad vertical del pH y POR en las seis planicies objetivo de este estudio.

4.1.4.3. Material y métodos

Caracterización de las planicies

Durante el desarrollo de las actividades y campañas de terreno correspondientes al Programa de Diagnóstico Ambiental del HRC, se realizaron dos campañas exploratorias durante marea baja (19 y 20 de marzo de 2015), con el objetivo de identificar e inventariar la presencia de planicies sedimentarias dentro del área del humedal.

Como resultado de estas campañas, se obtuvo la distribución espacial de las mismas, evidenciándose la mayor ocurrencia de éstas y mayores tamaños superficiales, en zonas relacionadas al curso central de los ríos Cruces y Chorocamayo. Posterior al levantamiento espacial de la presencia y distribución de dichos ambientes, se seleccionaron seis planicies en un gradiente de distancia desde la localidad de Punucapa hasta el sector del Fuerte San Luis (San Luis de aquí en adelante) (Fig. 4.1.4.1). Las seis planicies seleccionadas, se encuentran localizadas en los sectores que se mencionan a continuación de norte a sur: sector San Luis, Santa María, desembocadura del río Cayumapu, Chorocamayo, La Dehesa y Punucapa. La Tabla 4.1.4.1 entrega la localización georreferenciada y caracterización superficial general de las mismas.

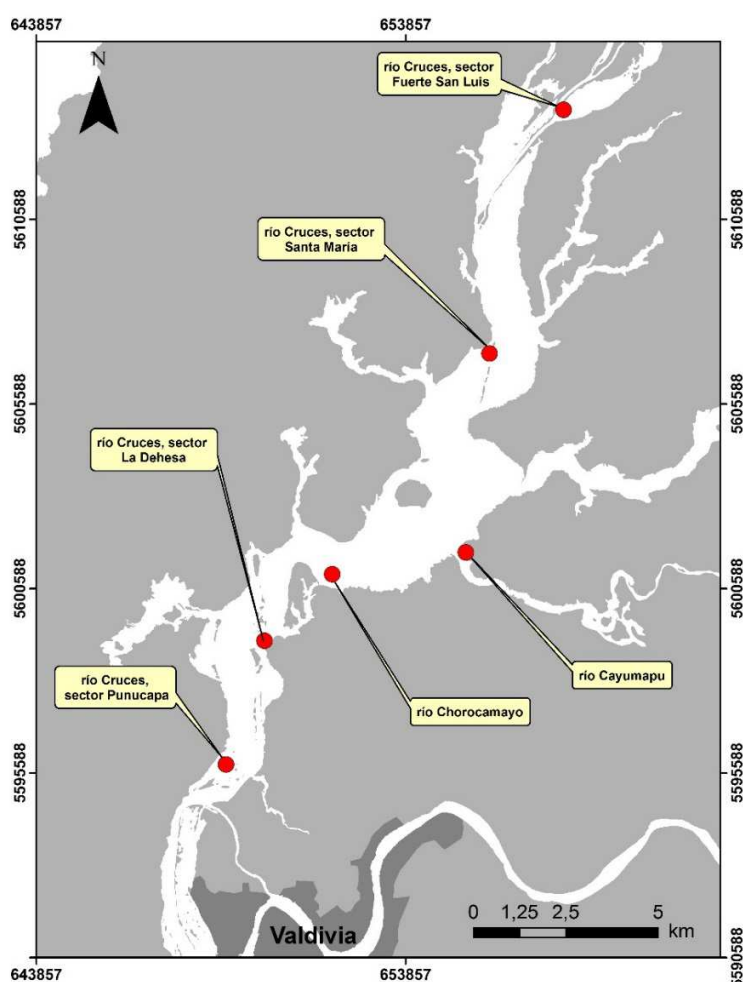


Figura 4.1.4.1. Representación gráfica de la distribución espacial de las seis planicies sedimentarias intermareales incluidas para seguimiento en el Programa de Monitoreo Ambiental del HRC.

Para la evaluación en el tiempo de las superficies areales de estas planicies seleccionadas, se han obtenido fotografías panorámicas de las mismas utilizando cámaras digitales convencionales y vehículos aéreos no tripulados (Dron DJI Inspire 1 y Phantom I). Este procedimiento ha sido realizado durante las campañas de diciembre de los años 2015 y 2016 (primer y segundo año del Programa de Monitoreo Ambiental del HRC, respectivamente).

Para extraer la información cualitativa de las fotografías obtenidas - extensiones superficiales y condiciones de borde - se ha relacionado la información levantada mediante fotografías con observaciones visuales de terreno para sintetizar y obtener un panorama global en mayor detalle.

Sedimentos superficiales

Textura

Durante los días 8-9 de abril y 11 de diciembre de 2016, se recolectaron aleatoriamente - en cuanto a localización de los puntos de muestreo - cuatro réplicas de sedimentos superficiales en cada una de las planicies. Esto con el objetivo de analizar la textura y contenido de materia orgánica total en los sedimentos constituyentes de las mismas. La porción de sedimentos analizada correspondió a la sección superficial (*ca.* 2 cm), la cual fue conservada en bolsas plásticas previamente rotuladas y almacenadas en frío para su posterior análisis en laboratorio.

Los análisis texturales de los sedimentos se realizaron siguiendo la metodología de tamizado en húmedo de Anderson *et al.* (1981). Esta metodología en resumen consiste en tamizar una porción de las muestras en húmedo a través de coladores de 2000 y 63 micrones de abertura de trama, para separar las fracciones grava (partículas de diámetro mayor a 2 mm), arena y agregados biogénicos (partículas entre 2000 y 63 micrones) y fango (partículas inferiores a 63 micrones). La fracción arena y agregados biogénicos se trató con ultrasonido durante 30 minutos y se tamizó a través de un colador de 63 micrones, con el objetivo de separar la fracción arena de los agregados biogénicos. Estos últimos están representados primariamente por agregados fecales y restos de tubos habitacionales de gusanos anélidos. Posteriormente, estas fracciones se secaron (60°C por 24 horas) e incineraron (550° C por 6 horas) para a partir de cálculos de diferencia de peso, determinar el porcentaje de materia orgánica (materia orgánica carbonosa o combustible) total para cada una de las muestras (Byers *et al.*, 1978). La suspensión coloidal con el fango obtenido en el segundo tamizado se dejó decantar. El fango decantado se enrasó en probetas de un 1 litro; luego se homogenizó por agitación vertical para obtener una alícuota de 20 ml a 20 cm de la superficie de la suspensión. Esta alícuota se secó (60°C por 24 horas) e incineró (550° C por 6 horas).

pH y Potencial Oxido Reducción (POR)

Durante los períodos de muestreo arriba señalados, se realizaron mediciones de pH y POR en los sedimentos superficiales (*i.e.*, primeros 2 cm) de cada planicie. Para ello se obtuvieron muestras replicadas (n=4) con cilindros plásticos (PVC) de 4,5 cm de diámetro, enterrados a una profundidad aproximada de 10 cm en el sedimento y durante periodos de marea baja; es decir, durante el tiempo de exposición de estos ambientes a condiciones aéreas. Los cilindros fueron cubiertos por tapas y llevados a la embarcación de muestreo, en la cual se realizaron las mediciones anteriormente mencionadas utilizándose un equipo modelo Orion Star A321 con sus respectivos sensores para mediciones de pH y POR.

Variabilidad vertical de pH y Potencial Óxido Reducción (POR)

El mismo corer de cuña mencionado anteriormente fue utilizado para obtener muestras de sedimento durante abril y diciembre del año 2016, para estudiar la variabilidad vertical de las condiciones de pH y POR en cada una de las planicies. El corer se enterró a una profundidad aproximada de 50 cm en el sedimento y en puntos de cada planicie elegidos al azar. Luego de recolectados los testigos, se llevaron a una embarcación de muestreo, donde se realizaron mediciones cada un centímetro y hasta 9,5 cm en profundidad; es decir, la primera medición se realizó a 0,5 cm para luego medir a 1,5; 2,5; 3,5 y así sucesivamente hasta 9,5 cm de profundidad. Las mediciones de pH y POR se realizaron con un equipo modelo Orion Star A321 con sus respectivos sensores para mediciones de estos parámetros.

Análisis estadísticos

Con el objetivo de evaluar eventuales diferencias estacionales en las características texturales, contenido de materia orgánica total, pH y potencial de óxido reducción (POR) de los sedimentos intermareales de las planicies estudiadas se realizaron análisis de varianza de una vía (ANDEVA) (Sokal & Rohlf, 1995). Para evaluar los supuestos normalidad y homogeneidad de varianzas, se utilizaron las pruebas estadísticas de Kolmogorov-Smirnov y Bartlett, respectivamente (Sokal & Rohlf, 1995). En los casos en que no se cumplieron esos supuestos, se transformaron los datos mediante transformación angular (*i.e.* arco seno de la raíz cuadrada de los datos) para los valores porcentuales (características texturales y materia orgánica total) y por la expresión $\log(x+1)$ para valores continuos (pH y POR). Cuando a pesar de ser transformados, los datos no cumplieron con los supuestos del ANDEVA, las eventuales diferencias entre grupos se evaluaron con el test no paramétrico de Kruskal-Wallis. Para realizar estos análisis se utilizó el paquete estadístico complementario del software para grafics SigmaPlot 11.0.

4.1.4.4. Resultados

Caracterización general de las planicies sedimentarias

Las Tablas 4.1.4.1 a 4.1.4.6, entregan las características generales superficiales de las seis planicies objeto del Programa de Monitoreo Ambiental del HRC. Se presentan las imágenes panorámicas de altura, su localización espacial cartográfica, coordenadas y descripciones ambientales actuales derivadas de las campañas realizadas como parte del primer año del Programa de Monitoreo Ambiental del HRC y sus ríos tributarios (abril 2015-marzo 2016).

Tabla 4.1.4.1. Ubicación, georreferenciación y descripción ambiental de la planicie ubicada en el sector de San Luis. El punto de color rojo representa su ubicación espacial dentro del área de estudio.

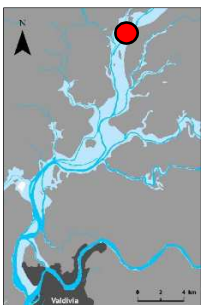

<p>1.- Porción estuarial del río Cruces, sector Fuerte San Luis. Coordenadas UTM: 18H; 658025m Este, 5613410 m sur. Coordenadas geográficas: 39°36'52,17" S; 73°09'32,71" O.</p>	
<p>Planicie casi descubierta con poca presencia de Totora (<i>Scirpus californicus</i>) como limitante de borde. Una extensa cobertura de Luchecillo (<i>Egeria densa</i>) y Flecha de agua (<i>Sagittaria montevidensis</i>) hacia el sector de la ribera y algunos parches de Luchecillo y Huiro (<i>Potamogeton pusillus</i>) hacia el cauce. También presenta algunos ejemplares de pequeños Sauces (<i>Salix babylonica</i>) entre la zona de totoral. En cuanto a su estructura superficial, esta planicie presenta surcos derivados de la actividad biológica de aves y bivalvos de agua dulce como <i>Diplodon chilensis</i>.</p>	
	

Tabla 4.1.4.2. Ubicación, georreferenciación y descripción ambiental de la planicie ubicada en el sector de Santa María. El punto de color rojo representa su ubicación espacial dentro del área de estudio.

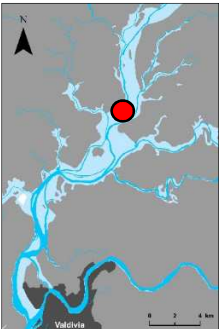

<p>2.- Porción estuarial del río Cruces, sector Santa María. Coordenadas UTM: 18H; 656280 m Este, 5607198 m sur. Coordenadas geográficas: 39°40'14,72" S; 73°10'40,58" O.</p>	
<p>Planicie rodeadas de Totora (<i>Scirpus californicus</i>), ejemplares de Sauces pequeños (<i>Salix babylonica</i>) y Pitra (<i>Myrceugenia exsucca</i>) hacia el borde ribereño. En el sector del cauce presenta Luchecillo (<i>Egeria densa</i>) con presencia de algunos parches de Huiro (<i>Potamogeton pusillus</i>) y sobre la superficie intermareal algunos ejemplares de Flecha de agua (<i>Sagittaria montevidensis</i>). En cuanto a su estructura superficial, esta planicie presenta surcos derivados de la actividad biológica de aves y corrientes mareales, además de la presencia de troncos vestigiales.</p>	
	

Tabla 4.1.4.3. Ubicación, georreferenciación y descripción ambiental de la planicie ubicada en el sector de la desembocadura del río Cayumapu en el río Chorocamayo. El punto de color rojo representa su ubicación espacial dentro del área de estudio.

<p>3.- Sector desembocadura del río Cayumapu. Coordenadas UTM: 18H; 655230 m Este, 5601669 m sur. Coordenadas geográficas: 39°43'14,66" S; 73°11'19,94" O.</p>	
<p>Planicie delimitada casi en su totalidad por la presencia de Totora (<i>Scirpus californicus</i>); en el sector del cauce presenta parches de Huiro (<i>Potamogeton pusillus</i>). En cuanto a estructuras superficiales, presenta algunos surcos producto de la actividad alimentaria de aves y efectos de corrientes mareales. También ocurre una pequeña porción de troncos vestigiales de árboles ribereños en el sector submareal cercano.</p>	



Tabla 4.1.4.4. Ubicación, georreferenciación y descripción ambiental de la planicie ubicada en el sector del río Chorocamayo. El punto de color rojo representa su ubicación espacial dentro del área de estudio.

4.- Porción estuarial del río Chorocamayo.

Coordenadas UTM: 18H; 651583 m Este, 5600863 m sur.

Coordenadas geográficas: 39°43'43,16" S; 73°13'52,39" O.

Planicie rodeada de Totoras (*Scirpus californicus*) casi en su totalidad y con presencia de Huiros (*Potamogeton pusillus*) y Luchecillo (*Egeria densa*) hacia la zona expuesta al cauce principal. En cuanto a estructura superficial, esta planicie presenta algunos surcos producto de la actividad alimenticia de aves y derivados por la acción de corrientes mareales. También presenta algunas estructuras biológicas vestigiales (troncos arbóreos) hacia el sector sur de la misma.

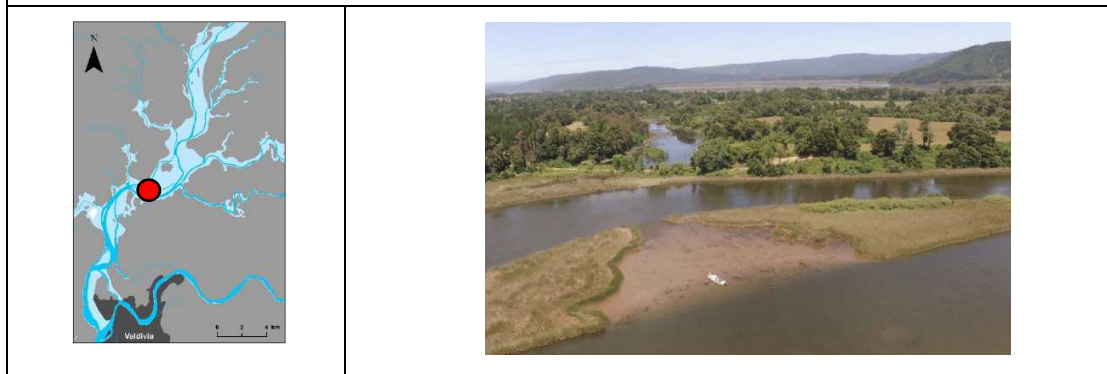


Tabla 4.1.4.5. Ubicación, georreferenciación y descripción ambiental de la planicie ubicada en el sector de La Dehesa. El punto de color rojo representa su ubicación espacial dentro del área de estudio.

5.- Porción estuarial del río Cruces, sector La Dehesa.

Coordenadas UTM: 18H; 649929 m Este, 5600192 m sur.

Coordenadas geográficas: 39°44'05,97" S; 73°15'01,29" O.

Planicie rodeada de Totoras (*Scirpus californicus*) a excepción de la zona expuesta hacia el cauce. Presenta una banda de Luchecillo (*Egeria densa*) hacia el sector del cauce y la superficie expuesta es atravesada por canales mareales insertos en sus alrededores. En cuanto a estructuras superficiales, se presentan extensas áreas con bastante abundancia de troncos arbóreos vestigiales y algunas planicies de menor tamaño con ausencia de estos.



Tabla 4.1.4.6. Ubicación, georreferenciación y descripción ambiental de la planicie ubicada en el sector de Punucapa. El punto de color rojo representa su ubicación espacial dentro del área de estudio.

6.- Porción estuarial del río Cruces, sector Punucapa.
Coordenadas UTM: 18H; 649177 m Este, 5596240 m sur.
Coordenadas geográficas: 39°46'14,57" S; 73°15'29,64" O.

Planicie rodeada de Totora (*Scirpus californicus*), algunos restos de Luchecillo (*Egeria densa*), parches de Huiro (*Potamogeton pusillus*) y canales mareales aladaños. En cuanto a estructuras superficiales, se observan áreas con y sin troncos arbóreos vestigiales. Producto de perturbaciones realizadas por aves en actividad alimentaria, esta planicie presenta en gran parte de su superficie surcos o canales.



Extensiones superficiales de planicies sedimentarias intermareales

Las imágenes de plano cenital (perpendiculares a la superficie), obtenidas con Dron durante el primer año de monitoreo, fueron georreferenciadas y procesadas con un software especializado en sistemas de posicionamiento global (SIG) para su caracterización inicial base.

En la Figura 4.1.4.2 se presenta un ejemplo de los procedimientos de análisis realizados para una de las mismas.

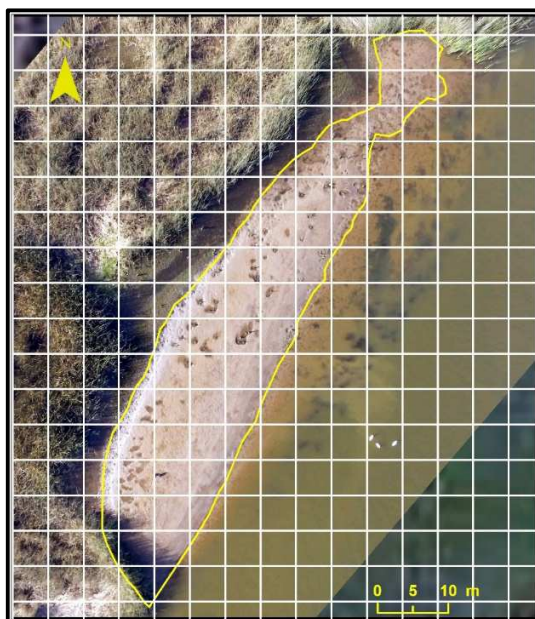


Figura 4.1.4.2. Ejemplo de algunos de los análisis descriptores realizados a fotografías aéreas cenitales capturadas con Dron. Como ejemplo se presenta la planicie del sector de Punucapa ya georreferenciada y en la cual la línea de color amarillo, representa el perímetro y área de la misma no cubierta por vegetación palustre. Cada cuadro representado en la grilla corresponde a un área de 25 m^2 (5 x 5 metros).

La Tabla 4.1.4.7 entrega los valores correspondientes a descriptores de forma, exposición al cauce y similitud geométrica de cada una de las seis planicies sedimentarias estudiadas como referente inicial para el Programa de Monitoreo Ambiental del HRC. Las Figuras 4.1.4.3 y 4.1.4.4 representan una comparación interanual correspondiente a los dos primeros años de este programa.

Como lo evidencia la Tabla 4.1.4.7, los tamaños de las planicies presentan una alta heterogeneidad al igual que sus formas, presentándose sus mayores extensiones superficiales localizadas en el área central del HRC, específicamente en los sectores correspondientes a Chorocamayo y La Dehesa (Fig. 4.1.4.1).

Tabla 4.1.4.7. Resumen comparativo de valores perimetrales, áreas, longitudes de las zonas expuestas al cauce principal y tendencias geométricas de cada una de las seis planicies sedimentarias intermareales incluidas en el Programa de Monitoreo Ambiental del HCR. Los valores han sido aproximados al entero.

sector planicies	perímetro (m)	área (m)	longitud (m)	forma superficial
eje central del río Cruces y Chorocamayo (sector estuarial)				
1 (sector San Luis)	361	4165	147	forma irregular tendiente a un óvalo alargado en posición paralela al cauce principal
2 (sector Santa María)	191	1284	76	forma irregular tendiente a una figura triangular con su lado mayor expuesto al cauce
3 (río Chorocamayo)	339	4099	129	forma de triángulo irregular con su lado mayor expuesto al cauce
4 (sector La Dehesa)	826	17349	224	casi simétrica en forma de cuadrado
5 (sector Punucapa)	204	1123	89	forma tendiente a un rectángulo ovalado con su mayor cara expuesta al cauce
río tributario del río Cruces				
6 (desembocadura río Cayumapu)	115	491	15	forma de un óvalo alargado angostado en el centro

El análisis temporal de las fotografías aéreas (diciembre 2015 vs. diciembre 2016), muestra que en general las superficies areales de las planicies no presentan mayor modificación aparente con respecto a lo registrado al inicio del monitoreo (Fig. 4.1.4.3 y 4.1.4.4).

Durante el período diciembre 2015 - diciembre 2016, las áreas superficiales de estas planicies sólo presentaron pequeñas variaciones, relacionadas primariamente a diferencias en amplitudes mareales correspondientes a las horas de cada muestreo. Sin embargo y en lo que respecta a su delimitación de borde (invasión o retroceso de vegetación palustre), no se presentan mayores modificaciones (Fig. 4.1.4.3 y 4.1.4.4).



Figura 4.1.4.3. Fotografías cenitales de superficies sedimentarias intermareales correspondientes a los sectores de las planicies Fuerte San Luis, Santa María y desembocadura del río Cayumapu. Las fotografías fueron tomadas durante periodos de marea baja en diciembre de los años 2015 y 2016.

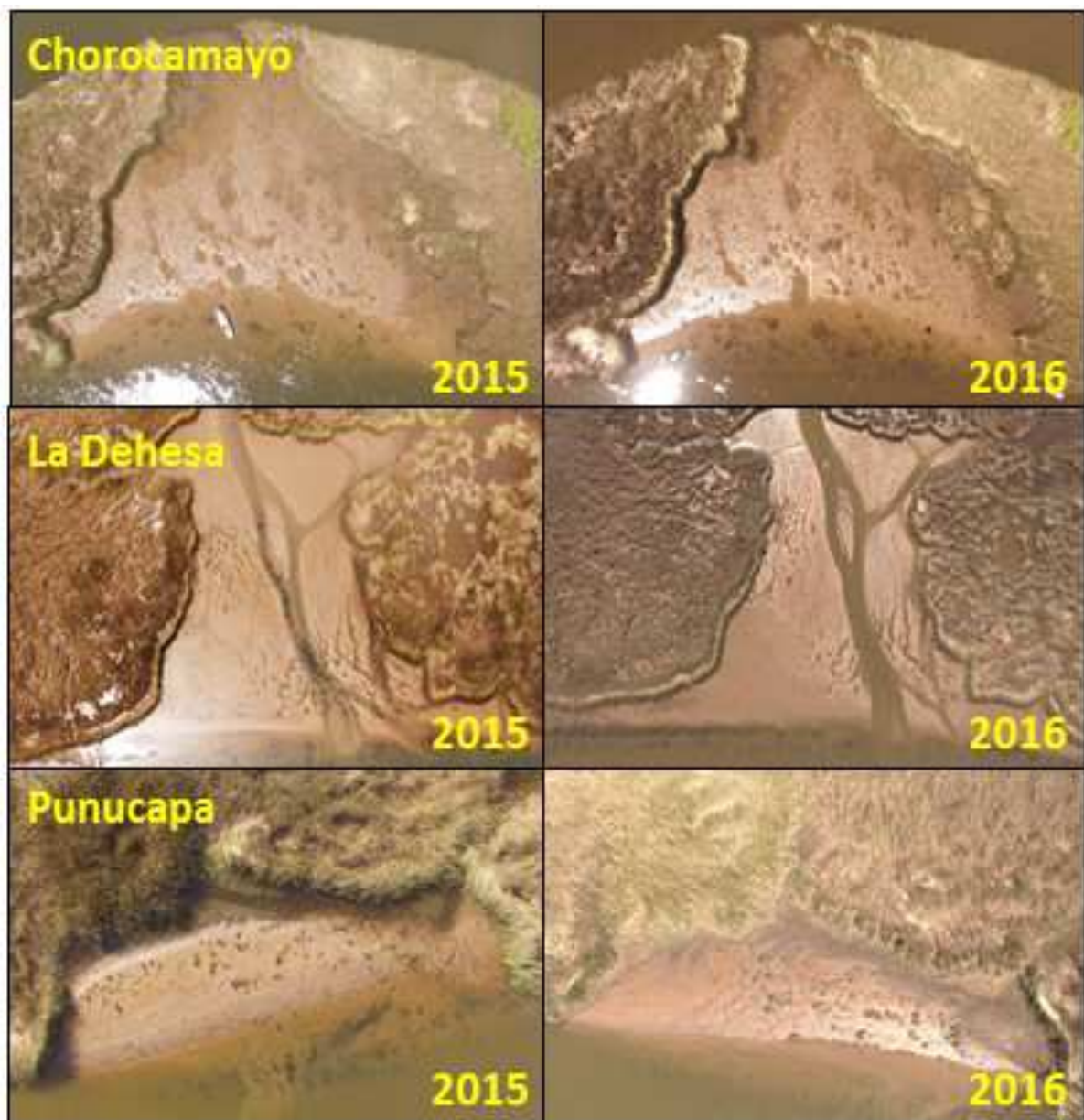


Figura 4.1.4.4. Fotografías cenitales de superficies sedimentarias intermareales correspondientes a los sectores de las planicies río Chorocamayo, La Dehesa y Punucapa. Las fotografías fueron tomadas durante periodos de marea baja en diciembre de los años 2015 y 2016.

Textura y contenido de materia orgánica en sedimentos superficiales

Las Tablas 4.1.4.8 a la 4.1.4.12 muestran los valores porcentuales promedio de los contenidos de grava, arena, agregados biogénicos, fango y materia orgánica total en los sedimentos superficiales de las seis planicies sedimentarias monitoreadas (*i.e.*, sectores San Luis, Santa María, desembocadura del río Cayumapu, río Chorocamayo, La Dehesa y Punucapa) (Fig.4.1.4.1) durante las campañas realizadas durante los dos primeros años del Programa de Monitoreo del HRC. Conjuntamente se entregan también los resúmenes de los análisis estadísticos para evaluar eventuales diferencias entre los resultados de abril y diciembre 2016.

La grava o fracción gruesa (partículas >2000 micrones), tuvo una baja representación porcentual en los sedimentos de las seis planicies muestreadas (<1,5%) (Tabla 4.1.4.8).

La fracción textural dominante en los sedimentos intermareales del área de estudio, correspondió a la fracción arena (*i.e.*, partículas entre 63 y 2000 micrones), cuyos valores porcentuales fluctuaron entre 22,2 % (río Cruces, sector La Dehesa, abril de 2016) y 72.0 % (sector San Luis, diciembre de 2016) (Tabla 4.1.4.9). Sólo se detectaron diferencias significativas ($p < 0,05$) al comparar los porcentajes de arena de los sectores Chorocamayo y La Dehesa; *i.e.*, contenidos de arena más altos durante diciembre 2016 (Tabla 4.1.4.9).

Tabla 4.1.4.8. Valores porcentuales promedio de la fracción grava total en los sedimentos superficiales de las planicies sedimentarias del área de estudio y resumen de los análisis estadísticos (ANDEVA o Kruskal-Wallis, según corresponda) para evaluar eventuales diferencias estacionales entre promedios. Los valores son promedios de cuatro réplicas con desviación estándar en paréntesis; las muestras se obtuvieron durante abril y diciembre del año 2016.

sector planicies	grava (%)		resumen estadístico	
	abril	diciembre	estadígrafo	valor p
Eje central del río Cruces y Chorocamayo (sector estuarial)				
1 (sector San Luis)	0,9 (1,1)	0,0 (0,0)	---	---
2 (sector Santa María)	0,1 (0,1)	0,0 (0,0)	---	---
3 (río Chorocamayo)	0,0 (0,0)	0,0 (0,0)	---	---
4 (sector La Dehesa)	0,2 (0,2)	0,0 (0,0)	---	---
5 (sector Punucapa)	0,1 (0,1)	0,2 (0,3)	F = 0,1	0,715
Río tributario del río Cruces				
6 (desembocadura río Cayumapu)	0,3 (0,3)	1,4 (2,8)	H = 0,1	0,886

Tabla 4.1.4.9. Valores porcentuales promedio de la fracción arena total en los sedimentos superficiales de las planicies sedimentarias del área de estudio y resumen de análisis estadísticos (ANDEVA o Kruskal-Wallis, según corresponda) para evaluar eventuales diferencias estacionales entre promedios. Los valores son promedios de cuatro réplicas con desviación estándar en paréntesis; las muestras se obtuvieron durante abril y diciembre del año 2016. Valores de p en negrilla son significativos ($p < 0,05$).

sector planicies	arena (%)		resumen estadístico	
	abril	diciembre	estadígrafo	valor p
Eje central del río Cruces y Chorocamayo (sector estuarial)				
1 (sector San Luis)	68,7 (6,8)	72,0 (8,7)	F = 0,4	0,552
2 (sector Santa María)	46,9 (25,9)	47,6 (11,7)	H = 0,0	1,000
3 (río Chorocamayo)	35,8 (8,8)	53,2 (6,3)	F = 10,3	0,018
4 (sector La Dehesa)	22,2 (6,5)	57,5 (11,4)	F = 27,5	0,002
5 (sector Punucapa)	63,1 (17,8)	61,1 (16,5)	F = 0,1	0,836
Río tributario del río Cruces				
6 (desembocadura río Cayumapu)	47,3 (14,1)	60,4 (12,9)	F = 1,9	0,215

La segunda fracción textural más representada en los sedimentos intermareales estudiados fue la fracción fango o fracción fina (*i.e.*, partículas con diámetros inferiores a 63 micrones). Los valores porcentuales más bajos se estimaron para los sedimentos de la planicie del sector San Luis (10,6-11,7 %), a la vez que los más altos ocurrieron en la planicie del sector La Dehesa (hasta 44,0 %) (Tabla 4.1.4.10). Los resultados de los análisis estadísticos no evidenciaron diferencias significativas entre promedios estacionales siendo sólo la excepción los porcentajes de fango en el sector La Dehesa, que fueron más altos durante abril del año 2016 (Tabla 4.1.4.10).

Los agregados biogénicos, presentaron su valor porcentual más bajo en los sedimentos de la planicie del sector La Dehesa durante diciembre de 2016 (13,7 %) y los porcentajes más altos en las planicies de los sectores Chorocamayo y La Dehesa (33,6 %) durante abril de 2016 (Tabla 4.1.4.11). Sólo se detectaron diferencias estadísticamente significativas, al comparar los porcentajes estacionales de agregados biogénicos en los sedimentos de las planicies de los sectores Chorocamayo y La Dehesa; *i.e.*, más altos durante abril 2016 (Tabla 4.1.4.11).

Tabla 4.1.4.10. Valores porcentuales promedio de la fracción fango total de los sedimentos superficiales de las planicies sedimentarias del área de estudio y resumen de análisis estadísticos (ANDEVA o Kruskal-Wallis, según corresponda) para evaluar eventuales diferencias estacionales entre promedios. Los valores son promedios de cuatro réplicas con desviación estándar en paréntesis; las muestras se obtuvieron durante abril y diciembre del año 2016. Valores de p en negrilla son significativos ($p < 0,05$).

sector planicies	fango (%)		resumen estadístico	
	abril	diciembre	estadígrafo	valor p
Eje central del río Cruces y Chorocamayo (sector estuarial)				
1 (sector Fuerte San Luis)	10,6 (3,9)	11,7 (2,8)	F = 0,2	0,643
2 (sector Santa María)	24,1 (13,6)	31,1 (9,2)	H = 1,3	0,343
3 (río Chorocamayo)	30,6 (5,2)	31,7 (4,7)	F = 0,1	0,763
4 (sector La Dehesa)	44,0 (1,7)	28,7 (6,3)	F = 20,3	0,004
5 (sector Punucapa)	19,2 (10,4)	23,6 (9,4)	F = 0,5	0,526
Río tributario del río Cruces				
6 (desembocadura río Cayumapu)	24,7 (5,4)	22,8 (4,4)	F = 0,3	0,599

Tabla 4.1.4.11. Valores porcentuales promedio de la fracción agregados biogénicos en los sedimentos superficiales de las planicies sedimentarias del área de estudio y resumen de análisis estadísticos (ANDEVA o Kruskal-Wallis, según corresponda) para evaluar eventuales diferencias entre promedios. Los valores son promedios de cuatro réplicas con desviación estándar en paréntesis; las muestras se obtuvieron durante abril y diciembre del año 2016. Valores de p en negrilla son significativos ($p < 0,05$).

sector planicies	agregados biogénicos (%)		resumen estadístico	
	abril	diciembre	estadígrafo	valor p
Eje central del río Cruces y Chorocamayo (sector estuarial)				
1 (sector Fuerte San Luis)	19,8 (5,1)	16,4 (6,7)	F = 0,8	0,435
2 (sector Santa María)	28,9 (13,4)	21,3 (7,5)	F = 1,0	0,365
3 (río Chorocamayo)	33,6 (4,5)	15,1 (2,3)	F = 59,8	< 0,001
4 (sector La Dehesa)	33,6 (5,4)	13,7 (6,0)	F = 20,7	0,004
5 (sector Punucapa)	17,6 (7,4)	15,1 (7,3)	F = 0,2	0,667
Río tributario del río Cruces				
6 (desembocadura río Cayumapu)	27,7 (11,5)	15,4 (8,4)	F = 3,1	0,130

Contenido de materia orgánica total en sedimentos superficiales

Los porcentajes de materia orgánica total en el sedimento superficial de las planicies intermareales no mostraron tendencias definidas en cuanto a meses de muestreo; sólo se detectaron diferencias estacionales significativas ($p < 0,05$) en el sector La Dehesa; *i.e.*, valores más altos durante la campaña de abril 2016 (Tabla 4.1.4.12).

Tabla 4.1.4.12. Valores porcentuales promedio de materia orgánica total en los sedimentos superficiales de las planicies sedimentarias del área de estudio y resumen de análisis estadísticos (ANDEVA o Kruskal-Wallis, según corresponda) para evaluar eventuales diferencias estacionales entre promedios. Los valores son promedios de cuatro réplicas con desviación estándar en paréntesis; las muestras se obtuvieron durante abril y diciembre del año 2016. Valores de p en negrilla son significativos ($p < 0,05$).

sector planicies	materia orgánica (%)		resumen estadístico	
	abril	diciembre	estadígrafo	valor p
Eje central del río Cruces y Chorocamayo (sector estuarial)				
1 (sector Fuerte San Luis)	7,9 (1,7)	9,30 (3,25)	F = 0,5	0,511
2 (sector Santa María)	12,9 (4,4)	14,11 (1,60)	H = 0,0	1,000
3 (río Chorocamayo)	10,6 (3,0)	9,05 (0,69)	F = 0,8	0,394
4 (sector La Dehesa)	15,0 (1,0)	7,65 (1,17)	F = 82,2	< 0,001
5 (sector Punucapa)	6,5 (2,7)	10,02 (3,40)	F = 2,6	0,155
Río tributario del río Cruces				
6 (desembocadura río Cayumapu)	10,3 (2,3)	8,03 (1,20)	F = 3,1	0,130

pH y POR en sedimentos superficiales

Las Tablas 4.1.4.13 y 4.1.4.14 muestran los valores de pH y POR en los sedimentos superficiales de las seis planicies monitoreadas en el área de estudio (Fig. 4.1.4.1), durante las campañas de abril y diciembre del año 2016. Se muestran también los valores resultantes de los análisis estadísticos realizados para evaluar eventuales diferencias entre promedios estacionales.

Los valores de pH fluctuaron entre 6,6 y 7,8 (sectores Santa María durante abril 2016 y San Luis durante diciembre 2016, respectivamente). Se detectaron diferencias estacionales significativas ($p < 0,05$) al comparar los valores estacionales de pH en los sectores San Luis, Santa María (más altos en diciembre), La Dehesa y Punucapa (más altos en abril 2016) (Tabla 4.1.4.13).

Tabla 4.1.4.13. Valores de pH obtenidos en sedimentos superficiales de las planicies sedimentarias del área de estudio y resumen de análisis estadísticos (ANDEVA o Kruskal-Wallis, según corresponda) para evaluar eventuales diferencias estacionales entre promedios. Los valores son promedios de cuatro réplicas con desviación estándar en paréntesis; las muestras se obtuvieron durante abril y diciembre del año 2016. Valores de p en negrilla son significativos ($p < 0,05$).

sector planicies	pH		resumen estadístico	
	abril	diciembre	estadígrafo	valor p
Eje central del río Cruces y Chorocamayo (sector estuarial)				
1 (sector Fuerte San Luis)	6,8 (0,1)	7,8 (0,4)	H = 5,4	0,029
2 (sector Santa María)	6,6 (0,1)	7,3 (0,3)	F = 15,0	0,008
3 (río Chorocamayo)	7,4 (0,4)	7,1 (0,2)	H = 3,0	0,114
4 (sector La Dehesa)	7,6 (0,3)	6,8 (0,1)	F = 29,0	0,002
5 (sector Punucapa)	7,3 (0,0)	6,8 (0,1)	F = 59,4	< 0,001
Río tributario del río Cruces				
6 (desembocadura río Cayumapu)	7,3 (0,4)	6,9 (0,2)	F = 3,4	0,093

Los valores de POR mostraron una amplia variabilidad espacio temporal, con un valor positivo máximo de 43,5 mV (sector Punucapa; abril 2016) y un valor negativo máximo de -123,7 mV (sector Chorocamayo, diciembre de 2016) (Tabla 4.1.4.14). Los análisis estadísticos llevados a cabo para evaluar eventuales diferencias estacionales en los valores de POR, muestran que los sedimentos superficiales de Santa María, Chorocamayo y Punucapa, difirieron significativamente ($p < 0,05$) entre abril y diciembre 2016; *i.e.*, durante diciembre los valores de POR en estas planicies

fueron negativos *versus* los positivos de abril, lo que evidencia condiciones de mayor reducción o menor contenido de oxígeno en el espacio intersticial durante la primavera del año 2016 (Tabla 4.1.4.14).

Tabla 4.1.4.14. Valores de POR obtenidos en sedimentos superficiales de planicies sedimentarias del área de estudio durante las campañas de febrero, abril y diciembre del año 2016. Los valores son promedios de cuatro replicas con desviación estándar en paréntesis. Se incluye además el resumen de análisis estadísticos (ANDEVA o Kruskal-Wallis, según corresponda) y Prueba *a posteriori* de Tukey para evaluar eventuales diferencias entre promedios. Valores de p en negrilla son significativos ($p < 0,05$).

sector planicies	POR		resumen estadístico	
	abril	diciembre	estadígrafo	valor p
Eje central del río Cruces y Chorocamayo (sector estuarial)				
1 (sector Fuerte San Luis)	7,6 (13,1)	7,0 (14,8)	F = 0,0	0,948
2 (sector Santa María)	12,6 (9,5)	-92,8 (7,7)	F = 301,4	< 0,001
3 (río Chorocamayo)	7,0 (9,7)	-123,7 (26,4)	F = 79,4	< 0,001
4 (sector La Dehesa)	-24,6 (36,3)	10,4 (4,9)	H = 4,1	0,057
5 (sector Punucapa)	43,5 (9,3)	-40,8 (18,4)	F = 63,4	< 0,001
Río tributario del río Cruces				
6 (desembocadura río Cayumapu)	17,8 (22,5)	-0,63 (7,7)	H = 0,8	0,486

Relaciones POR *versus* características texturales (% fango) y contenido de materia orgánica total (MO) de sedimentos superficiales

La Figura 4.1.4.5 presenta los resultados de los análisis de regresión lineal por campañas (abril y diciembre de 2016), realizados para evaluar eventuales correlaciones entre los valores de POR y contenidos porcentuales de fango y materia orgánica total. Para ello se usaron 24 valores por campaña, los que resultan de multiplicar seis planicies por cuatro réplicas por campaña.

La variabilidad espacio-temporal del POR, estuvo significativa ($p < 0,05$) y negativamente asociada a la de los contenidos porcentuales de fango y materia orgánica total; los valores de POR fueron más negativos (*i.e.*, condiciones de menor oxigenación en el espacio intersticial) en aquellos sedimentos con mayor concentración de partículas finas y materia orgánica (Fig. 4.5.4.5). Tal tipo de relación parece ser más robusta cuando se analizan los datos de la campaña primaveral (diciembre 2016), conclusión evidenciada por las pendientes más marcadas de las curvas que representan esa campaña y por los valores más altos del coeficiente de determinación (r^2) estimados para los datos de diciembre.

No obstante lo anterior, los bajos valores de r^2 ($< 0,32$) resultantes de estos análisis, indican que un bajo porcentaje de la variabilidad espacial del POR ($< 32\%$) puede ser explicado por la variabilidad espacio-temporal del porcentaje de fango y materia orgánica total. Por lo tanto, o hay otros factores que influyan en la variabilidad espacio-temporal del POR o la cantidad de datos hasta ahora analizados es baja y por lo tanto, las conclusiones de estos análisis deben tomarse con precaución. Probablemente, esto se irá clarificando a medida que el Programa de Monitoreo Ambiental del HRC genere mayor cantidad de datos.

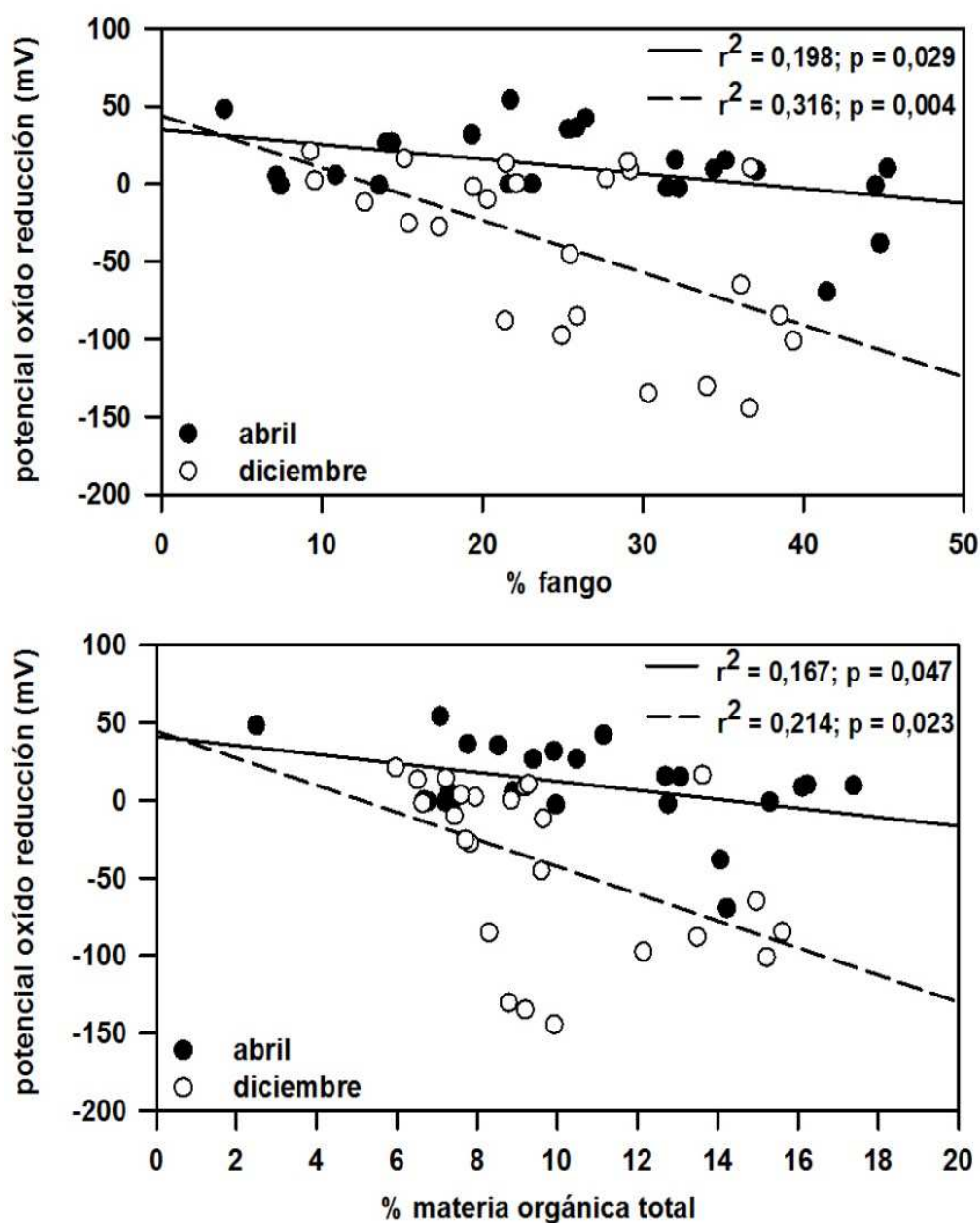


Figura 4.1.4.5. Variabilidad del Potencial de Oxido Reducción (POR) en relación a la variabilidad de los porcentajes de fango y materia orgánica total en los sedimentos superficiales de las planicies intermareales estudiadas durante las campañas de abril y diciembre de 2016.

Variabilidad vertical de pH y POR en el sedimento

Las Figuras 4.1.4.6 y 4.1.4.7 muestran la variabilidad vertical de los valores estratigráficos de pH y POR en cada una de las seis planicies muestreadas en el HRC (Fig. 4.1.4.1), durante a las campañas de abril y diciembre 2016.

Los perfiles verticales de pH, mostraron en general valores más altos en los estratos superficiales (<2 cm de profundidad) y durante la campaña de diciembre 2016, tendencia especialmente notoria en la planicie del sector La Dehesa (Fig. 4.1.4.6).

Los perfiles verticales de POR, muestran sus valores más bajos o negativos durante diciembre 2006 y hacia los estratos más profundos de las columnas sedimentarias analizadas (Fig. 4.1.4.7). Es decir, durante ese mes y más abajo de los 2-3 cm de profundidad, dominaron las condiciones reductoras (< 0 mV) o de menor oxigenación en el espacio intersticial. La Figura 4.1.4.7 muestra también, que durante abril, los sedimentos de los sectores San Luis y Santa María (ambos ubicados hacia el cabezal de la zona estuarial del HRC) registraron casi en toda la columna estratigráfica valores positivos. Esto indica la presencia de condiciones menos reductoras o con mayor oxigenación en el espacio intersticial, que las medidas durante diciembre en los mismos sectores.

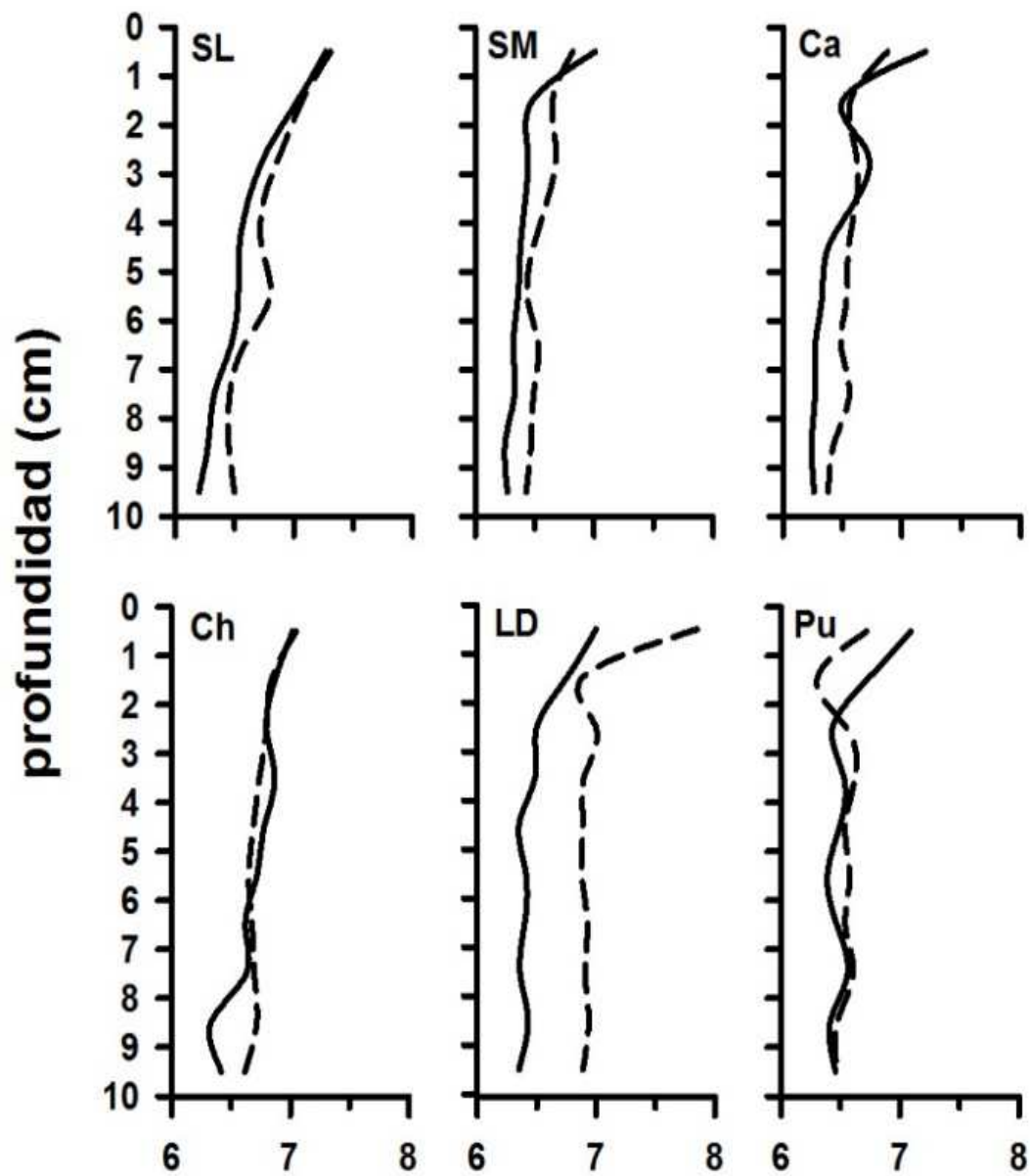


Figura 4.1.4.6. Perfiles verticales de pH para los ambientes intermareales sedimentarios correspondiente a las seis planicies objeto del Programa de Monitoreo del HRC. La línea continua corresponde a la campaña de abril de 2016 y la línea segmentada a diciembre de 2016. SL=San Luis, SM=Santa María, Ca=Cayumapu, Ch=Chorocamayo, LD=La Dehesa y Pu=Punucapa.

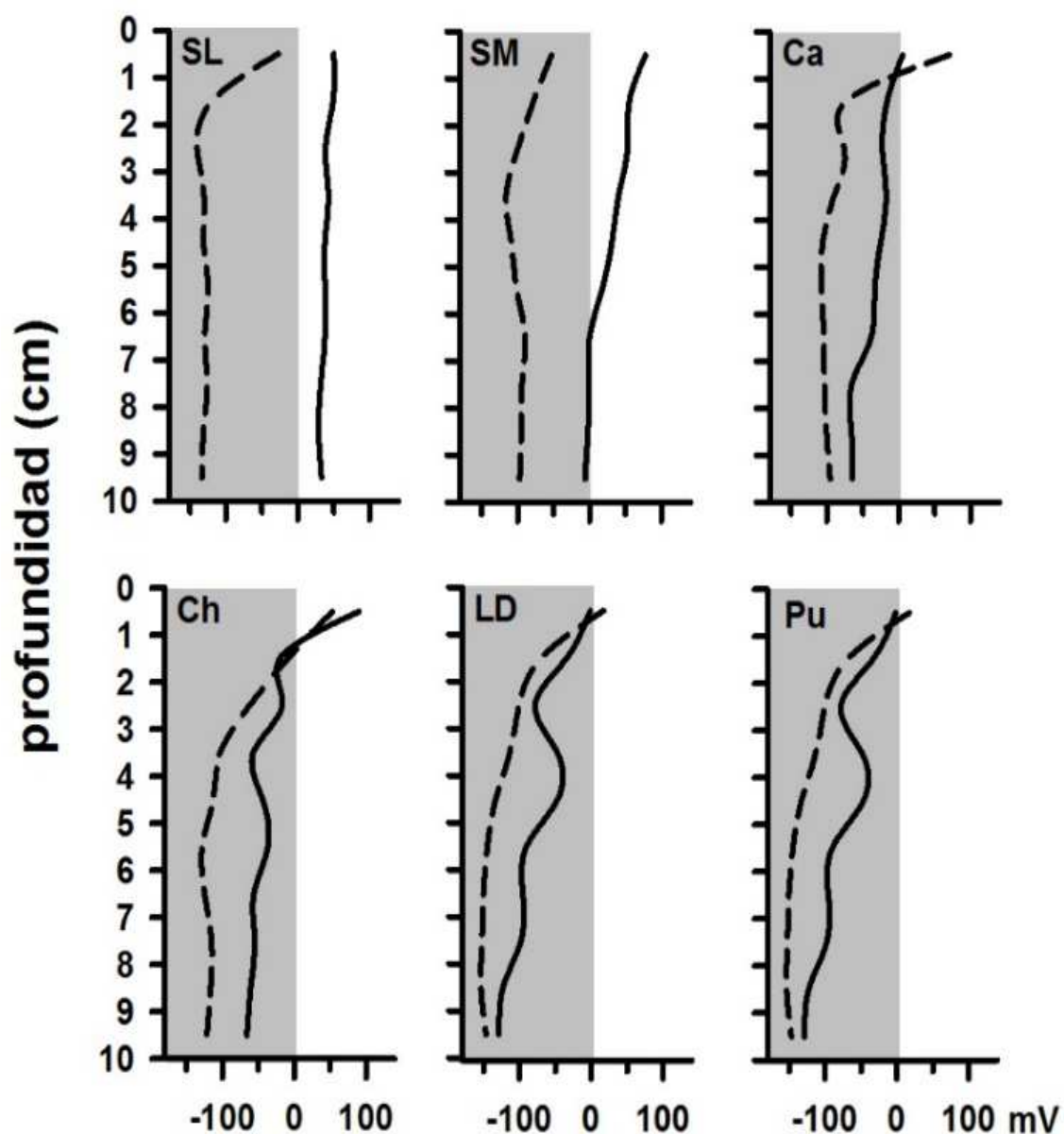


Figura 4.1.4.7. Registro de perfiles verticales de POR (Potencial de Óxido Reducción) para los ambientes intermareales sedimentarios correspondiente a las seis planicies objeto del Programa de Monitoreo del HRC. Los resultados se expresan en mili Volts (mV); el área sombreada corresponde a los valores negativos o zona de menor oxigenación en el espacio intersticial del sedimento. La línea continua corresponde a la campaña de abril de 2016 y la línea segmentada a diciembre de 2016. SL=San Luis, SM=Santa María, Ca=Cayumapu, Ch=Chorocamayo, LD=La Dehesa y Pu=Punucapa.

4.1.4.5. Conclusiones

- Las extensiones areales y formas de las planicies estudiadas muestran una amplia heterogeneidad espacial. Los estudios hasta ahora realizados (abril y diciembre 2016), no muestran cambios notorios en esos atributos.
- Los resultados de los análisis texturales de los sedimentos superficiales muestran que durante las campañas realizadas, la fracción textural dominante en las seis planicies muestreadas ha sido la arena (partículas con diámetros nominales entre 63 y 2000 micrones), especialmente en las del sector San Luis.
- Los resultados de los mismos análisis anteriormente mencionados, muestran que los sedimentos superficiales de la planicie del sector La Dehesa, fueron los de mayor variabilidad estacional en cuanto a porcentajes de arena, fango, agregados biogénicos y materia orgánica total.
- La variabilidad espacio temporal en los contenidos de materia orgánica total (<15%) en los sedimentos superficiales analizados, muestra que no es posible determinar dominancia de procesos de depositación o erosión.
- Los datos superficiales y verticales de POR, caracterizan a las planicies sedimentarias intermareales como ambientes primariamente reductores o con bajos contenidos de oxígeno en el espacio intersticial de los sedimentos.

4.1.4.6. Referencias

Anderson F., Black L., Mayer L. & Watling L. 1981. A Temporal and Spatial Study of Mudflat Texture. *Northeastern Geology*. 3: 184-191.

Byers S., Mills E. & P. Steward. 1978. A Comparison of Methods of Determining Organic Carbon in Marine Sediments, With Suggestion for a Standard Method. *Hydrobiologia*. 58: 43-47.

Choi K. 2014. Morphology, Sedimentology and Stratigraphy of Korean Tidal Flats—Implications for Future Coastal Managements. *Ocean & Coastal Management*. 102: 437-448.

Fagherazzi S., FitzGerald D. M., Fulweiler R. W., *et al.*, 2013. Ecogeomorphology of Tidal Flats. In: Shroder J. (editor in Chief), Butler D. R. (Eds.), *Treatise on Geomorphology*. Academic Press, San Diego, CA. 12: 201-220.

Ma G., Han Y., Niroomandi A., Lou S. & Liu S. 2014. Numerical Study of Sediment Transport on a Tidal Flat with a Patch of Vegetation. *Ocean Dynamics*, 65: 203-222.

Miththapala S. 2013. Tidal flats. Coastal Ecosystems Series. Colombo, Sri Lanka: IUCN. Vol. 5. pp. 48.

Pethick J. S. 1984. *An Introduction to Coastal Geomorphology*: Dept. of Geography, University of Hull. 260 pp.

Pino M., Busquets T. & Brümmer R. 1999. Temporal and Spatial Variability in the Sediments of a Tidal Flat, Queule River Estuary, South-Central Chile. *Revista Geológica de Chile*. 26: 187-204.

Reineck H. E. 1972. Tidal Flats. In: Rigby, J. K., Hamblin, W.K. (Eds.). *Recognition of Ancient Sedimentary Environments*. SEPM. pp. 1. 46-159.

Reise K. 1985. *Tidal flat ecology: An Experimental Approach to Species Interaction*. Springer-Verlag, New York. 191 pp.

Sokal, R. & F. Rohlf. 1995. *Biometry: the principles and practice of statistics in biological research*. W.H. Freeman, New York 877 pp.

Whitlatch R. B. 1982. *The Ecology of New England Tidal Flats: A Community Profile*. U.S. Fish and Wildlife Service, Biological Services Program, Washington, D.C. 125 pp.

4.2. COMPONENTES BIOTICOS

4.2.1. MACROFITAS ACUÁTICAS

4.2.1.1. Análisis espacio - temporal de la calidad del agua y cobertura de macrófitas acuáticas mediante sensores remotos

4.2.1.1.1. Antecedentes

La importancia de las macrófitas acuáticas para el ecosistema del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios (HRC) ha sido documentada en diversos estudios realizados a partir del año 2004, evidenciando su aporte como alimento para las especies de aves acuáticas herbívoras del humedal como los cisnes de cuello negro y las Taguas. En ese respecto, las macrófitas acuáticas son un elemento clave del funcionamiento ecosistémico del HRC, aportando no sólo al flujo de energía y materia de la cadena trófica del humedal, sino también a la estructura del paisaje del mismo. En el año 2014, el Programa de Diagnóstico Ambiental del Humedal del río Cruces y sus ríos tributarios (HRC), permitió recopilar una serie de indicadores de distribución y cobertura de las principales plantas acuáticas de interés, al igual que indicadores de calidad de agua (principalmente reflectancia). Dicho estudio se basó en el uso de información de terreno en conjunto con imágenes de sensores remotos, empleando el archivo de imágenes satelitales Landsat disponibles para el HRC para generar una estimación espacial y temporal de cobertura para las especies más importantes de macrófitas acuáticas, al igual que series de tiempo espaciales de indicadores de calidad de agua.

Los resultados del Programa de Diagnóstico Ambiental del HRC, entregaron una estimación espacialmente explícita de la cobertura y transparencia del agua para el periodo primaveral del año 2014, al igual que una estimación retrospectiva de estos indicadores para el periodo previo y posterior al año 2004.

Posteriormente, durante el primer año del Programa de Monitoreo Ambiental del HRC se actualizó esa información con datos de la primavera del año 2015. Ambos estudios han permitido documentar la importancia de las macrófitas acuáticas presentes en el HRC, al igual que la dinámica sucesional observada tras una década de recuperación del humedal. En este contexto, el presente estudio reporta los resultados del segundo año del Programa de Monitoreo Ambiental del HRC, correspondiente a la temporada primaveral del año 2016. Este trabajo tiene como objetivo continuar el estudio sistemático de la cobertura y distribución de las plantas acuáticas dominantes del humedal mediante el uso de modelos de distribución basados en información obtenida mediante sensores remotos. Así, se modelan y representan cartográficamente la distribución a lo largo del HRC de aquellas plantas acuáticas más relevantes. De igual forma, se analizó la variación espacial en la reflectancia, parámetro utilizado como indicador de la transparencia del agua en los distintos sectores del HRC.

Las estimaciones basadas en la información de sensores remotos fueron complementadas con observaciones de terreno tanto de presencia de macrófitas acuáticas, como mediciones de un conjunto de parámetros físicos y químicos de calidad de agua. De esta forma, se comparan los resultados obtenidos durante la primavera 2016 con aquellas mediciones realizadas durante los períodos primaverales de los años 2014 y 2015, a fin de determinar el grado de variabilidad temporal observado en la calidad de agua del HRC. De esta forma, el presente estudio espera aportar a la conservación y manejo del HRC, mediante el estudio de la variación temporal de descriptores espacialmente explícitos de calidad del agua y distribución de macrofitas acuáticas.

4.2.1.1.2. Objetivos

- Evaluar, mediante el uso de indicadores estimados mediante sensores remotos, la variabilidad espacial y temporal en la calidad de agua y cobertura de macrófitas acuáticas del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios, durante la primavera del año 2016.
- Comparar los resultados obtenidos durante esa primavera, con los resultantes del Programa de Diagnóstico Ambiental del HRC (primavera 2014) y del primer año del Programa de Monitoreo Ambiental del mismo humedal (primavera 2015).

Por indicador de calidad de agua, se entiende el análisis de la reflectancia de las imágenes asociadas a los colores primarios de la luz visible (azul, verde y rojo), así como de la imagen asociada al infrarrojo cercano.

Por cobertura de macrófitas, se entiende el análisis de los siguientes indicadores estimados mediante sensores remotos:

- Determinación de los píxeles con presencia de plantas macrófitas acuáticas en el humedal del río Cruces y sus ríos tributarios.
- Delimitación de los polígonos que describen la presencia de plantas macrófitas acuáticas sobre el HRC en distintos sectores de interés.

4.2.1.1.3. Material y métodos

Obtención de imágenes satelitales

De acuerdo a la metodología empleada durante el desarrollo del Programa de Diagnóstico Ambiental del HRC (primavera 2014) y primer año del Programa de Monitoreo Ambiental del mismo (primavera 2015), se analizaron imágenes satelitales en base a la información contenida en los archivos históricos de imágenes captadas por la misión satelital Landsat 8. Para ello, se realizó una búsqueda en los registros de archivo, contemplando el periodo comprendido entre los meses de septiembre y

diciembre del año 2016. La información a analizar fue obtenida desde el Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS; <http://earthexplorer.usgs.gov/>).

Al igual que en estudios previos del humedal, el área de estudio tiene como punto central las coordenadas 40°19'20"S, 72°51'00"W, correspondiente a la región comprendida en la combinación 233/88 del Sistema Mundial de Referencia 2 (WRS-2). Para poder contar con imágenes adecuadas, se examinó el archivo de imágenes buscando seleccionar aquellas fechas para las cuales se contara con una baja cobertura de nubes sobre el humedal. Usualmente esto corresponde a imágenes satelitales con una cobertura de nubes inferior al 20% del área de barrido satelital en la celda 233/88 WRS2.

La búsqueda realizada permitió contar con una imagen única pero adecuada para los fines del presente análisis y correspondiente al día 30 de noviembre de 2016; otras tres imágenes existentes en el archivo, presentaron cobertura de nubes sobre el área del HRC. En la Figura 4.2.1.1.1 se muestra una representación de verdadero color (imagen tricromática en base a las bandas de color rojo, verde azul) de la escena captada por el sensor OLI / Landsat 8, para el área de estudio el día 30 de noviembre del año 2016.

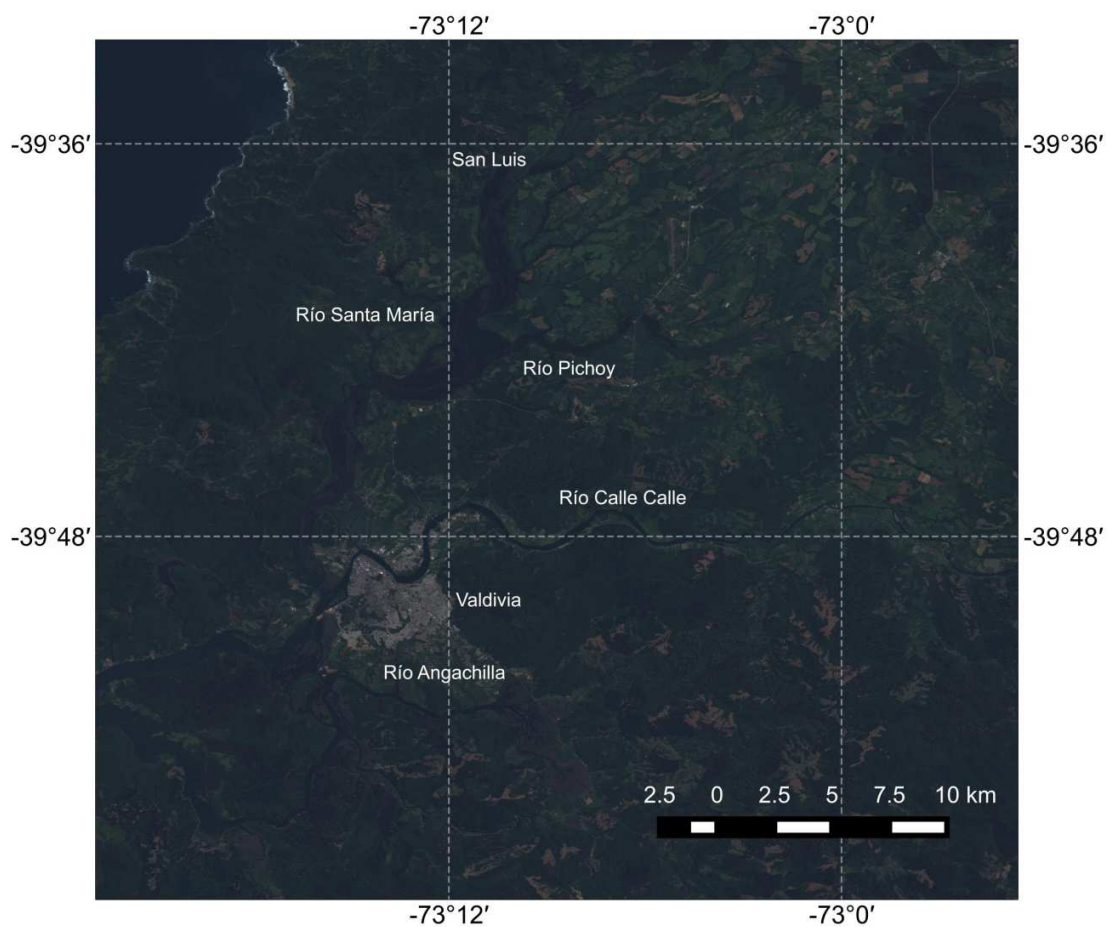


Figura 4.2.1.1.1. Área de estudio. Se ilustra una imagen de color verdadero, basada en la combinación de las bandas rojo, verde y azul (bandas 4, 3, 2 del sensor Landsat 8). La imagen corresponde al día 30 de noviembre del año 2016. Imagen proyectada en coordenadas UTM WSG 84, Huso 18 Sur.

Procesamiento y corrección de imágenes satelitales

De forma similar a lo realizado en los estudios de los años 2014 y 2015, la imagen satelital obtenida del archivo histórico del sensor OLI fue procesada y calibrada radiométricamente, y corregida de acuerdo a lo descrito para aguas turbias (caso-2), mediante las ecuaciones y parámetros descritos en la literatura (Chander & Markham 2003; Hwan-Ahn *et al.*, 2004; Lagos *et al.*, 2008). Estos procedimientos permitieron la transformación de los valores de los números digitales (DN) presentes en las distintas bandas de datos de cada imagen a valores de porcentajes de reflectancia atmosférica superior (R_{TOA}), permitiendo la comparación con imágenes obtenidas en diferentes fechas, o bien con imágenes captadas por diferentes sensores, como por ejemplo, los sensores TM, TM+ o ETM, correspondientes a las misiones Landsat anteriores a la misión Landsat 8. A Dadas las características del HRC, y conforme a los estudios previos, se aplicó una corrección atmosférica para aguas turbias caso-2, mediante el método de *path extraction* (Lagos *et al.*, 2008; Hwan-Ahn *et al.*, 2004). Esta transformación permite dar cuenta de los efectos de la absorción y dispersión sobre la reflectancia del agua. Estos efectos se deben a la radiación difusiva causada por la dispersión de fotones por las moléculas de aire y aerosoles. Esta se suma a aquella causada por el reflejo en la superficie del agua por efecto de los sólidos suspendidos totales (SST), clorofila y la materia orgánica disuelta opaca (CDOM). La corrección mediante *path extraction* se centra en la substracción de la irradiancia mínima o *path radiance* (r_{path}) de la banda para toda la imagen. Este método asume que la señal R_{TOA} se reduce a r_{path} en el caso de las aguas azules claras, debido a que estas presentan valores mínimos de reflectancia (Antoine & Morel, 1999). Además, se asume que el valor de r_{path} es homogéneo a través de la escena Landsat (ver Hwan-Ahn *et al.*, 2004) para las ecuaciones correspondientes y parámetros. Una vez realizadas estas correcciones, se extrajo para cada imagen el valor de reflectancia a partir de las bandas correspondientes al espectro de luz visible e infrarrojo cercano. En el caso del sensor OLI (misión Landsat 8) estas bandas corresponden a las bandas 2 a 5.

Para estimar la calidad del agua se analizaron los perfiles espectrales de reflectancia de las cuatro bandas (2 a 5). De igual forma, se calculó la razón entre las bandas azul y verde (bandas 2 y 3) como indicador sustituto del nivel de clorofila en el agua (Parslow & Harris, 1990; Peñuelas *et al.*, 1993). El sensor a bordo del satélite Landsat 8 entrega imágenes con una resolución espacial de entre 15 y 30 m, dependiendo de la banda de radiación a analizar. La Tabla 4.2.1.1.1 indica las longitudes de onda correspondientes a las distintas bandas del sensor OLI, al igual que la resolución espacial correspondiente a cada banda.

Tabla 4.2.1.1.1. Bandas del sensor OLI, misión Landsat 8. La Tabla muestra, para las distintas bandas del sensor OLI los atributos o colores que capta cada banda, al igual que la longitud de onda y la resolución espacial o tamaño de pixel.

banda	atributo o color	longitud de onda (μm)	resolución (m)
1	Aerosol costero	0,43 – 0,45	30
2	Azul	0,45 – 0,51	30
3	Verde	0,53 – 0,59	30
4	Rojo	0,64 – 0,67	30
5	Infrarrojo cercano	0,85 – 0,88	30
6	Infrarrojo de onda corta 1	1,57 – 1,65	30
7	Infrarrojo de onda corta 2	2,11 – 2,29	30
8	Imagen Pancromática	0,50 – 0,68	15
9	Cirrus	1,36 – 1,38	30
10	Infrarrojo térmico (TIRS) 1	10,60 – 11,19	100 x (30)
11	Infrarrojo térmico (TIRS) 2	11,50 – 12,51	100 x (30)

Cabe señalar que no se consideraron las bandas 9, 10 y 11. La primera está definida para identificar presencia de nubes cirrus, mientras que las dos últimas difieren en la resolución de origen, siendo re-muestreadas a partir de una escala de 100 m a la resolución final de 30 m. De igual forma, en el caso de la imagen pancromática, dado que esta banda integra información de un rango más amplio de longitud de onda, y que es interpolada a una resolución mayor, no ha sido considerado para los esfuerzos de modelamiento de distribución. Ello debido a que su

superposición con las bandas restantes, y diferencia en resolución pueden llevar a artefactos o errores en el ajuste del modelo de distribución de plantas acuáticas.

Obtención de registros de presencia de macrófitas acuáticas

Para poder contar con registros de presencia para las macrófitas acuáticas presentes en el HRC, se llevaron a cabo prospecciones en diferentes sectores del área de estudio, seleccionándose aquellos en los que se observó presencia de áreas monoespecíficas o con dominancia de determinadas especies plantas. Se registraron datos georeferenciados de presencia de parches de las siguientes especies: Luchecillo (*Egeria densa*), Huiro (*Potamogeton pusillus*), Huiro verde (*Potamogeton lucens*), Loto (*Nymphaea alba*), Totorá (*Scirpus californicus*) y Flecha de agua (*Sagittaria montevidensis*). La información recolectada fue consolidada en planillas de cálculo Excel (Microsoft Office ©), mientras que las georeferenciaciones se consolidaron en un archivo Shape de Arcgis. Así, la información una vez recolectada y verificada fue consolidada en una base de datos geoespacial en el programa QGIS.

Todas las coordenadas fueron verificadas y almacenadas en archivos con una proyección WSG84/UTM, utilizando el Huso 18 Sur. A fin de resumir la información obtenida se definieron polígonos de estudio para el cálculo de cobertura de macrófitas acuáticas y estimación de parámetros de calidad de agua. La Figura 4.2.1.1.2 muestra la distribución espacial de dichos polígonos a lo largo del humedal.

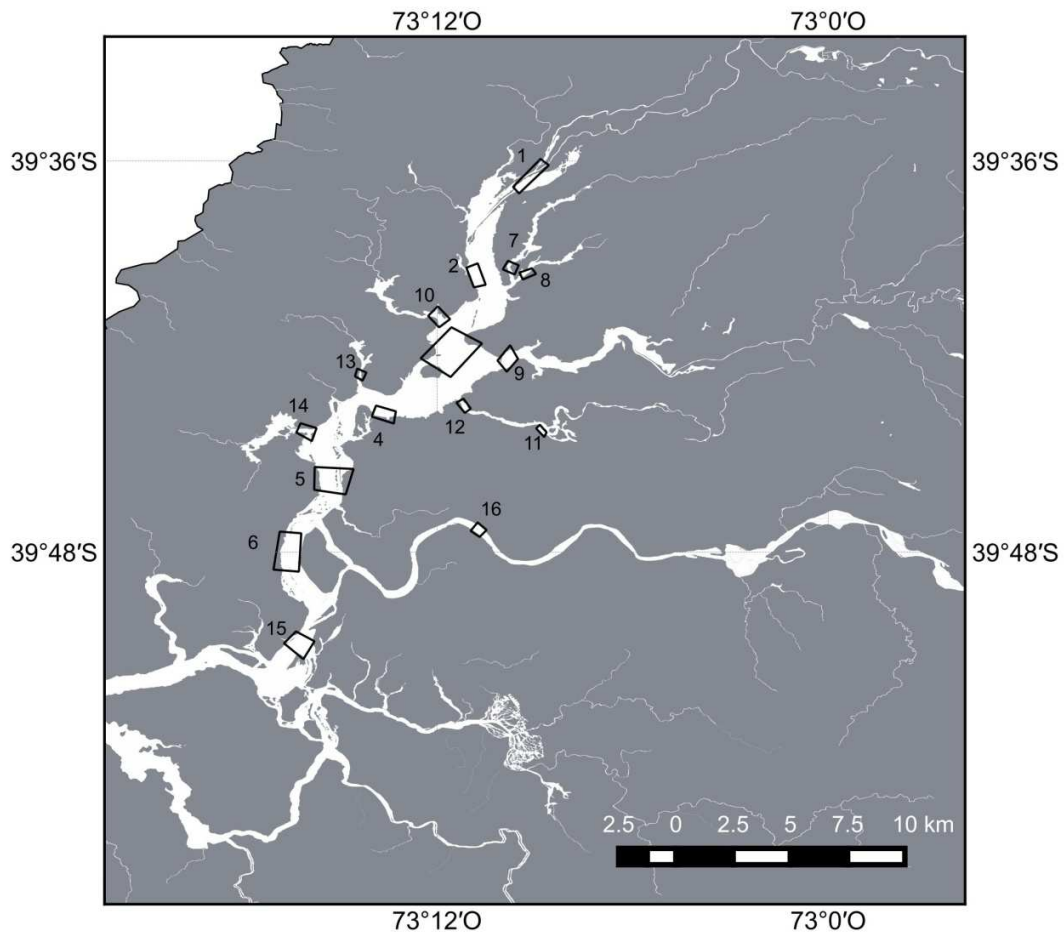


Figura 4.2.1.1.2. Polígonos de estudio para el cálculo de cobertura de macrófitas acuáticas y estimación de parámetros de calidad de agua. La imagen de fondo corresponde a la distribución de los principales cursos de agua en los sitios de estudio. Imagen proyectada en coordenadas UTM WSG 84, Huso 18 Sur.

En la Figura 4.2.1.1.3 se ilustran los puntos de muestreo de macrófitas acuáticas a lo largo del HRC, representando distintos parches monoespecíficos o dominantes de las especies de plantas estudiadas.

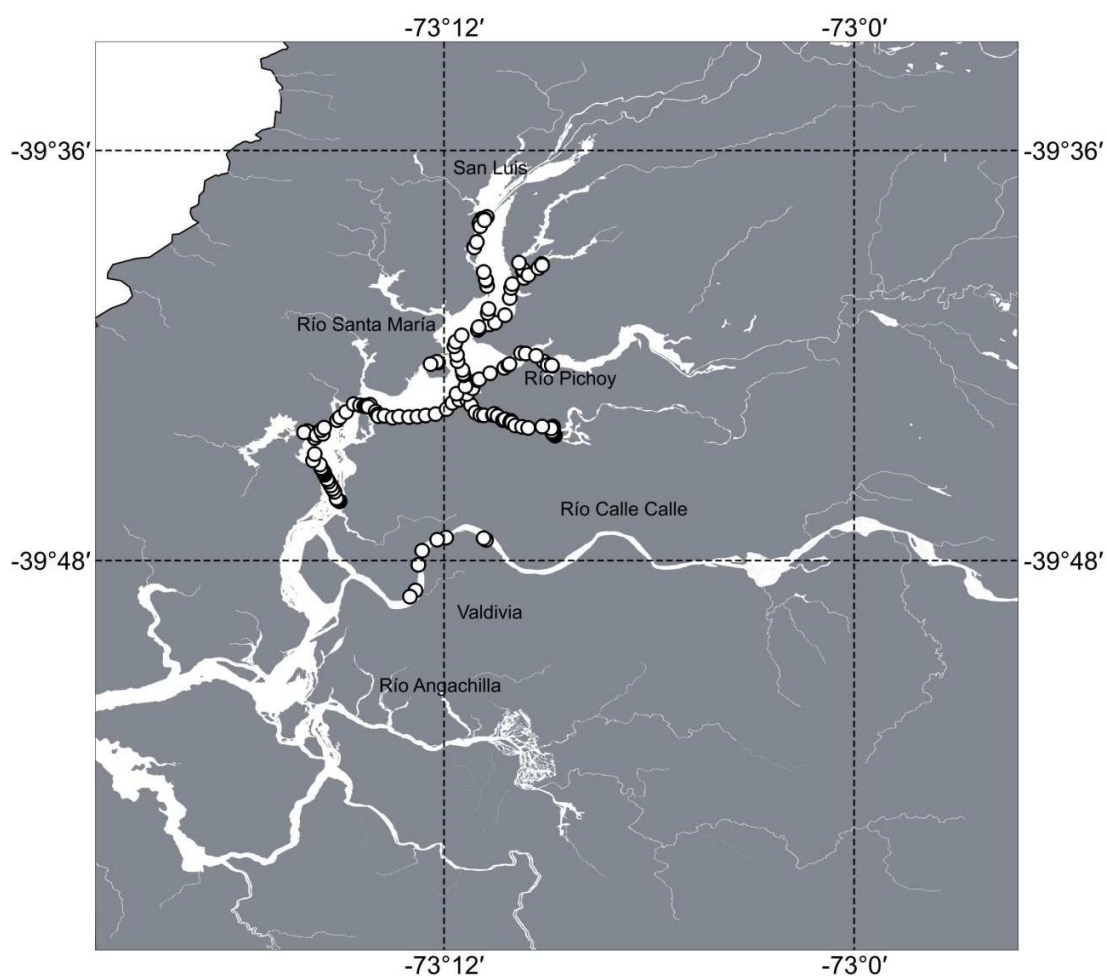


Figura 4.2.1.1.3. Puntos de muestro para la distribución de macrófitas acuáticas mediante georeferenciación de parches mono-específicos. Se ilustran aquellos puntos en los que se determinó la presencia de plantas acuáticas (círculos blancos). La imagen de fondo corresponde a la distribución de los principales cursos de agua en los sitios de estudio. Imagen proyectada en coordenadas UTM WSG 84, Huso 18 Sur.

Obtención de registros de indicadores de calidad de agua

A fin de contar con estimaciones empíricas para la calidad del agua, se tomaron muestras en terreno de temperatura (°C), pH, conductividad, sólidos disueltos, concentración y saturación de oxígeno, sólidos suspendidos totales y transparencia entre los días 9 - 13 de diciembre del año 2014, del 12 - 15 de

noviembre del año 2015 y en el año 2016, los días 23 y 28 de noviembre. La transparencia, se estimó utilizando un disco Secchi (Lagos *et al.*, 2008), mientras que la estimación de sólidos suspendidos totales, se basó en el método de Strickland & Parsons (1972). Estas variables se estudiaron en 16 sitios, con un tamaño de muestra de 5 réplicas por sitio. La distribución espacial de los sitios de muestreo de indicadores de calidad de agua se ilustra en la Figura 4.2.1.1.4. Las ocho variables estudiadas se registraron en 16 sitios a lo largo del humedal.

La información obtenida fue tabulada en planillas de cálculo Excel (Microsoft Office ©), para luego ser vertida en una base de datos geoespacial en el programa QGIS. De igual forma, la información fue consolidada en una base de datos para su posterior análisis en el entorno de cómputo estadístico R (R Core Team 2013). Todas las coordenadas fueron verificadas y almacenadas en archivos con una proyección WSG84/UTM, utilizando el Huso 18 Sur. A fin de resumir la información obtenida, se definieron polígonos de estudio para el cálculo de cobertura de macrófitas acuáticas y estimación de parámetros de calidad de agua.

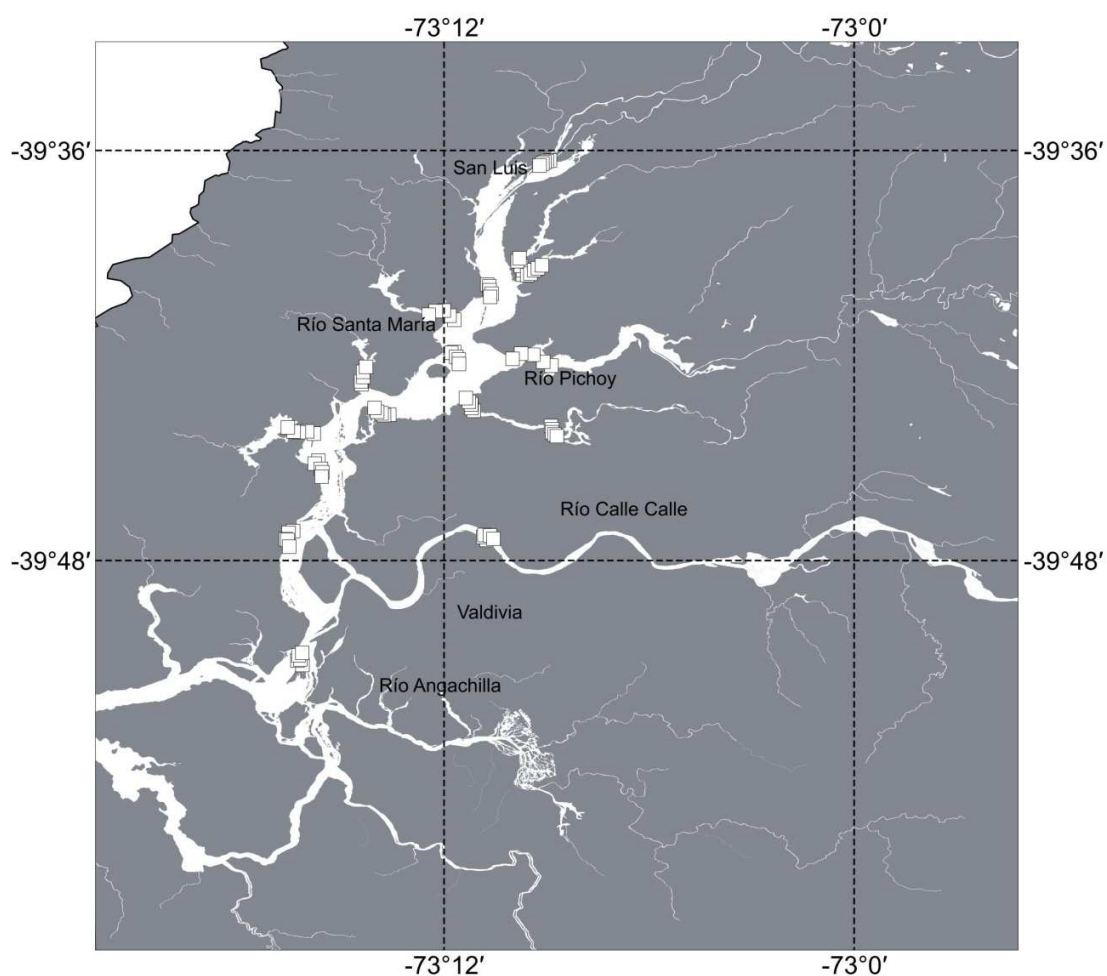


Figura 4.2.1.1.4. Puntos de muestro para la caracterización en terreno de calidad de agua. Se ilustran aquellos puntos en los que se obtuvieron muestras en terreno para la estimación de temperatura ($^{\circ}\text{C}$), pH, conductividad, sólidos disueltos, concentración y saturación de oxígeno, sólidos suspendidos totales y transparencia (cuadros blancos). La imagen de fondo corresponde a la distribución de los principales cursos de agua en los sitios de estudio. Imagen proyectada en coordenadas UTM WSG 84, Huso 18 Sur.

Modelamiento de distribución de especies

A fin de generar estimaciones espacialmente explícitas de la distribución de las macrófitas acuáticas, se ajustaron modelos de distribución para cada especie (Franklin, 2009), utilizando los registros de presencia georeferenciados, en conjunto

con imágenes geográficas generadas a partir del satélite Landsat 8. El ajuste de estos modelos se realizó de acuerdo a la metodología aplicada durante el PDHRC en el año 2014, por lo que permite comparaciones temporales de la distribución espacial de las plantas de interés. Conforme a la metodología aplicada durante el PDHRC y el primer año del PMHR, se seleccionó como algoritmo de modelamiento el ajuste mediante máxima entropía (MaxEnt). De acuerdo a la literatura especializada esta técnica de aprendizaje de máquina se caracteriza por ser una de las que presenta mejor desempeño frente a tamaños de muestra bajos de presencias (Elith *et al.*, 2006; Elith & Leathwick, 2009; Elith *et al.*, 2011).

La comparación de múltiples métodos de modelamiento ha permitido determinar que los modelos de aprendizaje de máquina permiten la elaboración de modelos más robustos cuando solo se cuenta con datos de presencia para una especie dada (Elith *et al.*, 2006; Elith & Leathwick, 2009; Elith *et al.*, 2011). En particular, la aproximación basada en máxima entropía (MaxEnt) ha sido destacada por su éxito en el ajuste de modelos en base a registros de presencia de especies cuando el tamaño de muestra es bajo (Phillips *et al.*, 2006; Phillips & Dudik, 2008; Elith *et al.*, 2011). MaxEnt modela la distribución de densidad de probabilidad de la ocurrencia de una especie a lo largo del área geográfica estudiada, utilizando como restricción los momentos estadísticos de las variables ambientales para las que se cuenta con información espacialmente explícita (Phillips *et al.*, 2006; Phillips & Dudik, 2008; Elith *et al.*, 2011). De esta forma, MaxEnt entrega no solamente una estimación de los puntos donde la especie se encuentra presente, sino también una medida de la idoneidad del hábitat, representada en una escala numérica acotada entre 0 y 1, que corresponde a una transformación logística de la probabilidad evaluada en el paisaje (Phillips *et al.*, 2006; Phillips & Dudik, 2008; Elith *et al.*, 2011). Distintos estudios han determinado que este método presenta un mejor desempeño en relación a métodos similares de aprendizaje de máquina (ver por ejemplo, Elith *et al.*, 2006; Ortega-Huerta & Peterson, 2008), siendo particularmente eficaz incluso en situaciones en

que el tamaño muestral es pequeño (Hernández *et al.*, 2006; Pearson *et al.*, 2007; Papes & Gaubert, 2007; Wisz *et al.*, 2008).

La implementación del ajuste de modelos de distribución se realizó utilizando el software MaxEnt versión 3.3.3 (Phillips *et al.*, 2006; Phillips & Dudik, 2008). Para ajustar el modelo se emplearon los datos georeferenciados de presencia para las especies de interés. Se utilizaron las bandas 1 a 7 de la imagen Landsat 8 ilustrada en la Figura 4.2.1.1.1, al igual que el índice de vegetación normalizada (NVDI) y el índice de vegetación mejorado (EVI). De igual manera, se construyó una máscara correspondiente a sectores cubiertos por agua utilizando el índice normalizado de agua (NDWI; Xu 2006). Esto permitió restringir el dominio de modelación a los cursos de agua principales en el área de estudio. La bondad de ajuste de los modelos, definida como la capacidad del modelo de MaxEnt para discriminar entre los sitios de presencia frente a sitios de pseudo-ausencias, se evaluó usando mediante el estadístico AUC, correspondiente al área bajo la curva característica del operador, o curva ROC (Area under the curve, AUC por sus siglas en inglés).

La curva ROC, corresponde al gráfico de la proporción de falsos positivos (1-especificidad) *versus* la proporción de verdaderos positivos (sensibilidad) (Phillips & Dudik, 2008). Para cada especie, se construyó un modelo de máxima entropía mediante un procedimiento de validación cruzada. En este procedimiento el subconjunto de datos de presencia se dividió al azar en 5 subconjuntos o “folds”. Para cada uno de estos subconjuntos o “folds”, se ajustó un modelo usándolo como set de prueba y todos los restantes como set de entrenamiento, permitiendo una mayor robustez en la estimación, particularmente para tamaños muestrales bajos (Elith *et al.*, 2011). Una vez ajustados los modelos para cada uno de los 5 subconjuntos de validación cruzada, estos se promediaron, entregando un modelo promedio. Este modelo entrega una medida de la idoneidad del hábitat, en una escala logística que toma valores entre 0 y 1. A fin de determinar aquellos píxeles en los que cada especie

se encontraba presente, se consideraron como pixeles sin presencia de la especie los que presentaron valores por debajo de un umbral correspondiente a la máxima especificidad y sensibilidad en el subconjunto de prueba (Phillips *et al.*, 2006; Phillips & Dudik, 2008). De esta forma, se pudo representar la distribución de cada especie, junto con una medida de la idoneidad del hábitat en cada pixel.

4.2.1.1.4. Resultados

Obtención de imágenes, procesamiento y corrección radiométrica

Dada la disponibilidad de imágenes en el archivo de la misión Landsat 8, y tomando en consideración las fechas de obtención de registros de presencia de macrófitas acuáticas, así como de las mediciones en terreno de parámetros de calidad de agua, se seleccionó una imagen de la misión LANDSAT 8, con fecha del 30 de noviembre de 2016. Esta imagen permitió contar con un registro libre de nubes que correspondiese a la situación actual del área del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios para el verano de 2016-2017 (Fig. 4.2.1.1.1).

Tal como se ha documentado en estudios previos, las aguas del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios pueden clasificarse en zonas con distintos niveles de variabilidad en la calidad del agua (Mulsow & Grandjean, 2006; Lagos *et al.*, 2008). En particular, Lagos *et al.* (2008) distinguieron tres zonas correspondientes a las secciones norte, centro y sur de la zona del humedal del río Cruces con una longitud espacial de 15, 8 y 6 km, respectivamente, lo que permitió identificar variaciones espaciales en la calidad de agua conforme a lo inferido mediante imágenes satelitales. En el presente estudio se repitió este análisis empleando polígonos de mayor resolución, los que se ilustran en la Figura 4.2.1.1.2. A fin de determinar diferencias en calidad de agua entre distintos años para cada una de estas zonas, se procedió a evaluar diferencias en los perfiles de reflectancia espectral obtenidos de la imagen Landsat estudiada. Para ello, se extrajo el valor de reflectancia atmosférica superior para las bandas 2 a 5. Conforme a lo indicado anteriormente las bandas 2 a 4

corresponden a los rangos de luz visible, mientras que la banda 5 corresponde a la gama del infrarrojo cercano (NIR) (Tabla 4.2.1.1.1).

Obtención de registros de presencia de macrófitas acuáticas

La recolección de datos en terreno permitió el registro de observaciones de presencias para las cinco especies de interés a lo largo del humedal. En la Tabla 4.2.1.1.2 se detallan el número de observaciones obtenidas para los registros georreferenciados de parches mono-específicos.

Tabla 4.2.1.1.2. Número de observaciones de macrófitas acuáticas en el humedal del río Cruces y sus ríos tributarios. La Tabla muestra para las seis especies de interés, el número de presencias observadas mediante registros georreferenciados de parches mono-específicos.

Especie	Registros en parches mono-específicos
<i>Egeria densa</i>	46
<i>Potamogeton pusillus</i>	17
<i>Potamogeton lucens</i>	5
<i>Sagittaria montevidensis</i>	11
<i>Nymphaea alba</i>	20
<i>Scirpus californicus</i>	18

Cabe señalar que las restricciones al uso de sobrevuelos con UAV dan cuenta del menor tamaño muestral en comparación con años anteriores. En este contexto, y al igual que en años anteriores, cabe destacar sin embargo, que la baja cobertura y distribución del Huiro verde, se evidencia en la baja incidencia a lo largo del HRC. Ello, producto de que efectivamente es una especie con menor distribución y abundancia en el humedal, lo que resalta la asimetría en la distribución y cobertura de las dos especies de Huiro presentes en el HRC.

Obtención de registros indicadores de calidad de agua

La toma de muestras de indicadores de calidad de agua permitió contar con registros en terreno de temperatura, conductividad, pH, transparencia y

concentración de sólidos suspendidos totales, sólidos disueltos, y oxígeno. Con excepción de estos últimos dos parámetros, se contaba con información previa correspondiente al año 2014-2015, por lo que se procedió a examinar la presencia de variaciones sistemáticas a lo largo de las estaciones de muestreo entre diferentes años.

En la Figura 4.2.1.1.5 se ilustra el patrón espacial observado para la temperatura superficial del agua en el área de estudio entre los años 2014 y 2016. Se aprecia una variación unimodal, con mayores temperaturas en los sectores medios del humedal y diferencias significativas tanto entre los años (ANDEVA de dos vías, g.l. 1, 237; $F= 629,04$ 0; $p<0,001$) como entre los sitios (ANDEVA de dos vías, g.l. 15, 237; $F= 59,29$; $p<0,0001$). De igual forma, el término de interacción entre estos dos factores también presentó diferencias significativas (ANDEVA de dos vías, g.l. 30,237; $F= 5,89$; $p<0,0001$). La realización de comparaciones pareadas mediante una prueba de Tukey, reveló que los 16 sitios estudiados presentaron valores significativamente mayores de temperatura en noviembre del año 2016 con respecto a lo registrado en los dos años previos ($p<0,001$ en todos los casos).

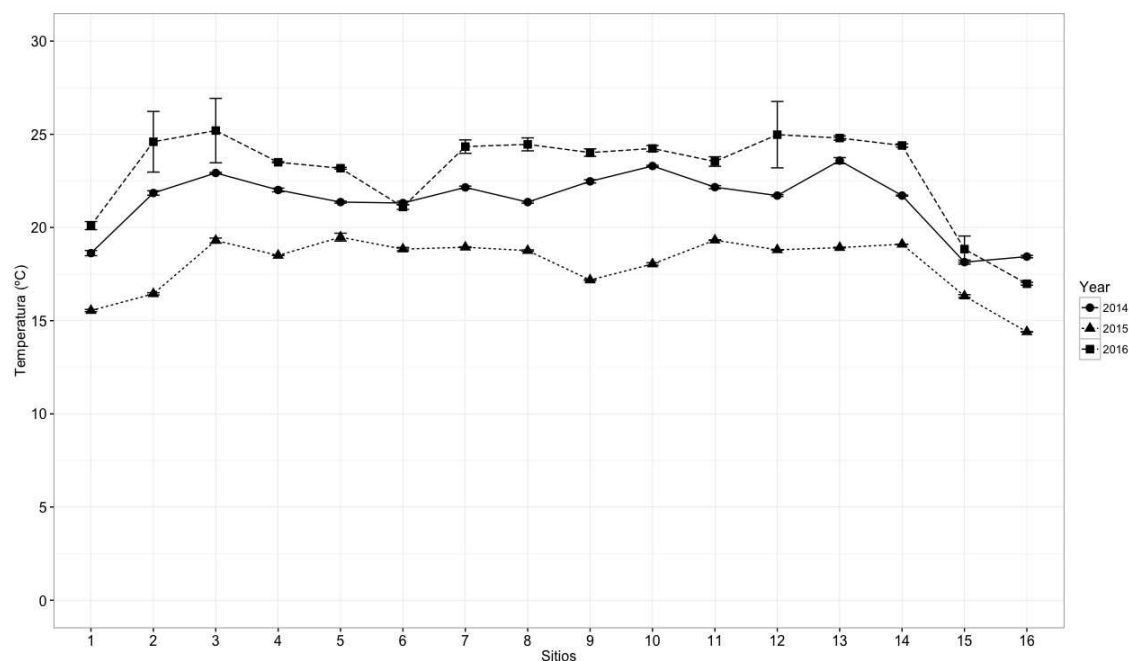


Figura 4.2.1.1.5. Variación espacial en la temperatura del agua superficial en el área de estudio. Se ilustra el valor promedio para cada sitio y año, junto con un error estándar. Los sectores de estudio corresponden a: 1. río Cruces, sector San Luis, 2. río Cruces, sector Santa María, 3. río Cruces, sector Isla Rialejo, 4. río Chorocamayo, 5. río Cruces, sector Punucapa, 6. río Cruces, sector Isla Teja, 7. río Nanihue, 8. río Cudico, 9. desembocadura del río Pichoy, 10. río Santa María, 11. río Cayumapu interior, 12. desembocadura del río Cayumapu, 13. río Tambillo, 14. río San Ramón, 15. río Valdivia, sector Torobayo, 16. río Calle Calle.

Por otra parte, al examinar la variación espacial en el pH del agua superficial, se observó un patrón de mayor heterogeneidad espacial (Fig. 4.2.1.1.6). Se evidencia la ausencia de un patrón de variación espacial sistemático, sin observar diferencias significativas tanto entre los años (ANDEVA de dos vías, g.l. 2, 237; $F= 1,2722$; $p>0,05$) como entre los sitios (ANDEVA de dos vías, g.l. 15, 237; $F= 1,221$; $p>0,05$), sin observar ningún término de interacción significativo (ANDEVA de dos vías, g.l. 30, 237; $F= 1,245$; $p>0,05$).

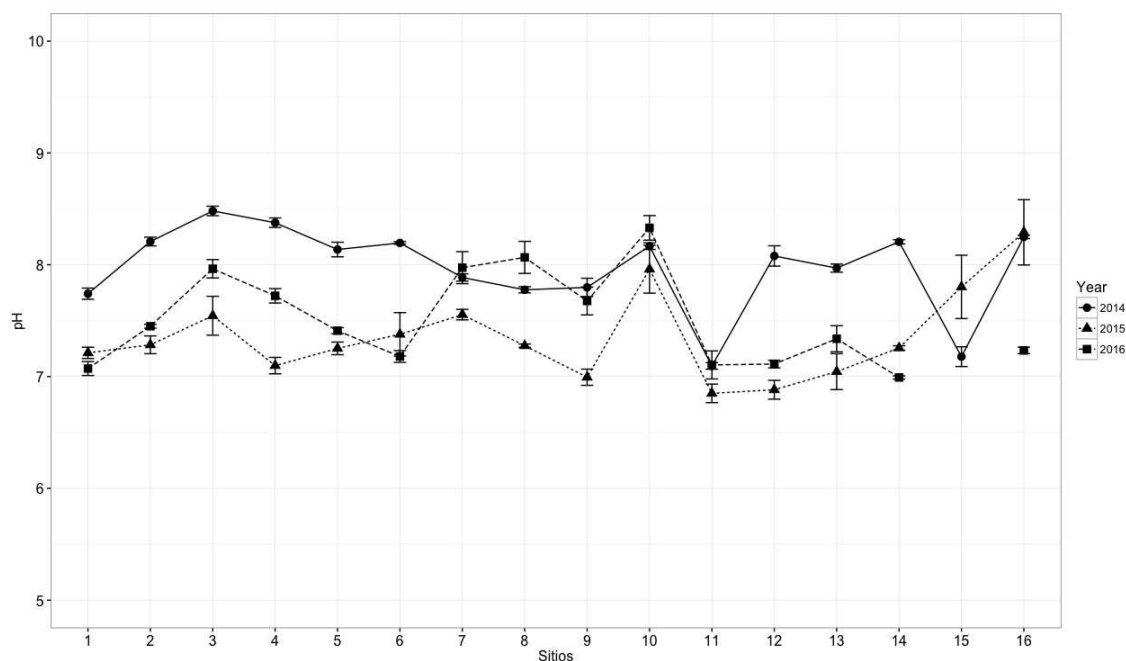


Figura 4.2.1.1.6. Variación espacial en el pH del agua superficial en el área de estudio. Se ilustra el valor promedio para cada sitio y año, junto con un error estándar. Los sectores de estudio corresponden a: 1. río Cruces, sector San Luis, 2. río Cruces, sector Santa María, 3. río Cruces, sector Isla Rialejo, 4. río Chorocamayo, 5. río Cruces, sector Punucapa, 6. río Cruces, sector Isla Teja, 7. río Nanihue, 8. río Cudico, 9. desembocadura del río Pichoy, 10. río Santa María, 11. río Cayumapu interior, 12. desembocadura del río Cayumapu, 13. río Tambillo, 14. río San Ramón, 15. río Valdivia, sector Torobayo, 16. río Calle Calle.

La conductividad del agua superficial, se caracterizó por una menor variabilidad a lo largo del curso del humedal durante los años 2015 y 2016, contrastando con las observaciones del año 2014 (Fig. 4.2.1.1.7). Estas diferencias de un orden de magnitud son altamente significativas (ANDEVA de dos vías, g.l. 1, 237; $F = 4863,4$; $p < 0,0001$). De igual manera, la comparación entre los sitios revela diferencias significativas (ANDEVA de dos vías, g.l. 15, 273; $F = 185,2$; $p < 0,0001$). Finalmente, el término de interacción entre estos dos factores también presentó diferencias significativas (ANDEVA de dos vías, g.l. 30, 237; $F = 107,8$; $p < 0,0001$).

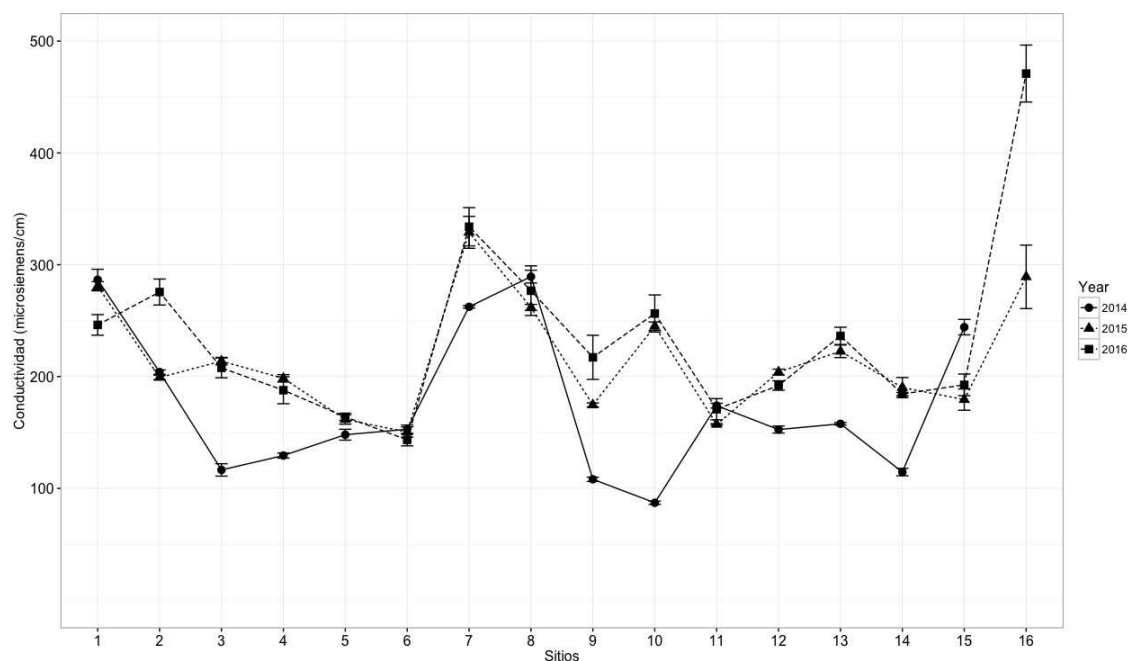


Figura 4.2.1.1.7. Variación espacial en la conductividad del agua superficial en el área de estudio. Se ilustra el valor promedio para cada sitio y año, junto con un error estándar. Los sectores de estudio corresponden a: 1. río Cruces, sector San Luis, 2. río Cruces, sector Santa María, 3. río Cruces, sector Isla Rialejo, 4. río Chorocamayo, 5. río Cruces, sector Punucapa, 6. río Cruces, sector Isla Teja, 7. río Nanihue, 8. río Cudico, 9. desembocadura del río Pichoy, 10. río Santa María, 11. río Cayumapu interior, 12. desembocadura del río Cayumapu, 13. río Tambillo, 14. río San Ramón, 15. río Valdivia, sector Torobayo, 16. río Calle Calle.

La realización de comparaciones pareadas mediante una prueba de Tukey reveló que los 16 sitios estudiados presentaron valores significativamente menores de conductividad en noviembre del año 2015 y 2016, con respecto a lo registrado en el mes de diciembre del año 2014 ($p < 0,001$ en todos los casos).

La transparencia del agua superficial en el área de estudio, se caracterizó por no presentar patrones de variación espacial similares en los años estudiados (Fig. 4.2.1.1.8). Sin embargo, se observaron diferencias significativas tanto entre los años (ANDEVA de dos vías, g.l. 2, 237; $F = 69,3$; $p < 0,0001$) como entre los sitios (ANDEVA de dos vías, g.l. 15, 237; $F = 286,55$; $p < 0,0001$). De igual forma, el término de interacción

entre estos dos factores también presentó diferencias significativas (ANDEVA de dos vías, g.l. 30, 237; $F= 40,94$; $p<0,0001$).

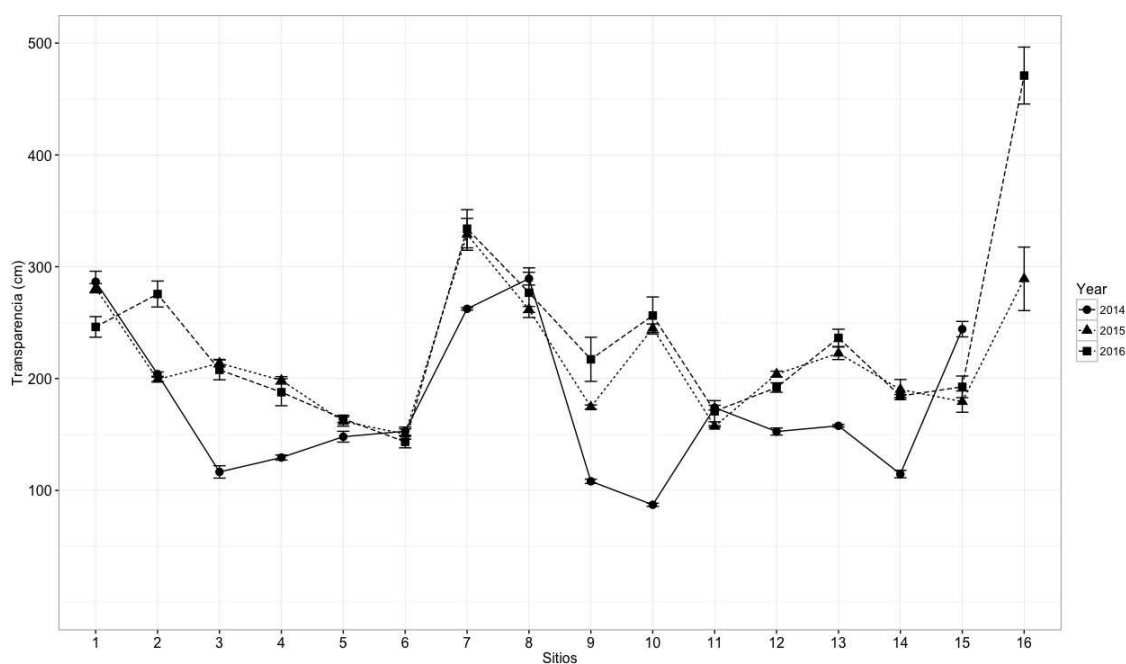


Figura 4.2.1.1.8. Variación espacial en la transparencia (*i.e.*, profundidad de Disco Secchi) del agua superficial en el área de estudio. Se ilustra el valor promedio para cada sitio y año, junto con un error estándar. Los sectores de estudio corresponden a: 1. río Cruces, sector San Luis, 2. río Cruces, sector Santa María, 3. río Cruces, sector Isla Rialejo, 4. río Chorocamayo, 5. río Cruces, sector Punucapa, 6. río Cruces, sector Isla Teja, 7. río Nanihue, 8. río Cudico, 9. desembocadura del río Pichoy, 10. río Santa María, 11. río Cayumapu interior, 12. desembocadura del río Cayumapu, 13. río Tambillo, 14. río San Ramón, 15. río Valdivia, sector Torobayo, 16. río Calle Calle.

El examen de las comparaciones pareadas hechas mediante una prueba de Tukey, se observó que en tres de los sitios no existen diferencias significativas de la transparencia, entre los años estudiados. Estos corresponden a los sitios de Río Cruces, Río Cudico, y río Cayumapu interior. En todos esos casos, la prueba de comparaciones arrojó valores de $p>0,05$.

Al examinar la variación espacial y temporal en la cantidad de sólidos suspendidos totales, se observan en general valores más bajos en el año 2015 y 2016 con respecto al año 2014 (Fig. 4.2.1.1.9). De esta forma, se observaron diferencias significativas tanto entre los años (ANDEVA de dos vías, g.l. 2, 237; $F= 290,18$; $p<0,0001$) como entre los sitios (ANDEVA de dos vías, g.l. 15, 237; $F= 46,4$; $p<0,0001$).

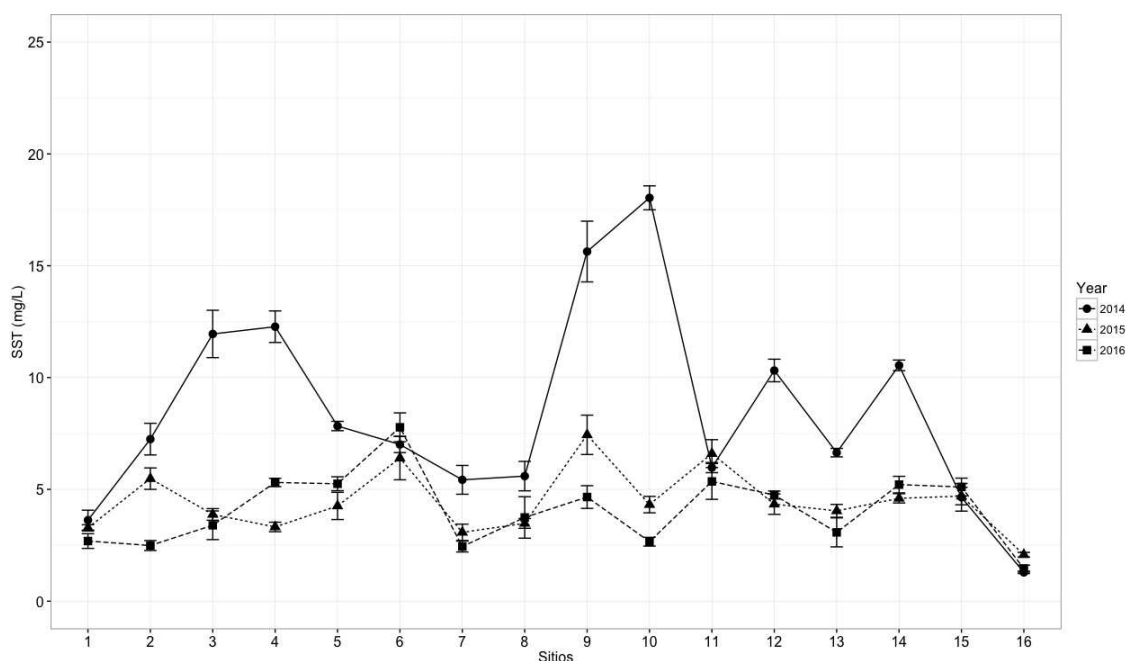


Figura 4.2.1.1.9. Variación espacial en la concentración de sólidos suspendidos totales del agua superficial en el área de estudio. Se ilustra el valor promedio para cada sitio y año, junto con un error estándar. Los sectores de estudio corresponden a: 1. río Cruces, sector San Luis, 2. río Cruces, sector Santa María, 3. río Cruces, sector Isla Rialejo, 4. río Chorocamayo, 5. río Cruces, sector Punucapa, 6. río Cruces, sector Isla Teja, 7. río Nanihue, 8. río Cudico, 9. desembocadura del río Pichoy, 10. río Santa María, 11. río Cayumapu interior, 12. desembocadura del río Cayumapu, 13. río Tambillo, 14. río San Ramón, 15. río Valdivia, sector Torobayo, 16. río Calle Calle.

De igual forma, el término de interacción entre estos dos factores también presentó diferencias significativas (ANDEVA de dos vías, g.l. 30, 237; $F= 20,61$; $p<0,0001$).

Por otra parte, al examinar la variación espacial en la cantidad de sólidos disueltos durante el año 2015 y el 2016, se puede señalar que en general se observaron valores más altos en los sectores norte del humedal (Fig. 4.2.1.1.10).

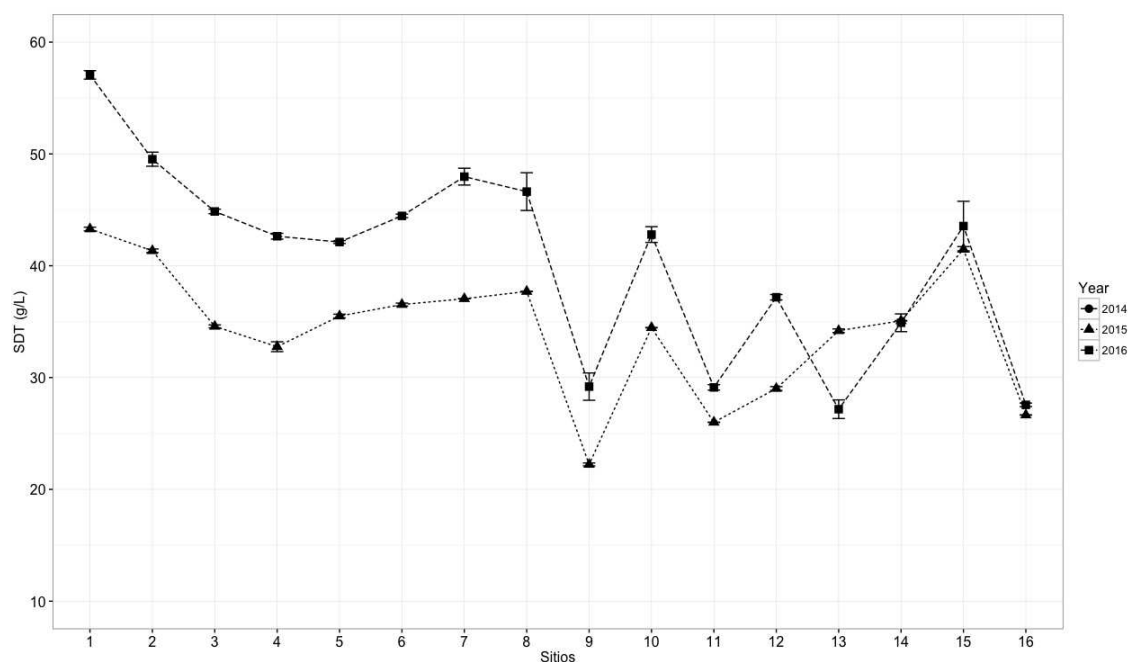


Figura 4.2.1.1.10. Variación espacial en la concentración de sólidos disueltos del agua superficial en el área de estudio. Se ilustra el valor promedio para cada sitio y año, junto con un erro estándar. Los sectores de estudio corresponden a: 1. río Cruces, sector San Luis, 2. río Cruces, sector Santa María, 3. río Cruces, sector Isla Rialejo, 4. río Chorocamayo, 5. río Cruces, sector Punucapa, 6. río Cruces, sector Isla Teja, 7. río Nanihue, 8. río Cudico, 9. desembocadura del río Pichoy, 10. río Santa María, 11. río Cayumapu interior, sector medio, 12. desembocadura del río Cayumapu, 13. río Tambillo, 14. río San Ramón, 15. río Valdivia, sector Torobayo, 16. río Calle Calle.

De esta forma, se observaron diferencias significativas entre los años de estudios (ANDEVA de dos vías, g.l. 2,128; $F= 758,16$; $p<0,0001$) y entre los sitios (ANDEVA de dos vías, g.l. 15,128; $F= 241,57$; $p<0,0001$), al igual que una interacción significativa (ANDEVA de dos vías, g.l. 15,128; $F= 33,36$; $p<0,0001$). Las comparaciones pareadas, indican que solo los sitios San Ramón, Torobayo y Calle Calle presentan

valores similares entre los dos años en que se tomaron muestras, con valores de $p > 0.05$

Respecto a la variación espacial en la concentración de oxígeno durante el año 2015, se puede señalar que en general se observaron valores más bajos en sector medio del río Cayumapu (Fig. 4.2.1.1.11). De esta forma, se observaron diferencias significativas entre los años (ANDEVA de dos vías, g.l. 2,128; $F = 469,5$; $p < 0,0001$) y entre sitios (ANDEVA de dos vías, g.l. 15,128; $F = 67,04$; $p < 0,0001$), con un término de interacción significativo para ambos factores (ANDEVA de dos vías, g.l. 15,128; $F = 15,78$; $p < 0,0001$)

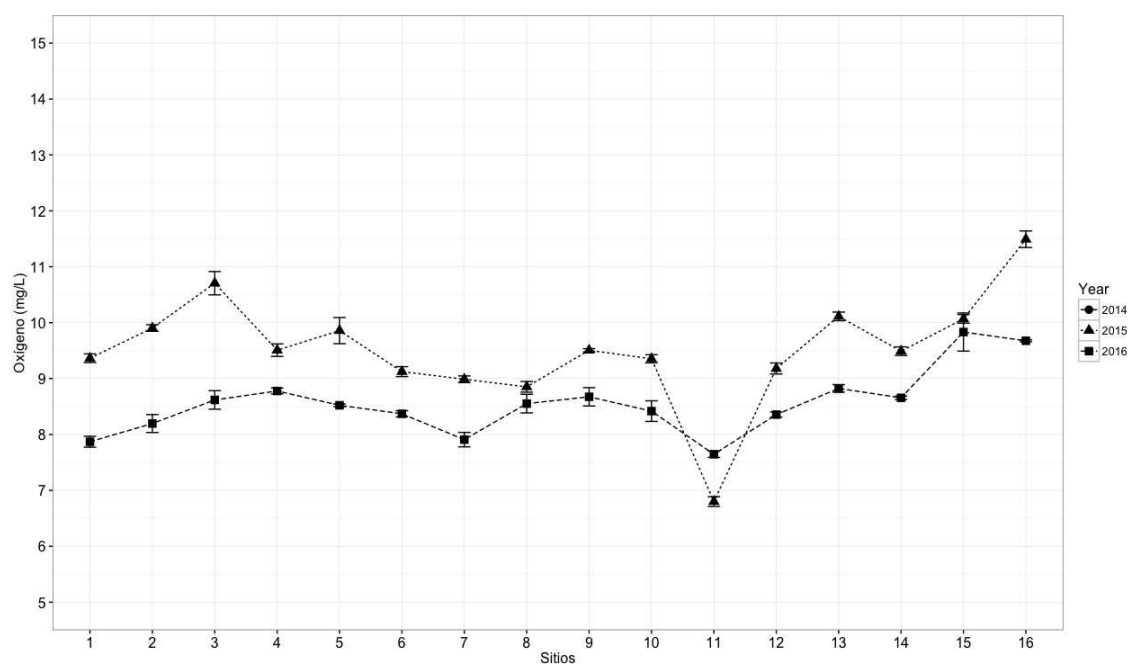


Figura 4.2.1.1.11. Variación espacial en la concentración de oxígeno del agua superficial en el área de estudio. Se ilustra el valor promedio para cada sitio y año, junto con un error estándar. Los sectores de estudio corresponden a: 1. río Cruces, sector San Luis, 2. río Cruces, sector Santa María, 3. río Cruces, sector Isla Rialejo, 4. río Chorocamayo, 5. río Cruces, sector Punucapa, 6. río Cruces, Isla Teja, 7. río Nanihue, 8. río Cudico, 9. desembocadura del río Pichoy, 10. río Santa María, 11. río Cayumapu interior, sector medio, 12. desembocadura del río Cayumapu, 13. río Tambillo, 14. río San Ramón, 15. río Valdivia, sector Torobayo, 16. río Calle Calle.

Finalmente, la variación espacial en el porcentaje de oxígeno durante los años 2015 y 2016, presenta un patrón similar, con el año 2016 presentando valores más bajos que el 2015 en sector medio del río Cayumapu, mientras que el valor más alto se observó en el sector Isla Rialejo del río Cruces en el año 2015, (Fig. 4.2.1.1.12). De esta forma, se observaron diferencias significativas entre los años (ANDEVA de dos vías, g.l. 2,128; $F= 12,05$; $p<0,0001$) y entre sitios (ANDEVA de dos vías, g.l. 15,128; $F= 42,7$; $p<0,0001$), con un término de interacción significativo para ambos factores (ANDEVA de dos vías, g.l. 15,128; $F= 13,47$; $p<0,0001$)

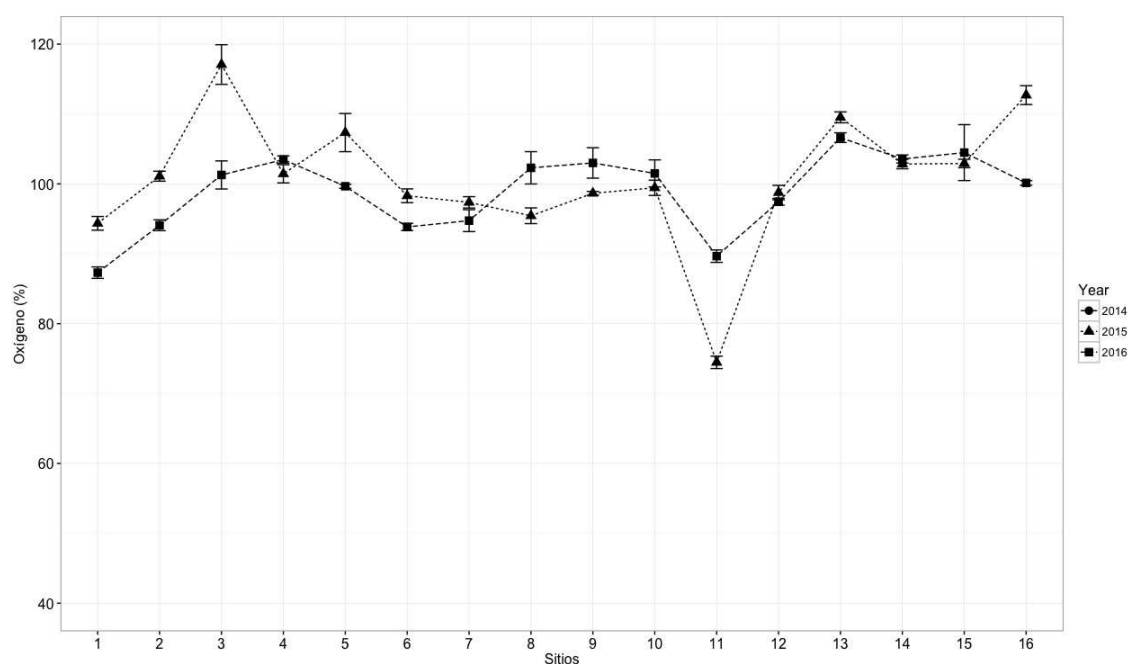


Figura 4.2.1.1.12. Variación espacial en el porcentaje de saturación de oxígeno en el agua superficial del área de estudio. Se ilustra el valor promedio para cada sitio y año, junto con un error estándar. Los sectores de estudio corresponden a: 1. río Cruces, sector San Luis, 2. río Cruces, sector Santa María, 3. río Cruces, sector Isla Rialejo, 4. río Chorocamayo, 5. río Cruces, sector Punucapa, 6. río Cruces, sector Isla Teja, 7. río Nanihue, 8. río Cudico, 9. desembocadura del río Pichoy, 10. río Santa María, 11. río Cayumapu interior, 12. desembocadura del río Cayumapu, 13. río Tambillo, 14. río San Ramón, 15. río Valdivia, sector Torobayo, 16. río Calle Calle.

Los resultados observados para la concentración y porcentaje de oxígeno en el sector medio del río Cayumapu durante el año 2015 contrastaron con lo observado en los demás parámetros físicos, ya que, estos no presentan diferencias tan notorias. En el año 2016, se observó un patrón similar, aunque no tan marcado. Ello, sugiere nuevamente que la baja oxigenación puede ser producto de características locales de este sector de estudio en el río Cayumapu.

Modelamiento de distribución de especies

Las observaciones de presencia, en conjunto con las capas de información derivadas de sensores remotos, permitieron generar modelos de distribución para las especies de interés. De acuerdo a la metodología empleada en estudios previos, la bondad de ajuste de los modelos ajustados se evaluó mediante el uso del estadístico correspondiente al área bajo la curva característica operativa del receptor (Receiver Operating Characteristic curve o ROC). Este estadístico, el área bajo la curva ROC (Area under the Curve, o AUC de acuerdo a sus siglas en inglés), corresponde a la estimación del área bajo la curva de Sensitividad (1-Tasa de Omisión) *versus* (1-Especificidad) o la proporción de área predicha por el modelo. En todos los casos, se observaron valores de AUC altos, superiores a 0,8 en la mayoría de los ajustes, indicando un buen ajuste a la información disponible.

Si bien todos los modelos ajustados presentan un alto grado de ajuste -con valores de AUC de entrenamiento superiores a 0,9, se observó que los valores de AUC en los sub conjuntos de validación fueron levemente menores, tomando valores entre 0,883 y 0,99. Ello otorga un importante grado de confianza en la validez de la clasificación obtenida mediante estos modelos, pese a las diferencias en estrategia muestral respecto de años previos.

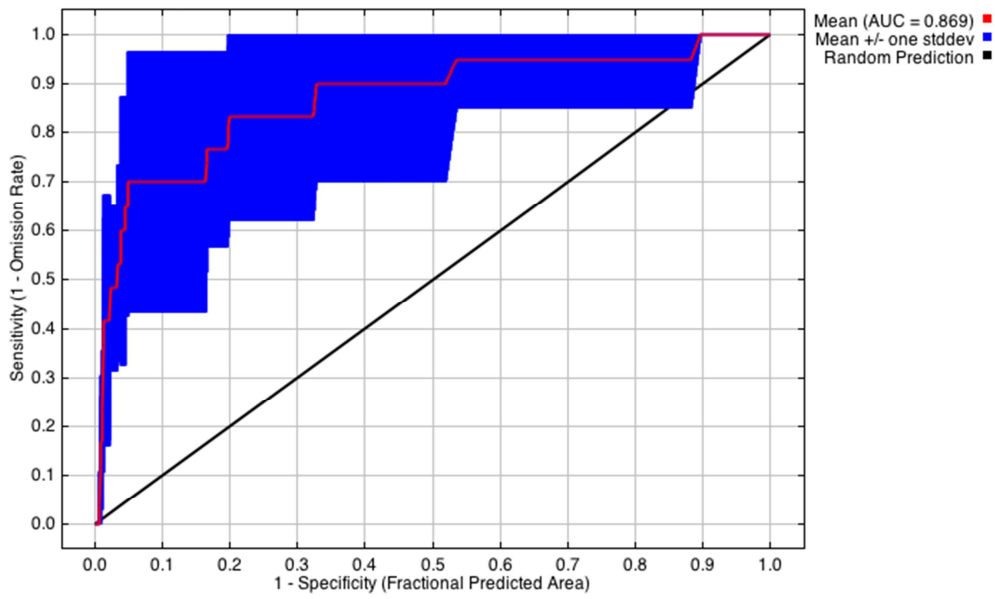
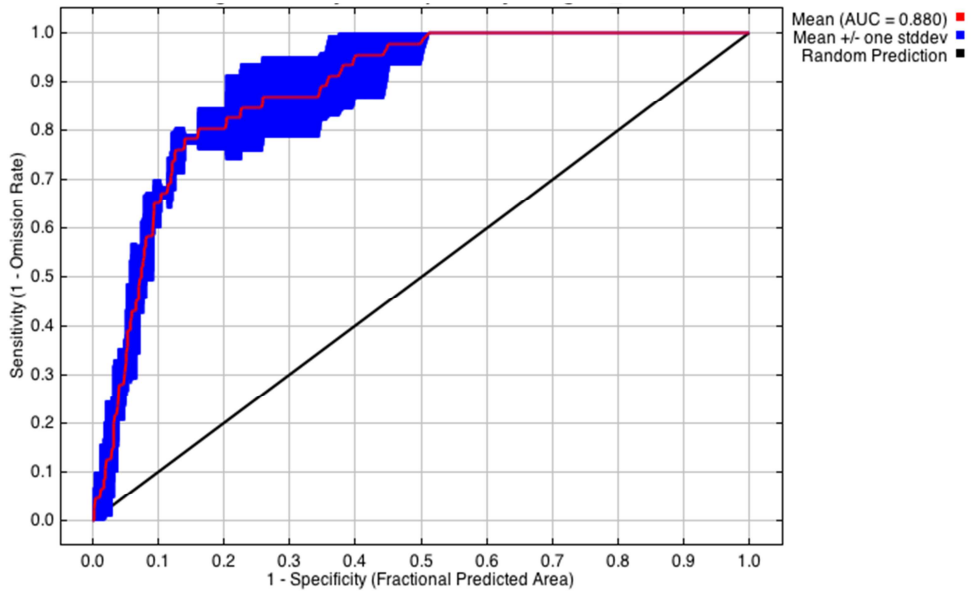
Para la mayoría de las especies estudiadas, los valores de AUC se vieron acompañados de curvas ROC muy homogéneas a través de las 5 validaciones

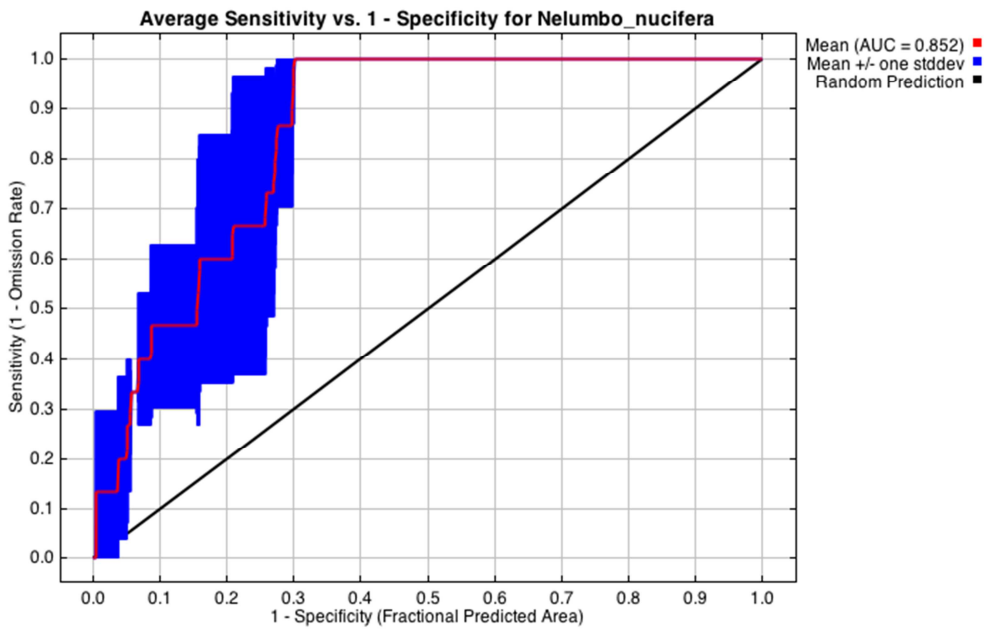
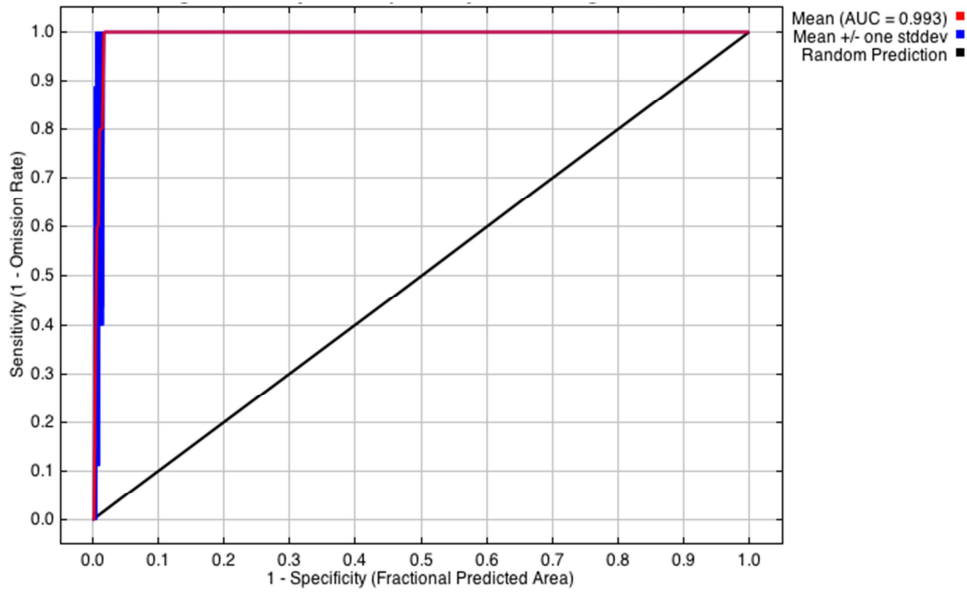
cruzadas, indicando una alta consistencia en la clasificación hecha por el modelo a través de todas las réplicas realizadas. El único caso en que se evidencia un mayor grado de heterogeneidad entre las distintas curvas ROC ajustadas es en la Totorá, *Scirpus californianus* y en el Loto, *Nymphaea alba* (Tabla 4.2.1.1.3).

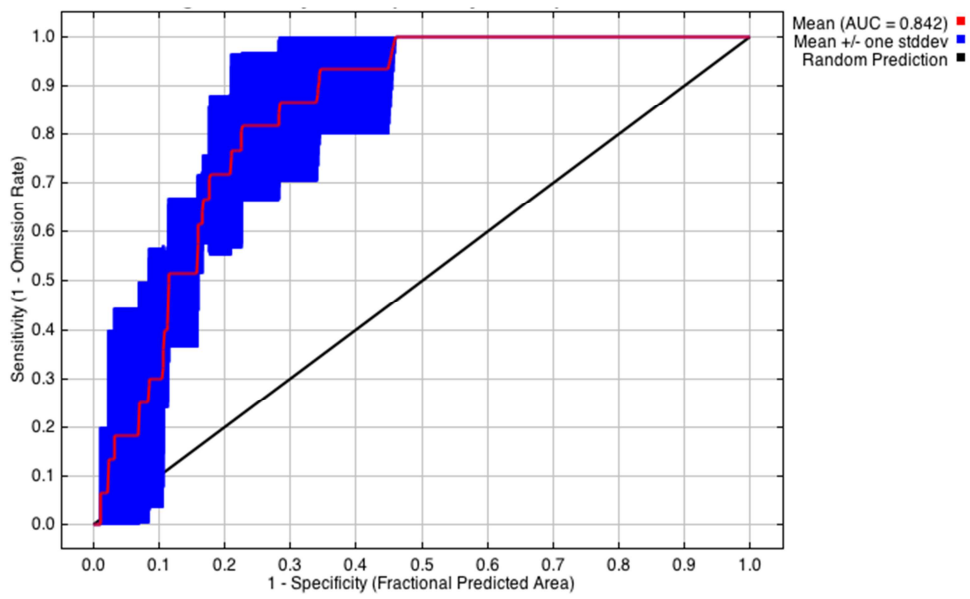
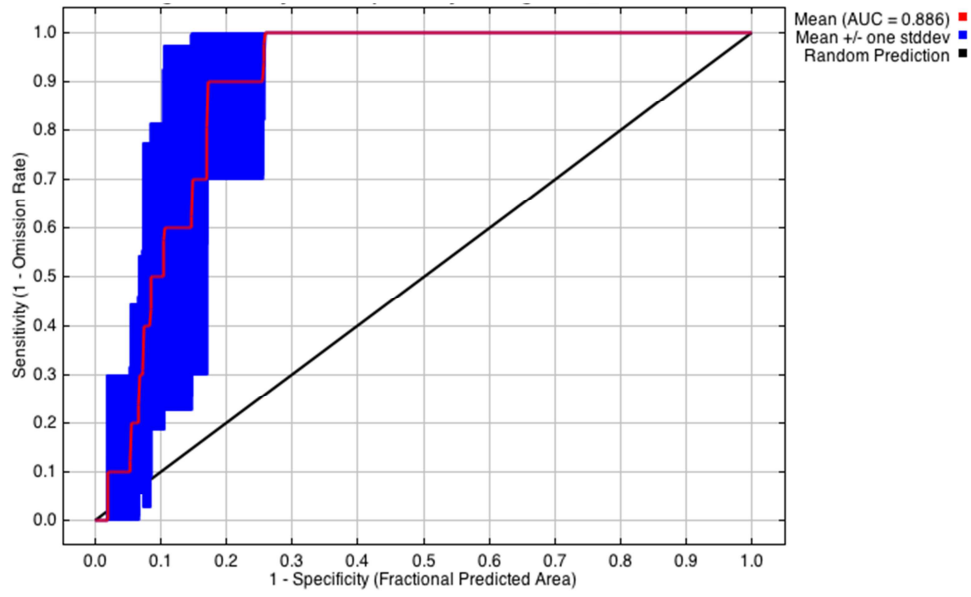
Tabla 4.2.1.1.3. Valores de AUC observados para los distintos modelos. Se indican los valores de AUC observados para los modelos de distribución elaborados en base a la imagen satelital obtenida por la misión Landsat 8. Se ilustran los tamaños de muestra y los valores de AUC medio observados, tanto para el subconjunto de calibración como para el subconjunto de validación o prueba. Se reportan los resultados obtenidos mediante las presencias registradas a través de observaciones de parches mono-específicos.

Especies	calibración		validación	
	N	AUC	N	AUC
Parches monoespecíficos				
<i>Egeria densa</i>	37	0,919	9	0,838
<i>Potamogeton pusillus</i>	14	0,9433	3	0,8685
<i>Potamogeton lucens</i>	13	0,9929	4	0,9926
<i>Sagittaria montevidensis</i>	7	0,9125	2	0,9776
<i>Nymphaea alba</i>	12	0,9012	3	0,8855
<i>Scirpus californicus</i>	15	0,888	3	0,8418

Los resultados obtenidos en las curvas ROC promedio se ilustran través de las Figuras 4.2.1.1.13 a 4.2.1.1.18. En ellas se puede apreciar el alto rango de valores de AUC observados, que corresponden a modelos con un muy buen ajuste a los datos empleados para calibrar el modelo.







Las distribuciones espaciales ajustadas se caracterizaron por presentar una cobertura extensa y parchosa a lo largo del humedal. De esta forma tanto el Luchecillo como el Huiro, la Flecha de agua y la Totorá, se caracterizan por presentar una distribución amplia de hábitat favorable a lo largo de todo el humedal del río Cruces.

De manera similar a lo observado en el Programa de Diagnóstico Ambiental del HRC y el primer año del Programa de Monitoreo del HRC, los resultados obtenidos indican que la información contenida en las imágenes Landsat 8 permite una buena aproximación al modelamiento de la distribución de las macrófitas acuáticas estudiadas. Las Figuras 4.2.1.1.19 a 4.2.1.1.24, muestran los mapas de distribución ajustados para todas las especies estudiadas. En general, para todas estas especies se aprecia una distribución heterogénea, con aquellos parches de mayor idoneidad ambiental encontrándose asociados a sectores ribereños o someros. Por otra parte, para el Huiro verde (*P. lucens*, ver Fig. 4.2.1.1.21), se observa una cobertura muy restringida, evidenciándose menores idoneidades en las regiones centro-norte del humedal, respecto de los resultados del año 2015-2016. De esta forma, el Huiro verde presenta una distribución heterogénea y parchosa, con presencia particularmente en los sectores sur y centro-sur del humedal. Esta diferencia en el área proyectada puede deberse al número de observaciones empleadas en el presente estudio, donde el tamaño muestral es un orden de magnitud menor que el utilizado en el monitoreo anterior.

En la zona central del humedal, se observa que especies como el Luchecillo, el Huiro, la Flecha de agua y la Totorá, presentan una concentración de sectores con mayor idoneidad ambiental, mientras que otros sectores se caracterizan por una mayor idoneidad en sectores ribereños. Esto sugiere que el humedal del río Cruces, presenta actualmente condiciones abióticas favorables para las macrófitas acuáticas, sin evidenciarse ningún sector con características anómalas o desfavorables.

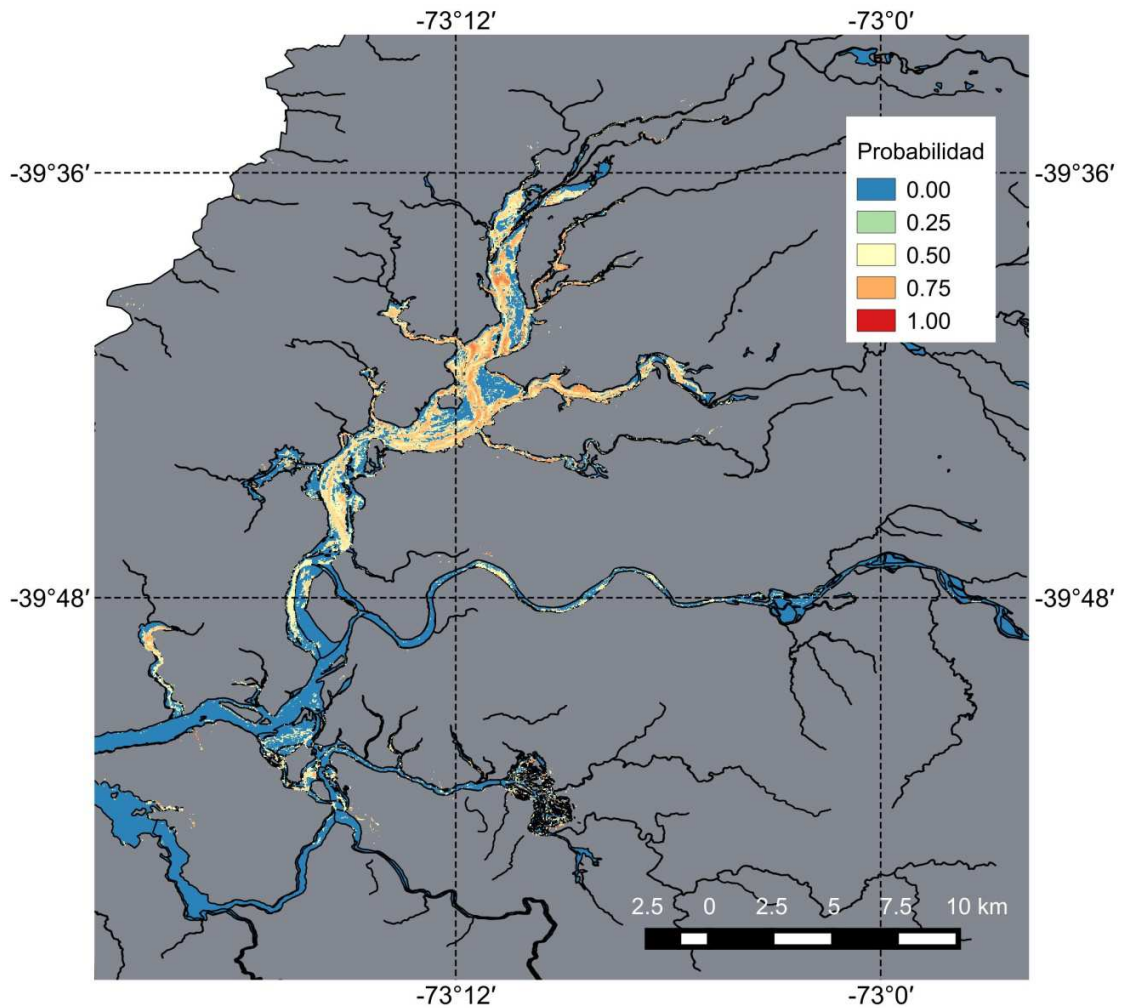


Figura 4.2.1.1.19. Distribución de *Egeria densa* (Luchecillo). La Figura ilustra la presencia del Luchecillo en celdas de color azul claro a rojo, con los valores más cálidos señalando mayor idoneidad de hábitat. Se ilustra el mapa de distribución promediado a través de las 6 validaciones cruzadas. Modelo generado en base a presencias de parches mono específicos e imágenes LANDSAT 8.

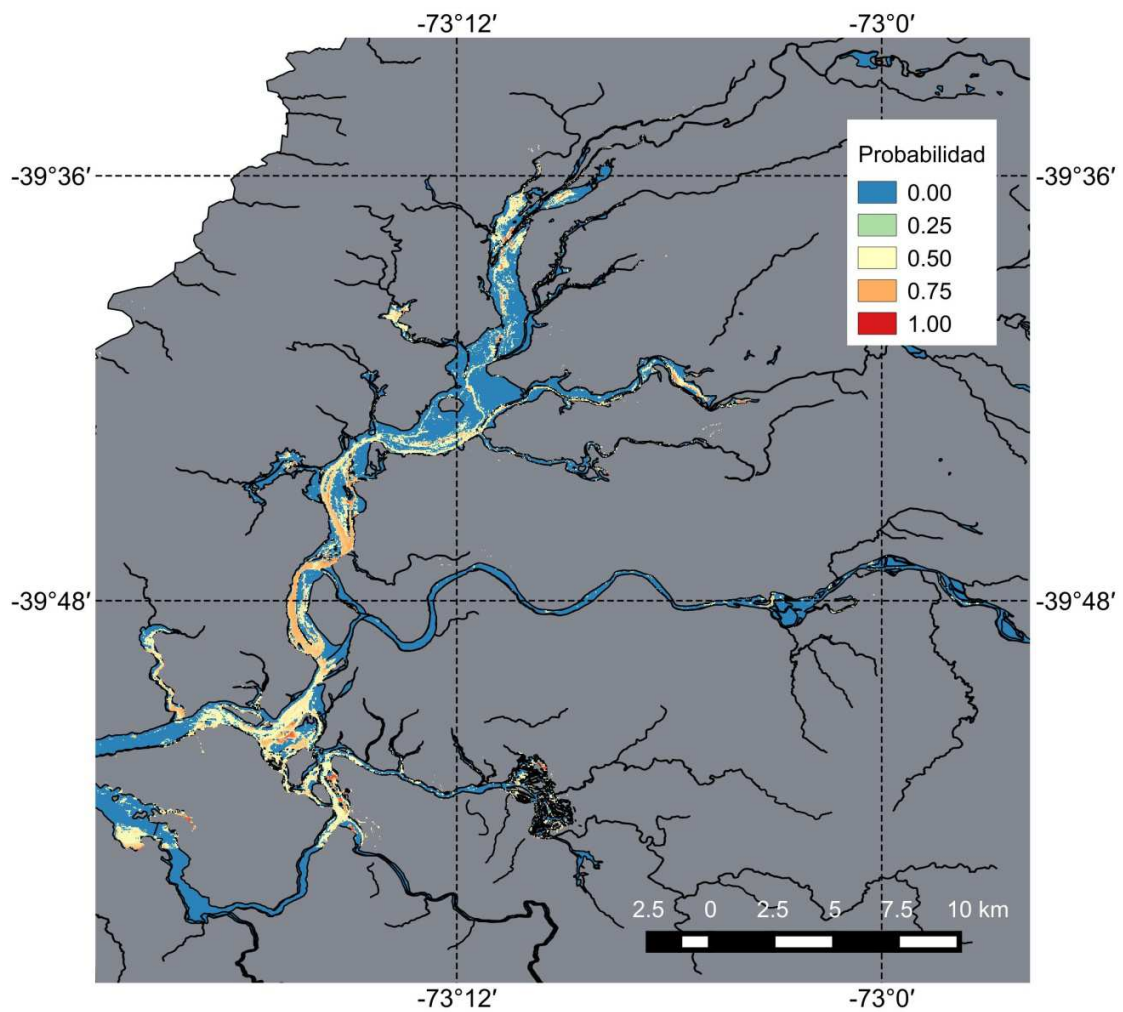


Figura 4.2.1.1.20. Distribución de *Potamogeton pusillus* (Huiro de agua dulce). La Figura ilustra la presencia del Huiro de agua dulce en celdas de color azul claro a rojo, con los valores más cálidos señalando mayor idoneidad de hábitat. Se ilustra el mapa de distribución promediado a través de las 6 validaciones cruzadas. Modelo generado en base a presencias de parches mono específicos e imágenes LANDSAT 8.

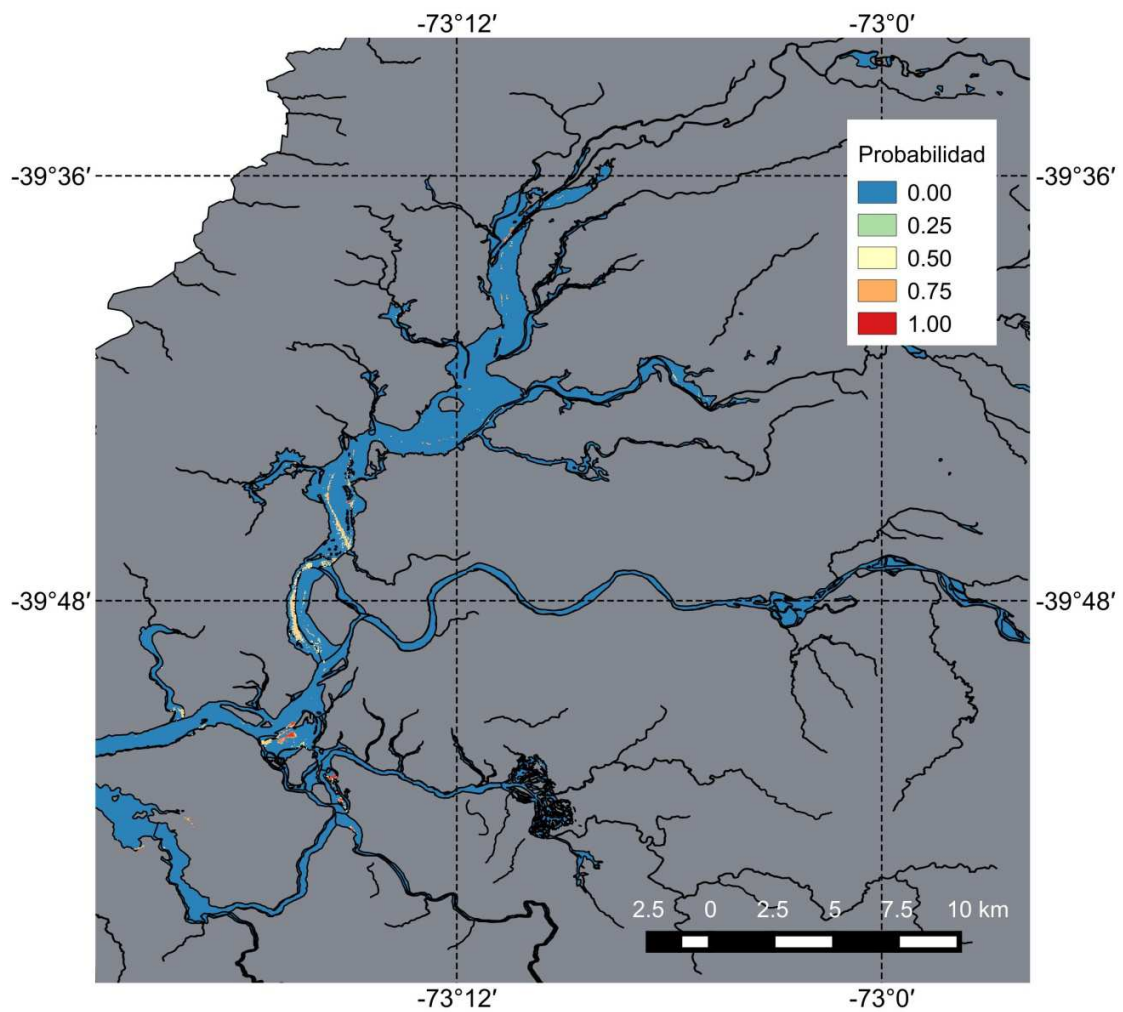


Figura 4.2.1.1.21. Distribución de *Potamogeton lucens* (Huiro verde). La Figura ilustra la presencia del Huiro verde en celdas de color azul claro a rojo, con los valores más cálidos señalando mayor idoneidad de hábitat. Se ilustra el mapa de distribución promediado a través de las 6 validaciones cruzadas. Modelo generado en base a presencias de parches multi y mono específicos e imágenes LANDSAT 8.

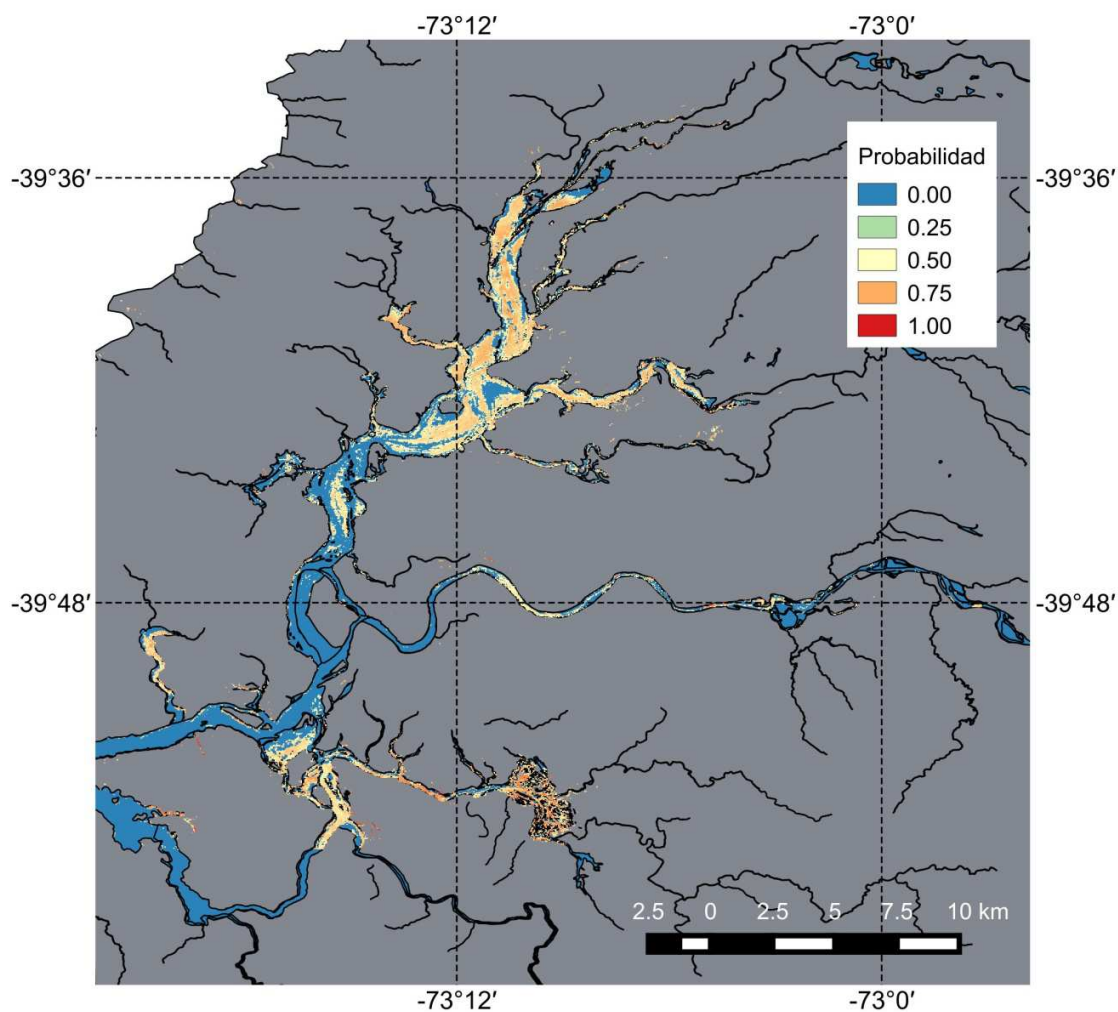


Figura 4.2.1.1.22. Distribución de *Sagittaria montevidensis* (Flecha de agua). La Figura ilustra la presencia de la Flecha de agua en celdas de color azul claro a rojo, con los valores más cálidos señalando mayor idoneidad de hábitat. Se ilustra el mapa de distribución promediado a través de las 6 validaciones cruzadas. Modelo generado en base a presencias de parches mono específicos e imágenes LANDSAT 8.

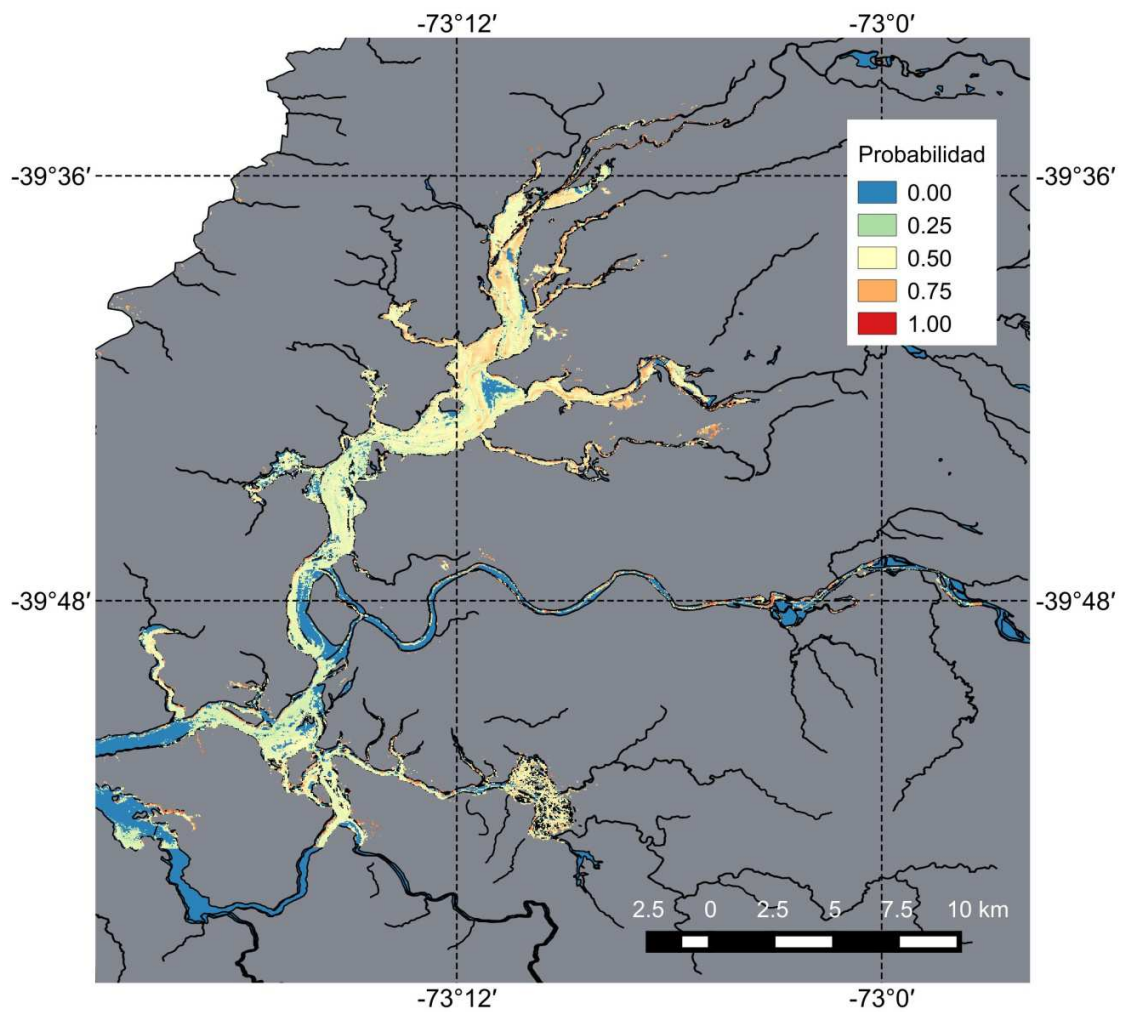


Figura 4.2.1.1.23. Distribución de *Nymphaea alba* (Loto). La Figura ilustra la presencia del Loto en celdas de color azul claro a rojo, con los valores más cálidos señalando mayor idoneidad de hábitat. Se ilustra el mapa de distribución promediado a través de las 6 validaciones cruzadas. Modelo generado en base a presencias de parches mono específicos e imágenes LANDSAT 8.

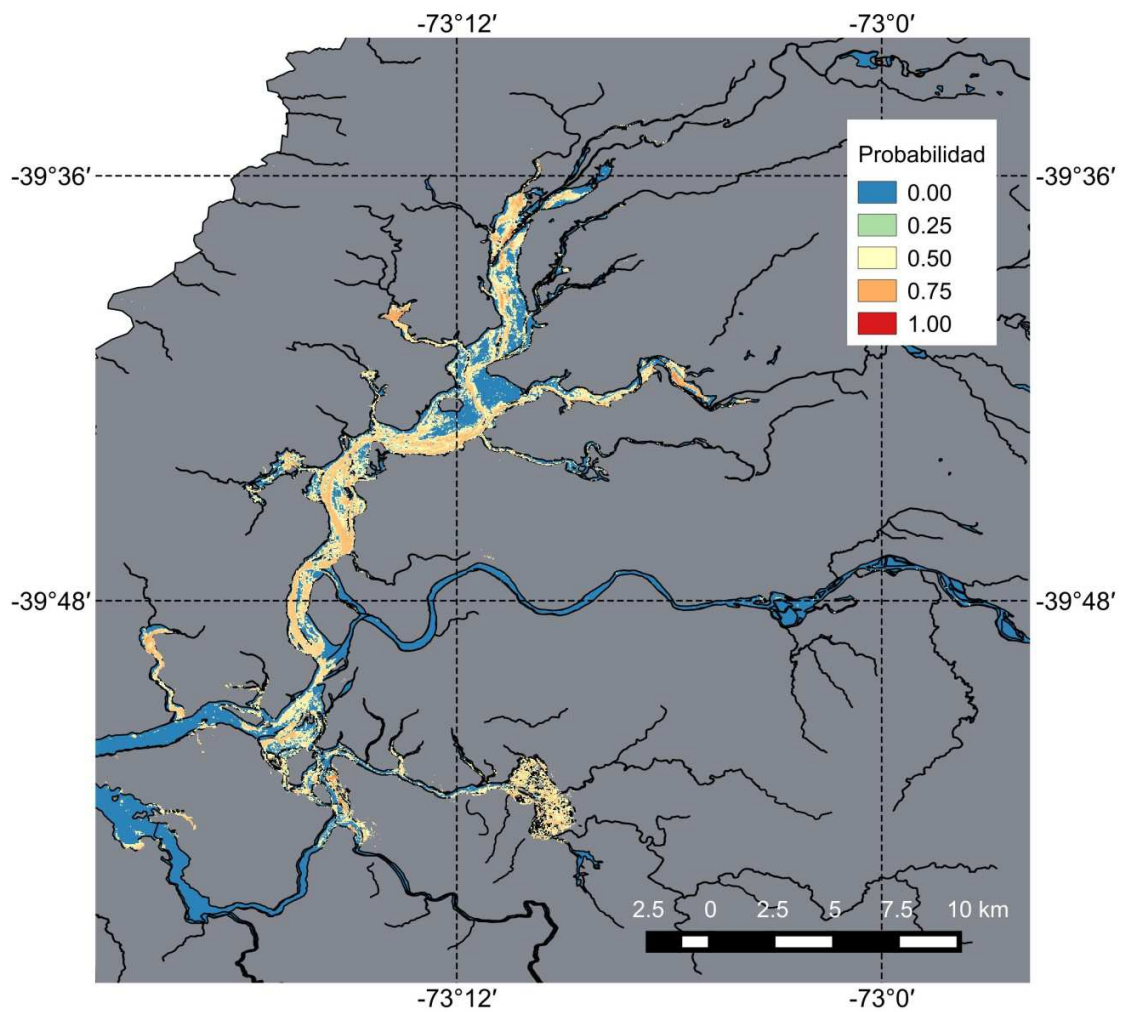


Figura 4.2.1.1.24. Distribución de *Scirpus californicus* (Totora). La Figura ilustra la presencia de la Totora en celdas de color azul claro a rojo, con los valores más cálidos señalando mayor idoneidad de hábitat. Se ilustra el mapa de distribución promediado a través de las 6 validaciones cruzadas. Modelo generado en base a presencias de parches mono específicos e imágenes LANDSAT 8.

Variación espacio-temporal en los indicadores de sensores remotos para la calidad de agua

Además de la medición *in situ* de parámetros de calidad de agua, en el presente estudio se examinó la variación espacio temporal para la reflectancia en distintos sectores del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios; específicamente en aquellos sectores delimitados por los polígonos de estudio.

Las Figuras 4.2.1.1.25 a 4.2.1.1.28 ilustran la variación en los valores de reflectancia correspondientes a las bandas 2 a 5 del sensor OLI (Satélites LANDSAT 4 y 5). Las bandas 2 a 4 corresponden al espectro de luz visible (luz azul, verde y roja respectivamente), mientras que la banda 5 corresponde a la información correspondiente al espectro infrarrojo cercano (NIR) (ver Tabla 4.2.1.1.1). Las bandas azul, verde y roja permiten evaluar diferencias en la transparencia del agua, debidas principalmente a variación en la turbidez y/o presencia de sólidos suspendidos en el curso de agua. Por otra parte, la reflectancia de la banda infrarroja cercana permite determinar cambios en la cobertura de macrófitas acuáticas sumergidas (Lagos *et al.*, 2008).

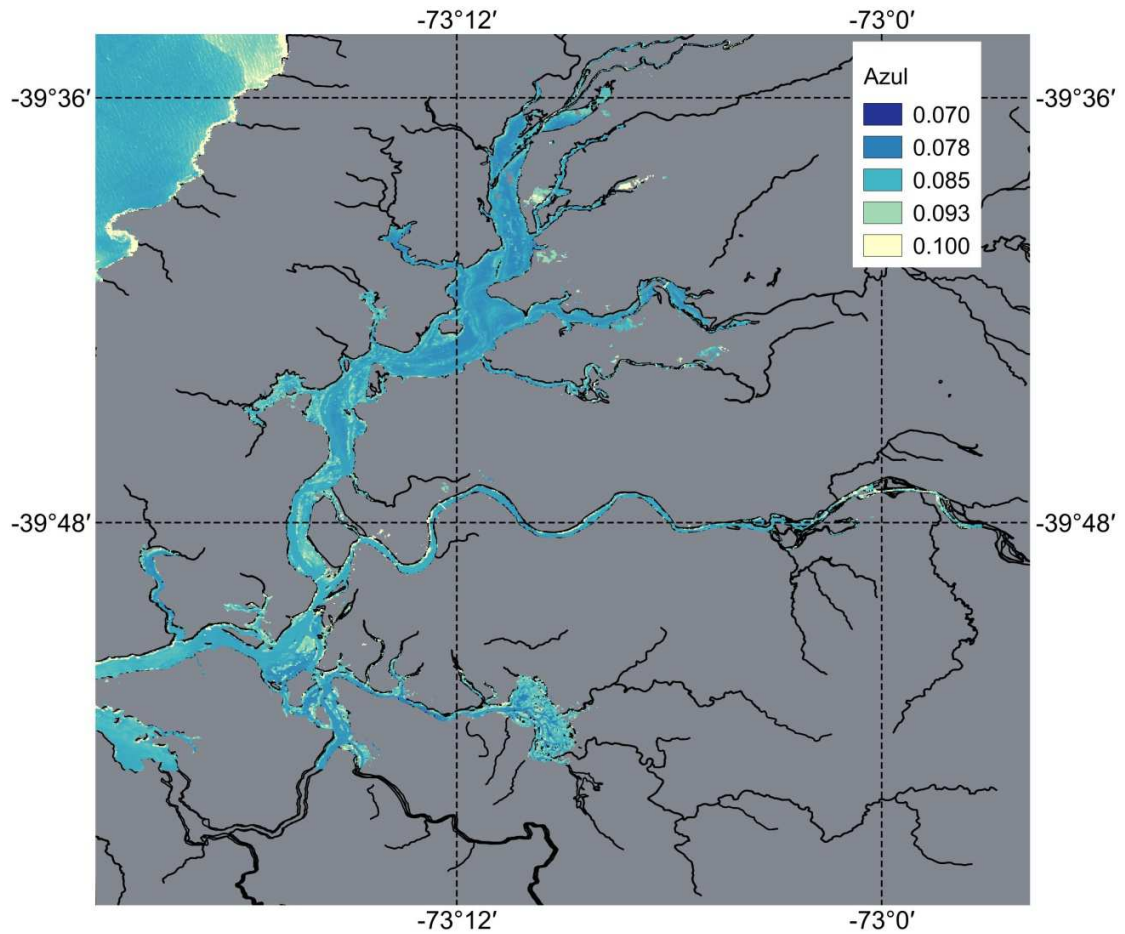


Figura 4.2.1.1.25. Reflectancia de la banda azul en el área de estudio. Se ilustra una imagen de pseudo-color, basada en la banda azul (banda 2) del sensor Landsat 8. La imagen corresponde al día 30 de noviembre de 2016. Imagen proyectada en coordenadas WSG 84.

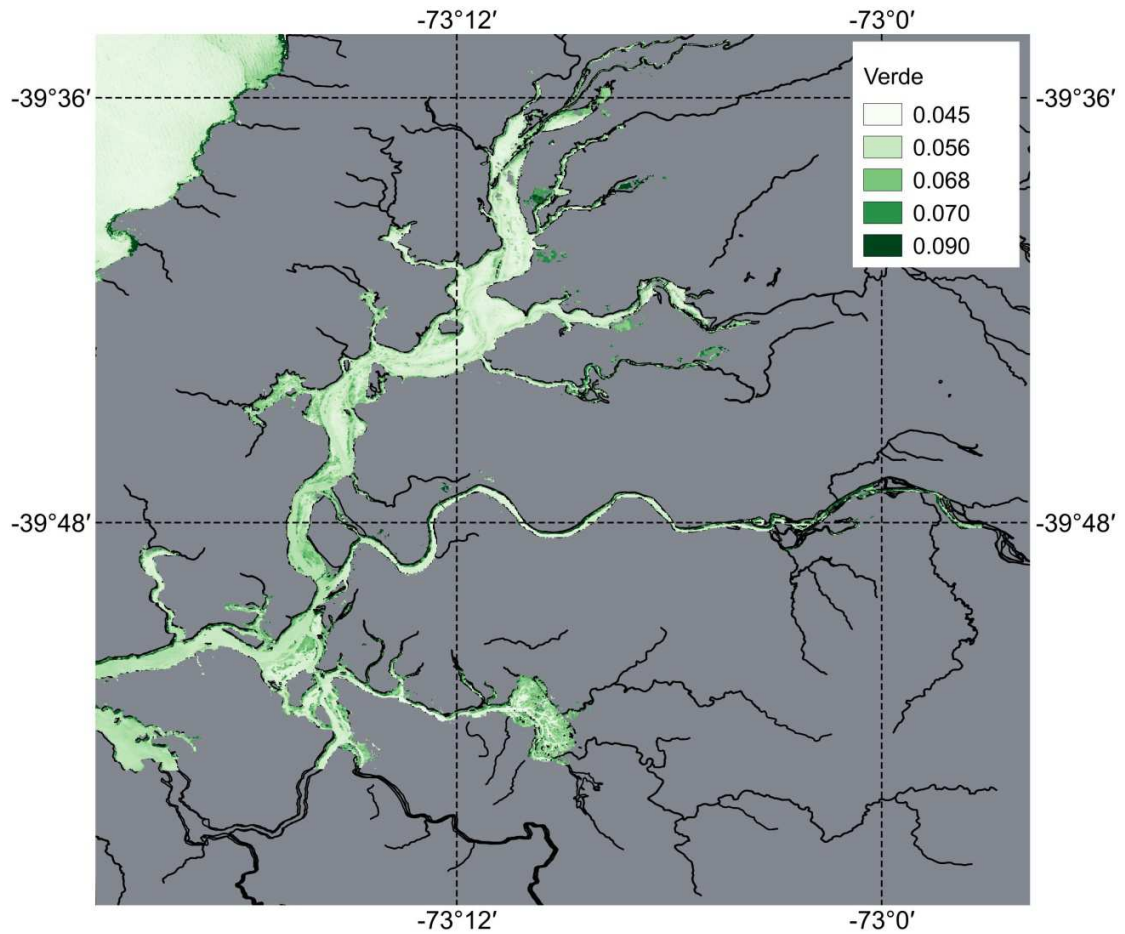


Figura 4.2.1.1.26. Reflectancia de la banda verde en el área de estudio. Se ilustra una imagen de pseudo-color, basada en la banda verde (banda 3) del sensor Landsat 8. La imagen corresponde al día 30 de noviembre de 2016. Imagen proyectada en coordenadas WSG 84.

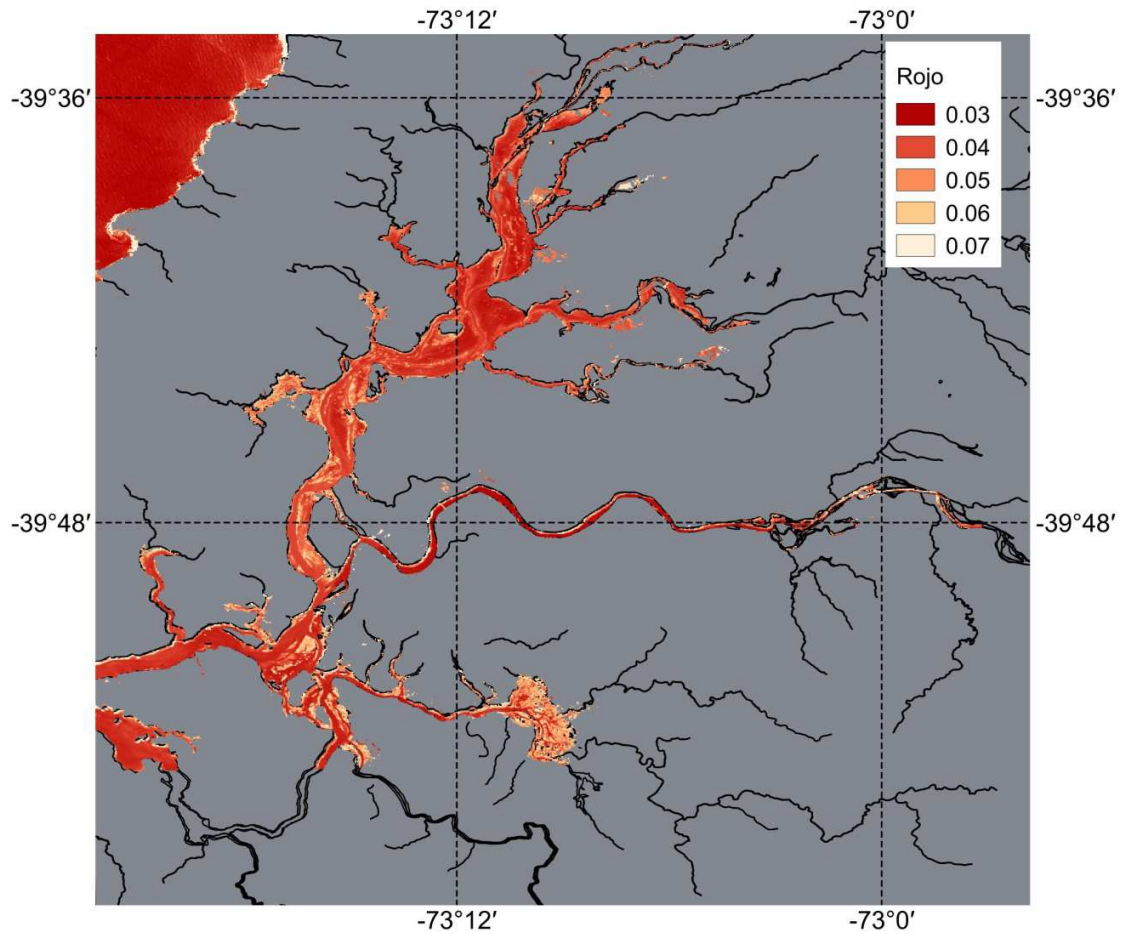


Figura 4.2.1.1.27. Reflectancia de la banda roja en el área de estudio. Se ilustra una imagen de pseudo-color, basada en la banda roja (banda 4) del sensor Landsat 8. La imagen corresponde al día 30 de noviembre de 2016. Imagen proyectada en coordenadas WSG 84.

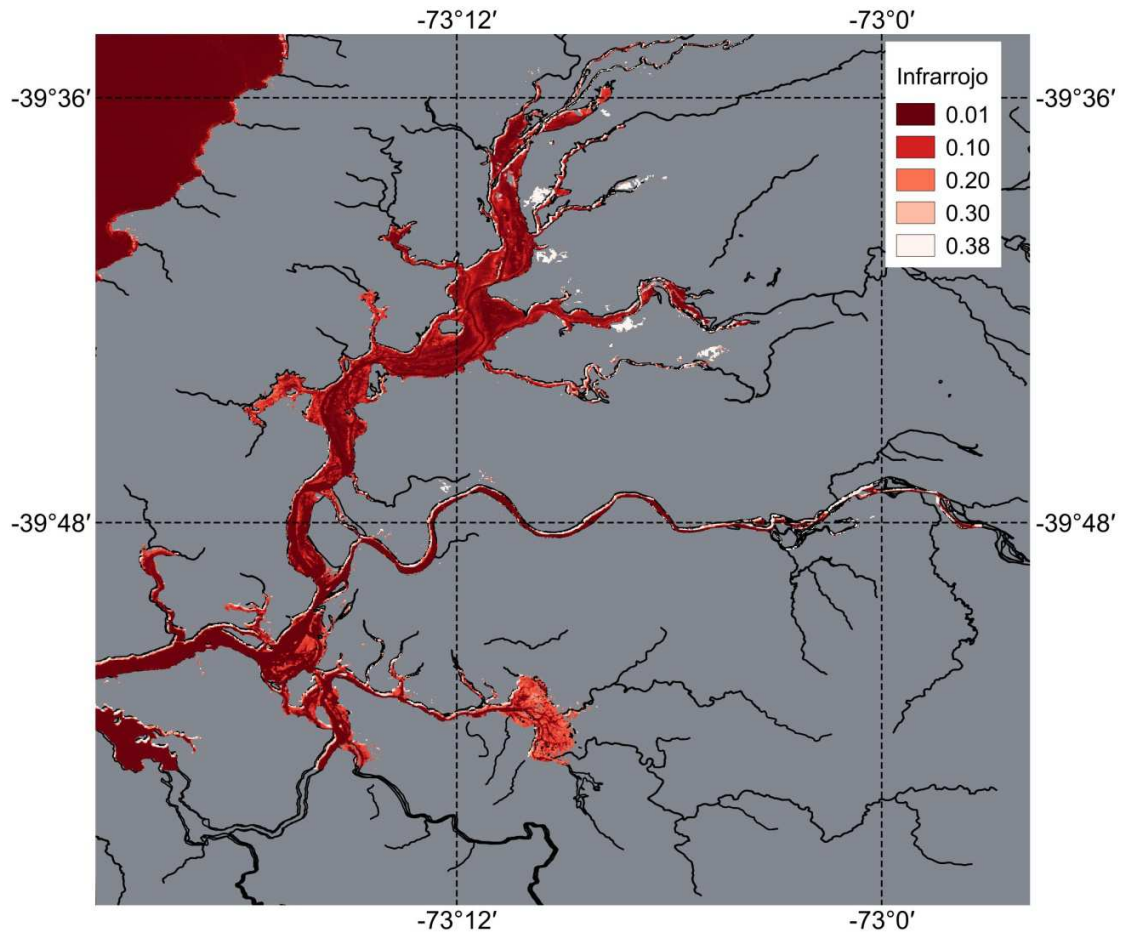


Figura 4.2.1.1.28. Reflectancia de la banda Infrarrojo en el área de estudio. Se ilustra una imagen de pseudo-color, basada en la banda Infrarrojo cercana (banda 5) del sensor Landsat 8. La imagen corresponde al día 30 de noviembre de 2016. Imagen proyectada en coordenadas WSG 84.

Tal como se ha mencionado anteriormente, estudios previos en el humedal del río Cruces y sus ríos tributarios han examinado la variación en la calidad del agua (Mulsow & Grandjean, 2006; Lagos *et al.*, 2008). En particular, en un estudio reciente, Lagos *et al.* (2008) distinguieron tres zonas correspondientes a las secciones norte, centro y sur de la zona del humedal del río Cruces. Si bien en el presente estudio se

han empleado polígonos de mayor resolución (ver Fig. 4.2.1.1.2), es posible relacionar nuestros resultados con las grandes zonas descritas en el trabajo de Lagos *et al.* (2008). En la Figura 4.2.1.1.29 se muestra la ubicación relativa de las grandes tres zonas, y los polígonos correspondientes a cada una de ellas.

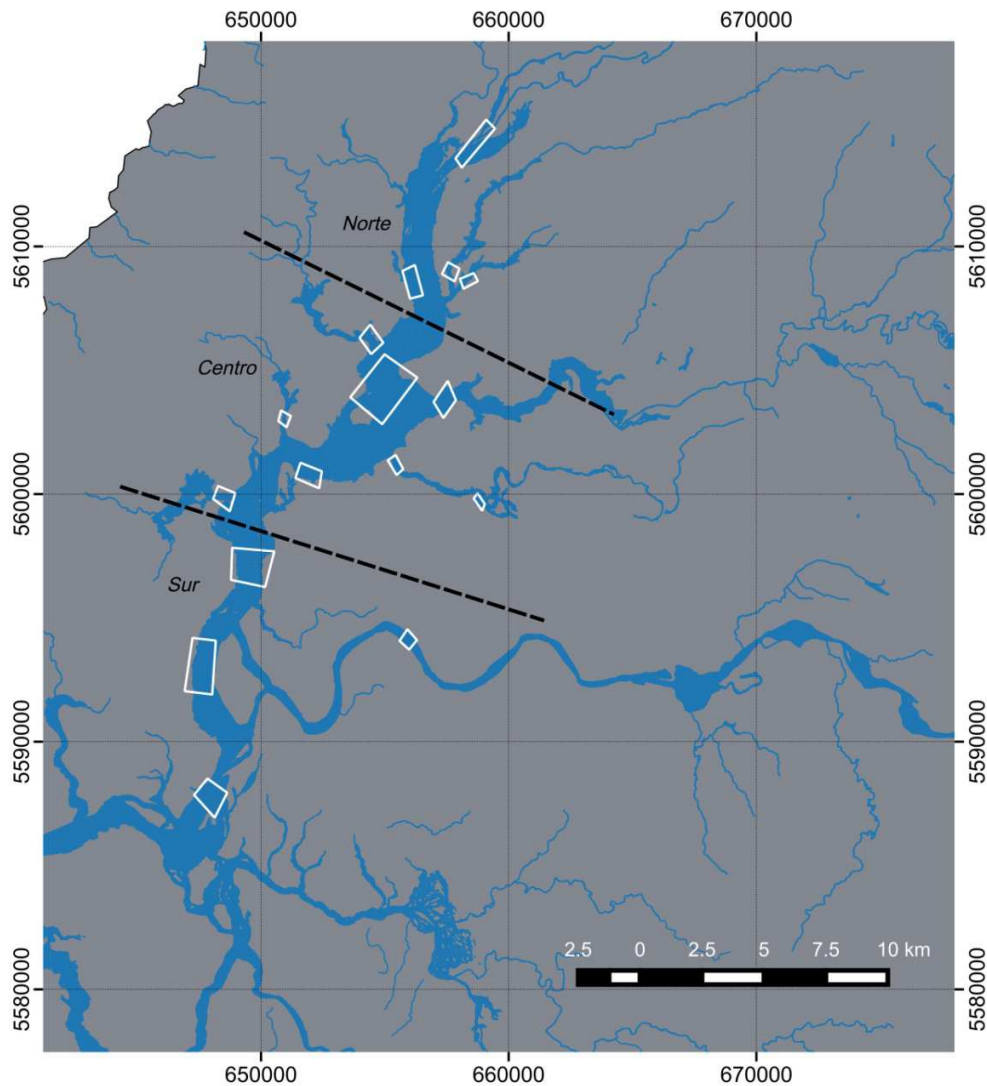


Figura 4.2.1.1.29. Definición de zonas dentro del humedal. Se ilustran las tres zonas principales del humedal (Norte, Centro y Sur), junto con los polígonos de estudio para el cálculo de cobertura de macrófitas acuáticas y estimación de parámetros de calidad de agua. La imagen de fondo corresponde a la distribución de los principales cursos de agua en la región de estudio. Imagen proyectada en coordenadas UTM WSG 84, Huso 18 Sur.

En el caso del sector norte del humedal, correspondiente a los sitios de San Luis, río Cruces, sector Santa María, y los ríos Nanihue y Cudico (Fig. 4.2.1.1.35), solo se observan diferencias en los valores de reflectancia para los datos correspondientes al infrarrojo cercano, levemente mayores en el sector de San Luis, en conjunto con un aumento en la reflectancia de infrarrojo cercano, cabe señalar que estos valores están dos órdenes de magnitud por debajo a lo observado anteriormente por Lagos et al. (2008), indicando una mejor calidad del agua en el HRC.

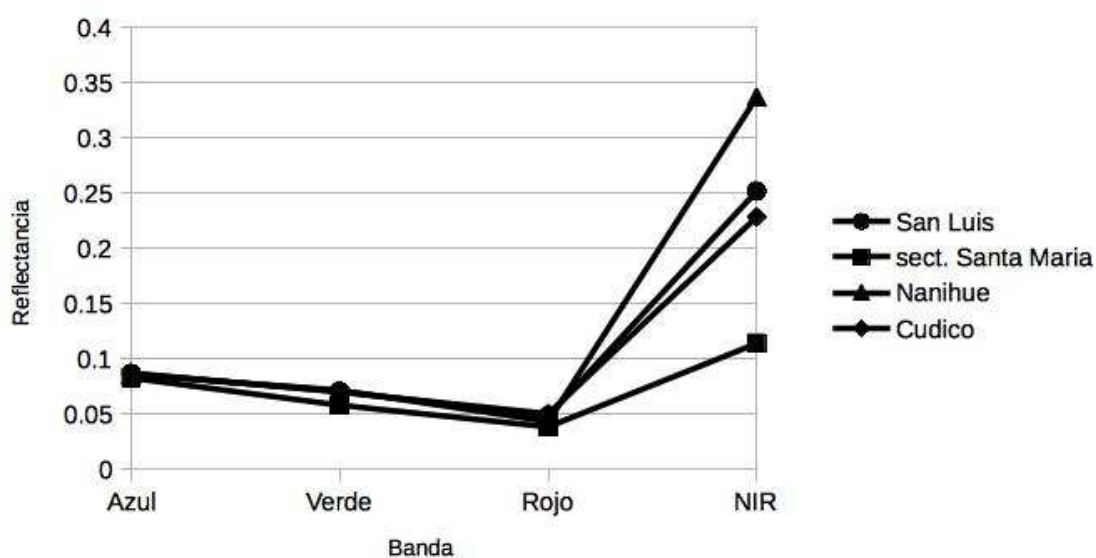


Figura 4.2.1.1.30. Variación espacial en la reflectancia el sector norte del humedal. Se ilustra el valor promedio de reflectancia observada para las bandas azul, verde, roja e infrarroja cercana del sensor Landsat 8.

En el sector central del humedal se observa un perfil similar de calidad de reflectancia, con valores menores, indicando una mejor calidad del agua, que no difiere mayormente entre las distintas áreas de estudios y con la única excepción del sector interior o medio del río Cayumapu, la calidad del agua es mucho mejor, presentando valores correspondientes a una mayor transparencia del agua (Fig. 4.2.1.1.31 y 4.2.1.1.32). En esta caso, no se evidencian patrones claros de diferenciación en un gradiente local, sino que todas las localidades en el sector

central se asemejan en sus perfiles de reflectancia (Figs. 4.2.1.1.31 y 4.2.1.1.32). De manera similar a lo reportado en el año 1 del PMRHC, este sector se caracteriza por una buena cobertura de macrofitas acuáticas, presentando una leve heterogeneidad espacial, probablemente asociada a diferencias en profundidad y caudal entre los distintos puntos del cauce del humedal.

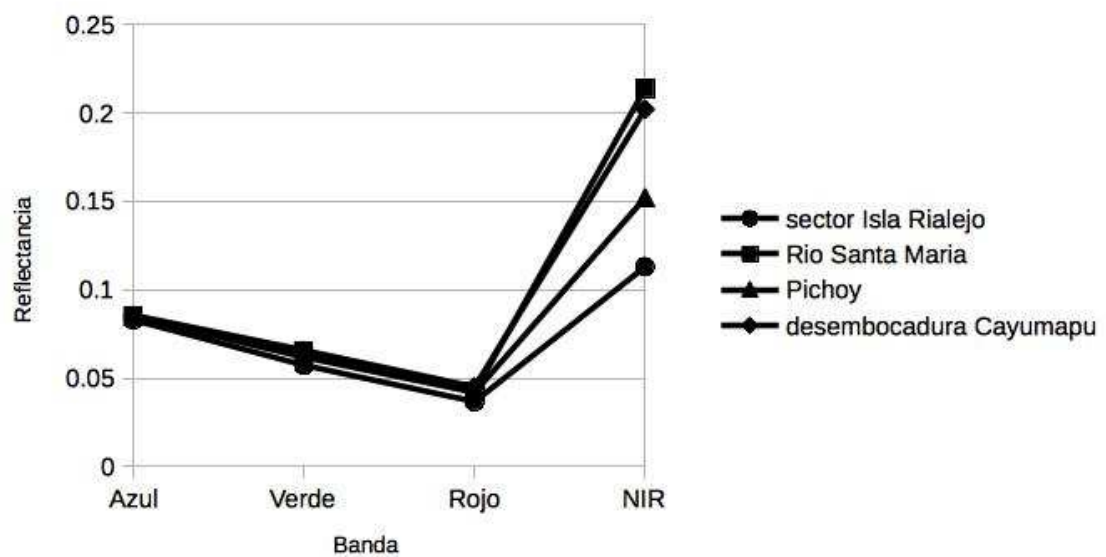


Figura 4.2.1.1.31. Variación espacial en la reflectancia el sector central del humedal. Se ilustra el valor promedio de reflectancia observada para las bandas azul, verde, roja e infrarroja cercana del sensor Landsat 8.

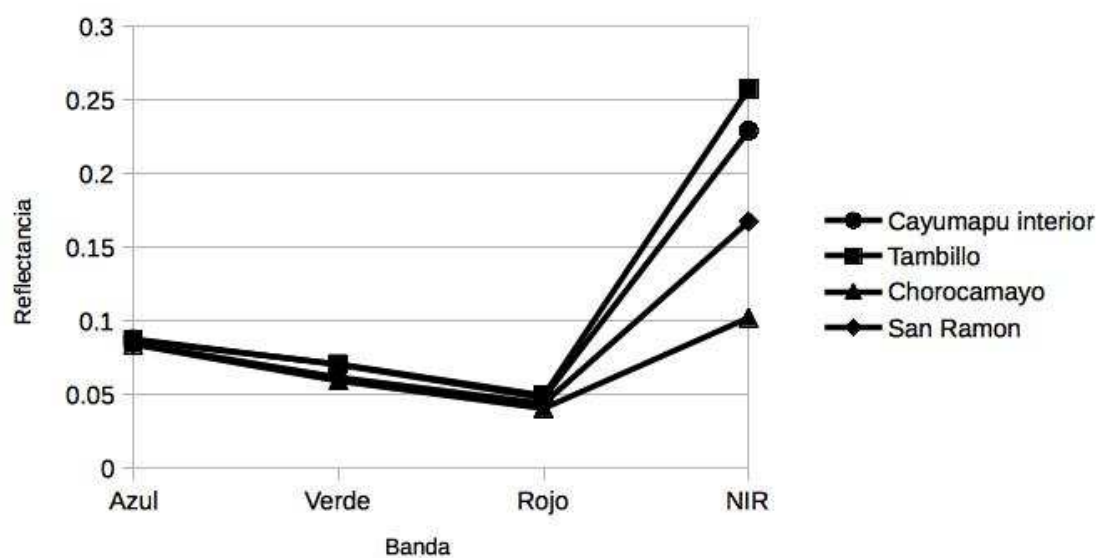


Figura 4.2.1.1.32. Variación espacial en la reflectancia el sector central del humedal. Se ilustra el valor promedio de reflectancia observada para las bandas azul, verde, roja e infrarroja cercana del sensor Landsat 8.

Finalmente, el sector sur del humedal presenta valores levemente menores de reflectancia, y por ende mayor transparencia. En todos los sectores y sitios de estudio, se observaron reflectancias relativamente mayores en la banda infrarroja cercana, que serían consistentes con la presencia de macrófitas acuáticas en estos sitios.

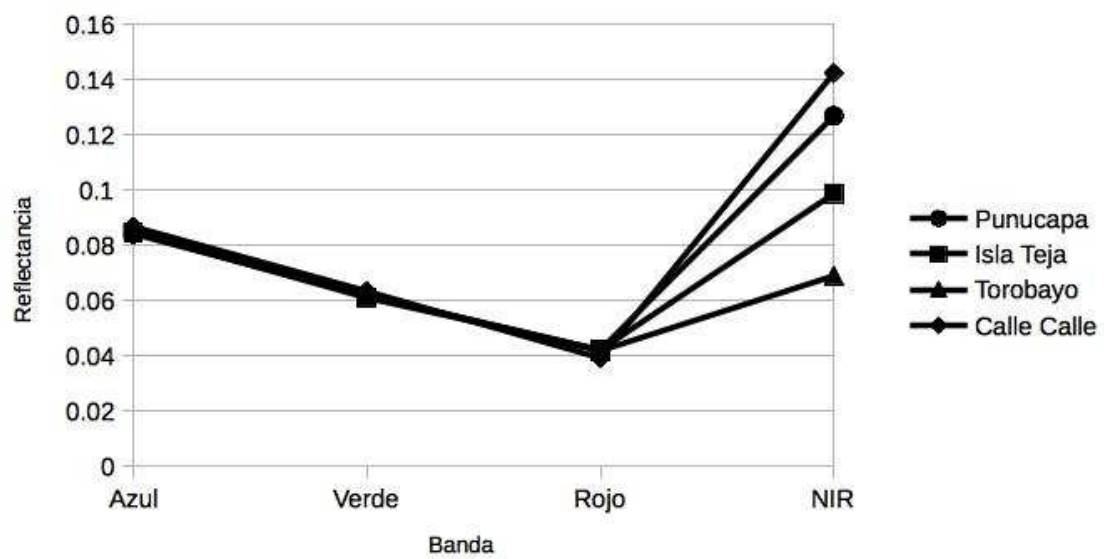


Figura 4.2.1.1.33. Variación espacial en la reflectancia el sector central del humedal. Se ilustra el valor promedio de reflectancia observada para las bandas azul, verde, roja e infrarroja cercana del sensor Landsat 8.

4.2.1.1.5. Conclusiones

- Respecto a la calidad del agua, se concluye que el HRC ha presentado un aumento significativo en la temperatura del agua, mientras que la conductividad y transparencia son menores con respecto al año 2014. Sin embargo, en lo que respecta a los parámetros de calidad de agua, la variabilidad observada puede encontrarse asociada a variaciones en la fecha de muestreo, al igual que al efecto de condiciones de sequía sobre el ciclo hidrológico del humedal. De manera similar a lo observado en el periodo previo de monitoreo, se observa que existe generalmente una interacción significativa entre el tiempo y sitio de muestreo, indicando respuestas locales en la variación de estos parámetros. Esto es más extremo en el caso de parámetros como los sólidos suspendidos totales, o el porcentaje de oxígeno disuelto, donde se observa un número importante de sitios que presentan valores similares a lo largo de distintos años.
- Respecto a la transparencia, se concluye que el área de estudio en general, pero particularmente su zona central se caracteriza por presentar una mayor transparencia, con valores más bajos de reflectancia. Se evidencian diferencias particulares en sitios como el sector medio del río Cayumapu, que se aleja de los sitios restantes en varios parámetros, además de la reflectancia. Es muy posible que estas variaciones espaciales den cuenta del efecto de las fuentes de variación local en la calidad del agua, particularmente respecto a la transparencia del agua. Estas fuentes locales de variación probablemente incluyen aportes diferenciales de sedimentos en distintos puntos del HRC. En particular, se evidencia una mayor reflectancia en la banda de longitudes de onda correspondientes al infrarrojo cercano, indicando una mayor cubierta de macrófitas acuáticas.
- Durante el año 2016, la distribución espacial de las macrófitas acuáticas fue muy similar a la documentada en el año 2014, particularmente para el caso del Luchecillo (*Egeria densa*). Pese a la disminución en la cantidad de

presencias utilizadas para calibrar y entrenar el modelo, se observó un buen desempeño en la calidad de ajuste de los datos. En el caso del Huiro verde (*Potamogeton lucens*), se concluye que esta especie cuenta con una distribución más restringida, lo que podría reflejar barreras abióticas a su distribución en el humedal. Sin embargo, no se cuenta con la información necesaria para aseverar si esta especie enfrenta restricciones de tipo abiótico solamente, o si debe enfrentar interacciones que acoten su distribución en el HRC.

- Respecto a la distribución histórica de especies como el Huiro (*Potamogeton pusillus*) o la Flecha de agua (*Sagittaria montevidensis*), ambas se caracterizan por presentar una distribución importante en el HRC. En el caso del Huiro, éste se encuentra ampliamente distribuido en el humedal, indicando que las condiciones ambientales le son favorables. Por otra parte, en el caso de la Flecha de agua, la distribución ambiental modelada también es amplia, indicando que las condiciones ambientales son favorables para su expansión en el área. Esto es coherente con la observación de su aparición en zonas dominadas previamente por parte del Luchecillo. En el monitoreo actual, esta tendencia se ha mantenido, lo que sugiere una posible interacción a nivel poblacional entre ambas especies. Sin embargo, dilucidar eventuales efectos competitivos directos o indirectos requerirá de estudios observacionales y experimentales orientados a evaluar dicha hipótesis.

- En el caso del Loto (*Nymphaea alba*) y la Totorá (*Scirpus californicus*), ambas especies presentan una amplia extensión en el humedal. En la primera, la distribución de hábitat idóneo es mucho más amplia y continua, mientras que se observa un patrón más agregado en el caso de la totora. Para esta última especie, las condiciones más idóneas se asocian a la ribera o sectores someros. Por otra parte, no se evidencian cambios notorios en la distribución entre los años 2014, 2015 y 2016, aun considerando que la proyección

espacial para la totora es más restringida. No obstante, ello puede reflejar la variación en el número de puntos de observación.

- Se concluye finalmente que el HRC y sus ríos tributarios se caracterizan por una variación dinámica de los atributos de calidad del agua. Pese a las importantes variaciones experimentadas en las últimas décadas, la calidad de agua se presenta como significativamente mejor que en el programa de diagnóstico, observándose evidencia de una importante cubierta de macrófitas. Esto se corrobora al observar una distribución amplia de las principales macrófitas acuáticas en el HRC. Desde este punto de vista, los datos recabados dan cuenta de un buen estado de este compartimento del ecosistema del HRC.

4.2.1.1.6. Referencias

Ahn, Y. H., P. Shanmugam, J. Hyung-Ryu. 2004. Atmospheric correction of the Landsat satellite imagery for turbid waters. *Gayana* 68:1-8.

Antoine, D., A. Morel. 1999. A multiple scattering algorithm for atmospheric correction of remotely sensed ocean color (MERIS instrument): principle and implementation for atmospheres carrying various aerosols including absorbing ones. *International Journal of Remote Sensing* 20:1875-1916.

Chander, G., B. Markham. 2003. Revised Landsat-5 TM radiometric calibration procedures and post calibration dynamic ranges. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 41: 2674-77.

Elith, J., CH. Graham, R.P. Anderson, M. Dudik, S. Ferrier, A. Guisan, R.J. Hijmans, F. Huettmann, J.R. Leathwick, A. Lehmann, J. Li, L.G. Lohmann, B.A. Loiselle, G. Manion, C. Moritz, M. Nakamura, Y. Nakazawa, J.M. Overton, A.T. Peterson, S.J. Phillips, K. Richardson, R. Scachetti-Pereira, R.E. Schapire, J. Soberon, S. Williams, M.S. Wisz, N.E. Zimmermann. 2006. Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. *Ecography* 29: 129-151.

Elith, J., J.R. Leathwick. 2009. Species distribution models: ecological explanation and prediction across space and time. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* 40: 677-697.

Elith, J., S.J. Phillips, T. Hastie, M. Dudík, E. Chee. 2011. A statistical explanation of MaxEnt for ecologists. *Diversity and Distributions* 11: 43-57.

Franklin, J. 2009. *Mapping Species Distributions: Spatial Inference and Prediction*. Cambridge University Press, Cambridge.

Hernández, P.A., C.H. Graham, L.L. Master, D.L. Albert. 2006. The effect of sample size and species characteristics on performance of different species distribution modeling methods. *Ecography* 29: 773-785.

Lagos, N.A., P. Paolini, E. Jaramillo, Ch. Lovengreen, C. Duarte, H. Contreras. 2008. Environmental processes, water quality degradation, and decline of water bird populations in the Rio Cruces wetland, Chile. *Wetlands* 28:938-950.

Mulsow, S., M. Grandjean. 2006. Incompatibility of sulphate compounds and soluble bicarbonate salts in the Río Cruces waters: an answer to the disappearance of *Egeria densa* and black-necked swans in a Ramsar sanctuary. *Ethics in Science and Environmental Politics* 5-11.

Ortega-Huerta, M.A., A.T. Peterson. 2008. Modeling ecological niches and predicting geographic distributions: a test of six presence-only methods. *Revista Mexicana De Biodiversidad* 79: 205-216.

Papes, M., P. Gaubert. 2007. Modelling ecological niches from low numbers of occurrences: assessment of the conservation status of poorly known viverrids (Mammalia, Carnivora) across two continents. *Diversity and Distributions* 13: 890-902.

Parslow, J.S., G. Harris. 1990. Remote sensing of marine photosynthesis. p. 269-90. IN: R. J. Hobbs and H. A. Mooney (eds.) *Remote Sensing of Biosphere Functioning* Springer Verlag. New York, NY, USA.

Penuelas, J., J.A. Gamon, K.L. Griffin, C.B. Field. 1993. Assessing community type, plant biomass, pigment composition, and photosynthetic efficiency of aquatic vegetation from spectral reflectance. *Remote Sensing of Environment*, 46: 110-118.
Phillips, S.J., Anderson, R.P., Schapire, R.E. 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling* 190: 231-259.

Phillips, S.J., M. Dudík. 2008. Modeling of species distributions with Maxent: new extensions and a comprehensive evaluation. *Ecography* 31: 161-175.

Strickland, J.D.H., T.R. Parsons. 1972. A Practical Handbook of Seawater Analysis. Bulletin No. 167, second edition, Fisheries Research Board of Canada, Ottawa, Canada.

Xu, H. 2006. Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery. *International Journal of Remote Sensing* 27: 3025-3033.

Wisz, M.S., R.J. Hijmans, J. Li A.T. Peterson, C.H. Graham, A. Guisan. NCEAS Predicting Species Distributions Working Group. 2008. Effects of sample size on the performance of species distribution models. *Diversity and Distributions* 14: 763-773.

4.2.2. MACROINFAUNA DE FONDOS SEDIMENTARIOS

4.2.2.1. Antecedentes

Los sedimentos no consolidados (gravas, arenas, fangos y combinaciones de estos) que forman parte del fondo o del lecho de áreas costeras y ribereñas, presentan un alto dinamismo físico, debido primariamente al movimiento del agua. Estos sedimentos sustentan una variada fauna de macroinvertebrados bentónicos, (o macroinfauna bentónica) cuyas abundancias poblacionales y riqueza de especies, están estrechamente relacionadas a las características físicas de los mismos (*e.g.*, Anderson *et al.*, 2004; Gray, 1974).

Los macroinvertebrados bentónicos son frecuentemente utilizados como indicadores ambientales de integridad biológica, además de ser empleados para evaluar la calidad del agua e identificar causas de alteraciones ambientales, tanto en ambientes lénticos (lagos) o lóticos (ríos) (*cf.* Rhoads & Boyer, 1982). Las respuestas poblacionales de estos organismos están en función a efectos sinérgicos o antagónicos del pasado reciente (*e.g.*, contaminantes agrícolas, domésticos, industriales, mineros), que influyen adversamente sobre las funciones fisiológicas, bioquímicas y reproductivas de las especies. Adicionalmente, el análisis de los cambios en la estructura de la comunidad (*i.e.*, riqueza de especies y abundancias) y

la función de estos macroinvertebrados bentónicos permite conocer tendencias de cambios temporales en el ambiente acuático.

En este Capítulo se analizan los resultados del segundo año del Programa de Monitoreo Ambiental del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios (HRC) (abril 2016-marzo 2017), en cuanto a estructura comunitaria de la macroinfauna de fondos sedimentarios se refiere. Estos resultados se comparan además, con los obtenidos durante el primer año del Programa de Monitoreo Ambiental (abril 2015-marzo 2016) y durante el Programa de Diagnóstico Ambiental del HRC (abril 2014-marzo 2015).

4.2.2.2. Objetivos

- Estudiar la distribución espacial de la macroinfauna de invertebrados bentónicos que ocurren en los fondos sedimentarios del HRC, durante el otoño y primavera del año 2016.
- Analizar la riqueza de especies, abundancia y biomasa de esa macroinfauna durante el mismo período.
- Estudiar la relación entre esa macroinfauna y la textura, potencial redox y el contenido de materia orgánica del sedimento durante el año 2016.
- Comparar los resultados anteriores con los obtenidos durante el primer año del Programa de Monitoreo Ambiental (abril 2015-marzo 2016) y durante el Programa de Diagnóstico Ambiental del HRC (abril 2014-marzo 2015).

4.2.2.3. Material y métodos

Obtención de las muestras de macroinfauna y sedimentos

Los muestreos de la macroinfauna bentónica se realizaron los días 12 y 13 de abril de 2016 (campaña de otoño) y 6 y 7 de octubre de 2016 (campaña de primavera). Durante el primer año del Programa de Monitoreo Ambiental del HRC, los muestreos se realizaron los días 21 y 22 de abril de 2015 (campaña de otoño) y 17

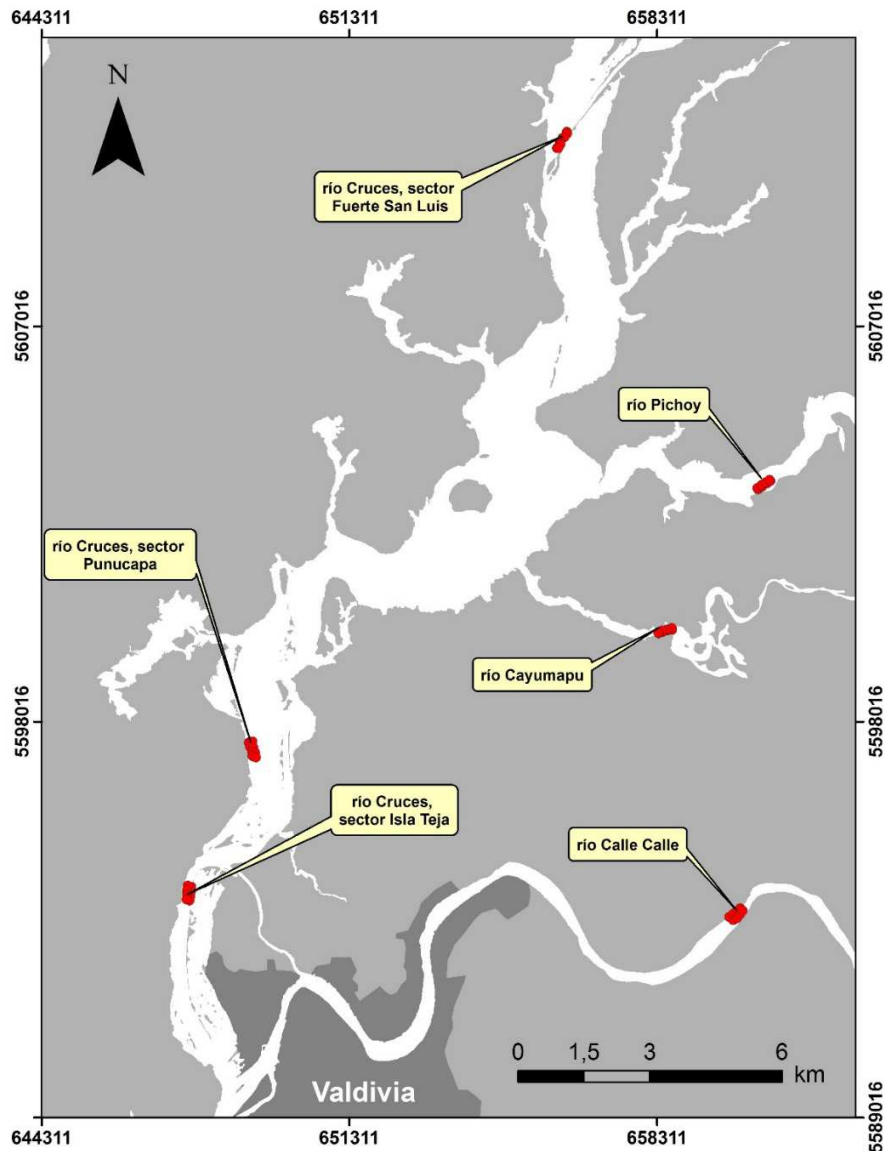
de noviembre de 2015 (campaña de primavera), a la vez que durante el Programa de Diagnóstico Ambiental del HRC los muestreos se llevaron a cabo los días 27 y 30 de noviembre 2014. Los muestreos se realizaron en los seis sitios de estudio que se muestran en la Figura 4.2.2.1: río Cruces, sector estuarial (sector Fuerte San Luis, Punucapa e Isla Teja); ríos tributarios del río Cruces, sector estuarial (río Pichoy y Cayumapu) y fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios (río Calle Calle). Los muestreos diseñados para análisis de textura, contenido de materia orgánica, pH

y potencial redox del sedimento se realizaron en las mismas estaciones seleccionadas para obtención de la macroinfauna.

Figura

4.2. 2.1.

Ubicación de los sitios de muestreo o seleccionadas para el estudio de la macroinfauna bentónica de fondos sedimentarios. En cada uno



de los sitios se obtuvieron cuatro muestras en las orillas (<1.5 m de profundidad) y cuatro en los cauces de los mismos (>2.5 m de profundidad).

Tratamiento preliminar de las muestras y mediciones de pH y redox

El sedimento recolectado para los análisis texturales se guardó en frío en bolsas plásticas previamente rotuladas. En cada uno de los sitios de muestreo se recolectaron además sedimentos para mediciones de pH y potencial de óxido reducción (redox), utilizándose una sonda multiparamétrica para mediciones *in situ* enterrada a una profundidad de 3 cm en el sedimento.

Textura, granulometría y contenido de materia orgánica del sedimento

Los análisis texturales se realizaron siguiendo la metodología de tamizado en húmedo (Anderson *et al.*, 1981). Una porción de las muestras se tamizó en húmedo a través de coladores de 2000 y 63 micrones de abertura de trama, para separar las fracciones grava (partículas de diámetro mayor a 2 mm), arena y agregados biogénicos (partículas entre 2000 y 63 micrones) y fango (partículas inferiores a 63 micrones). La fracción arena y agregados biogénicos se trató con ultrasonido durante 30 minutos y se tamizó a través de un colador de 63 micrones, con el objetivo de separar la fracción arena de los agregados biogénicos. Estos últimos están representados primariamente por agregados fecales y restos de tubos habitacionales de gusanos anélidos. Posteriormente, estas fracciones se secaron (60°C por 24 horas) e incineraron (550° C por 6 horas). A partir de cálculos de diferencia de peso, se determinaron los porcentajes de materia orgánica (materia orgánica carbonosa o combustible) para cada una de las fracciones (Byers *et al.*, 1978).

La suspensión coloidal con el fango obtenido en el segundo tamizado se dejó decantar. El fango decantado se enrasó en probetas de un 1 litro; luego se homogenizó por agitación vertical para obtener una alícuota de 20 ml a 20 cm de la superficie de la suspensión. Esta alícuota se secó (60°C por 24 horas) e incineró (550°C por 6 horas). Posteriormente, se determinó el porcentaje de materia orgánica para cada una de las réplicas mediante cálculos de diferencias de peso (Byers *et al.*, 1978).

La fracción arena se analizó granulométricamente por medio de velocidad de decantación de las partículas (Emery, 1938) y método de momentos (Seward-Thompson & Hails, 1973), estimándose el estadígrafo tamaño medio de la partícula de arena.

Macroinfauna bentónica

Las muestras de sedimento destinadas al análisis de la macroinfauna bentónica se recolectaron en cada sitio mediante buceo autónomo en dos niveles de profundidad: orillas y cauces (cuatro muestras por nivel, ocho muestras por sitio), utilizándose cilindros plásticos de 7,5 cm de diámetro enterrados a una profundidad de aproximadamente 10 cm en el sedimento. Estos cilindros fueron cubiertos con tapas (en ambos extremos) previamente marcados y llevados por el buzo a una lancha de muestreo; las muestras se mantuvieron en formalina con agua del ambiente natural al 10% para posteriormente ser filtradas en mallas de 500 micrones de trama. El residuo se conservó para su posterior identificación y recuento de macroinvertebrados bentónicos bajo lupa estereoscópica. La identificación de los taxa se realizó hasta el nivel taxonómico más bajo posible.

Análisis estadísticos

Para evaluar eventuales diferencias en las características texturales, granulométricas, contenido de materia orgánica, pH y redox de los fondos sedimentarios de las áreas de muestreo, se realizaron análisis de varianza de una vía (ANDEVA) (Sokal & Rohlf, 1995). Previamente los datos de las características texturales (expresados en porcentajes) se transformaron mediante transformación angular (*i.e.*, arco seno de la raíz cuadrada de los datos) para cumplir con los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas. Los datos de pH y redox – en los cuales no se cumplieron estos supuestos - fueron transformados mediante la expresión $\log(x+1)$.

Para comprobar normalidad y homogeneidad de varianzas se utilizó la prueba estadística de Kolmogorov-Smirnov y el test de Levene (Sokal & Rohlf, 1995). En aquellos ANDEVA donde se encontraron diferencias significativas entre los grupos analizados, se realizó un test *a posteriori* Tukey con el Programa Sigmaplot 11.0; esto con el objetivo de identificar la o las entidades con características sedimentológicas significativamente diferentes (Sokal & Rohlf, 1995). Cuando los datos no cumplieron con los supuestos básicos de normalidad se utilizó el test no paramétrico de Kruskal Wallis.

Las abundancias de la macroinfauna de cada sitio se utilizaron para estimaciones de riqueza de especies, Índice de Diversidad de Shannon-Wiener y Uniformidad de Pielou (Pielou, 1984; Brower & Zar, 1977). Se realizaron análisis de varianza de una vía (ANDEVA), de igual forma que para los análisis texturales.

Con el objetivo de evaluar eventuales asociaciones faunísticas entre sitios de muestreo se realizaron análisis de escalamiento multidimensional no métrico (MDS, por sus siglas en inglés), el cual minimiza la distancia de similitud entre los objetos estudiados, utilizando la distancia de Bray-Curtis como índice de similitud entre estaciones. Los datos fueron transformados con raíz a la cuarta, previo a su inclusión en el análisis. Los resultados de la distribución espacial de las agrupaciones se generan sobre un plano cartesiano de dos o tres dimensiones; el MDS genera un valor de “stress” que corresponde a una medida de “no-bondad” del ajuste (*i.e.*, mientras mayor sea la distancia entre los objetos mayor es el valor de stress, y por ende, peor es el modelo resultante). Las categorizaciones para interpretar el valor de stress son las siguientes: 0,2 = modelo pobre; 0,1 = modelo aceptable; 0,05 = modelo bueno; y 0 (valor mínimo), corresponde a un excelente modelo de asociación (Kruskal, 1964).

4.2.2.4. Resultados

Textura, granulometría, contenido de materia orgánica total, pH y potencial de óxido reducción en el sedimento

Las Tablas 4.2.2.1 a 4.2.2.6 muestran los valores porcentuales de los contenidos de grava, arena, fango, agregados biogénicos, materia orgánica total y tamaño de las partículas correspondientes a la fracción de arena durante el año 2016.

Grava

Durante el otoño del año 2016, la grava (partículas de diámetro superior a 2 mm), estuvo presente en todas las estaciones de muestreo, con excepción del río Pichoy, (Tabla 4.2.2.1). Durante la primavera del mismo año, esta fracción estuvo presente sólo en los sedimentos de las orillas y cauces del sector Punucapa (1,1 y 8,5%, respectivamente) y en las orillas del río Pichoy (0,3%) (Tabla 4.2.2.1).

Durante el primer año del Programa de Monitoreo del HRC (año 2015), la grava sólo estuvo presente durante la primavera y en los sedimentos de la orillas y cauces del sector de Punucapa (32,1 y 8,5%, respectivamente) y en el cauce del río Calle Calle (9,5%). Por otra parte, durante el año 2014 (Programa de Diagnóstico Ambiental del HRC), esta fracción no estuvo presente en ninguna de las estaciones muestreadas (Tabla 4.2.2.1).

Continuación Tabla 4.2.2.1.

Estaciones	grava (%)			
	otoño 2016 (abril)		primavera 2016 (octubre)	
	orilla	cauce	orilla	cauce
Eje central del río Cruces (sector estuarial)				
sector Fuerte San Luis	0,4 (0,2)	0,3 (0,4)	0,0 (0,0)	0,0 (0,0)
sector Punucapa	0,2 (0,1)	0,6 (0,5)	1,1 (2,1)	8,5 (16,9)
sector Isla Teja	0,7 (0,4)	1,0 (0,7)	0,0 (0,0)	0,0 (0,0)
Ríos tributarios del río Cruces (sector estuarial)				
río Pichoy	0,0 (0,0)	0,0 (0,0)	0,3 (0,5)	0,0 (0,0)
río Cayumapu	0,4 (0,3)	0,4 (0,3)	0,0 (0,0)	0,0 (0,0)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios				
río Calle Calle	0,1 (0,1)	0,1 (0,2)	0,0 (0,0)	0,0 (0,0)

Arena

A diferencia de los años anteriores, la arena (partículas comprendidas entre 63 y 2000 micrones), no fue la fracción dominante durante abril del año 2016 en los sedimentos de las orillas de los sitios de estudio; los valores porcentuales más altos ocurrieron en el río Calle Calle (37,5%), en tanto el valor más bajo se registró en el río Cayumapu (4,2%) (Tabla 4.2.2.2). En cuatro sitios, la arena fue la fracción dominante en los sedimentos de los cauces; el valor más alto ocurrió en el río Pichoy (>90%). Los sitios que presentaron diferencias significativas ($p < 0,05$) al comparar los porcentajes de arena entre las orillas y cauces, fueron el sector Isla Teja y el río Pichoy (en ambos

sitios con valores porcentuales de arena más altos en los cauces que en las orillas) (Tabla 4.2.2.2).

Durante la primavera del año 2016, los sedimentos de las orillas como de los cauces el río Calle Calle, fueron los que tuvieron el valor porcentual más alto de arena (60,1% y 78,6%, respectivamente); por otra parte, el río Cayumapu fue el sitio donde se registró el valor más bajo de arena, tanto en los sedimentos de las orillas como en los cauces (~2%) (Tabla 4.2.2.2). Los cauces del río Pichoy y río Calle Calle fueron los que presentaron los valores porcentuales significativamente ($p < 0,05$) más altos de arenas, en tanto que en los sedimentos del sector Isla Teja, la arena presentó valores significativamente ($p < 0,05$) más altos en las orillas que en el cauce (42,6% y 2,4%, respectivamente (Tabla 4.2.2.2).

La arena fue la fracción dominante en los sedimentos de cinco de los seis sitios estudiados durante abril y noviembre del año 2015. Durante ambas campañas, los valores porcentuales de arena fueron significativamente más altos ($p < 0,05$) en los cauces que en las orillas del sector San Luis; durante abril del mismo año, se observó lo mismo en el sector Isla Teja y río Calle Calle (Tabla 4.2.2.2). Durante el Programa de Diagnóstico Ambiental (año 2014), las arenas también fueron la fracción dominante en los sedimentos, tanto de las orillas como de los cauces (valores significativamente más altos en los sedimentos del cauce del sector río Calle Calle) (Tabla 4.2.2.2).

Tabla 4.2.2.2. Valores porcentuales promedio de arena en los sedimentos de orillas y cauces del área de estudio durante noviembre 2014, abril y noviembre de 2015 y abril y octubre de 2016. Los valores son promedios con desviación estándar en paréntesis. Los valores en negrilla son promedios significativamente diferentes ($p < 0,05$) al comparar sedimentos de orillas y cauces para cada sitio. * = se usó Prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis cuando no se cumplieron los supuestos de ANDEVA.

Estaciones	arena (%)					
	primavera 2014 (noviembre)		otoño 2015 (abril)		primavera 2015 (noviembre)	
	orilla	cauce	orilla	cauce	orilla	cauce
Eje central del río Cruces (sector estuarial)						
sector Fuerte San Luis	69,1 (14,2)	88,2 (18,7)	55,4 (28,3)	92,6 (1,6)	31,9 (15,2)	82,2 (19,6)
sector Punucapa	39,0 (20,8)	39,9 (5,6)	50,0 (17,1)	72,2 (44,3)	44,1 (29,3)	62,8 (36,5)
sector Isla Teja	70,5 (35,4)	88,0 (2,0)	71,6 (24,8)	98,1 (1,1)*	62,5 (23,2)	81,3 (19,0)
Ríos tributarios del río Cruces (sector estuarial)						
río Pichoy	77,5 (17,6)	92,6 (6,7)	75,9 (14,2)	90,1 (6,5)	47,2 (16,6)	78,0 (27,2)
río Cayumapu	34,7 (20,7)	37,1 (27,3)	19,0 (12,7)	32,5 (22,3)	16,0 (8,8)	21,3 (20,6)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios						
río Calle Calle	82,7 (9,9)	98,2 (1,6)	66,5 (16,3)	95,5 (2,5)	36,9 (11,8)	56,1 (40,1)

Continuación Tabla 4.2.2.2.

Estaciones	arena (%)			
	otoño 2016 (abril)		primavera 2016 (octubre)	
	orilla	cauce	orilla	cauce
Eje central del río Cruces (sector estuarial)				
sector Fuerte San Luis	27,3 (19,0)	58,6 (27,5)	6,7 (4,8)	71,5 (2,4)
sector Punucapa	18,7 (19,9)	9,6 (3,7)	19,9 (7,0)	9,8 (13,7)
sector Isla Teja	23,4 (8,5)	78,5 (13,5)	42,6 (13,2)	2,4 (0,7)
Ríos tributarios del río Cruces (sector estuarial)				
río Pichoy	11,1 (7,3)	91,6 (2,2)	26,6 (7,9)	63,3 (5,0)
río Cayumapu	4,2 (3,8)	14,6 (15,8)	2,1 (1,5)	2,0 (1,0)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios				
río Calle Calle	37,5 (21,9)	79,3 (5,3)	60,1 (3,8)	78,6 (10,9)

Fango

Durante abril del año 2016, la fracción fango (*i.e.*, partículas con diámetros inferiores a 63 micrones) dominó en todas las estaciones de las orillas (~57%); por el contrario, sólo los sedimentos de los cauces en los sectores Punucapa y río Cayumapu fueron los que registraron valores porcentuales más altos de fango (>50%) (*cf.* porcentajes de arena y fango en Tablas 4.2.2.2 y 4.2.2.3, respectivamente). Los sitios que presentaron valores porcentuales significativamente ($p < 0,05$) más altos de fango

en los sedimentos de las orillas *versus* los de los cauces fueron el sector Isla Teja, río Pichoy y río Calle Calle (Tabla 4.2.2.3).

Durante octubre del año 2016, los sedimentos de las orillas presentaron en general, valores porcentuales de fango más altos que los cauces; el valor más alto de fango ocurrió en el sector del San Luis (82,1%), mientras que el valor más bajo se registró en el río Calle Calle (26,1%). Los sedimentos de los cauces del sector Isla Teja presentaron el valor porcentual más alto de fango (69,0%) y al igual que en los sedimentos de las orillas, el valor más bajo ocurrió en el río Calle Calle (15,3%). Los sitios que presentaron diferencias significativas ($p < 0,05$) entre los porcentajes de orillas y cauces, fueron el sector Isla Teja (porcentaje de fango significativamente más alto en el cauce) y el río Pichoy (valor porcentual significativamente más alto en los sedimentos de las orillas) (Tabla 4.2.2.3).

Durante ambas campañas del año 2015, la fracción fango presentó su valor porcentual más alto tanto en la orilla como en el cauce del sitio ubicado en el río Cayumapu, (valores porcentuales $>60\%$) (Tabla 4.2.2.3). A su vez, los valores porcentuales más bajos de fango ocurrieron en el cauce de los sitios ubicados en los sectores San Luis (6,5%), Isla Teja (1,2%), río Pichoy (7,3 %) y río Calle Calle (3,5%) (otoño del año 2015) y en los sedimentos del cauce del río Pichoy (5,9%) (primavera del año 2015) (Tabla 4.2.2.3). En general, los valores porcentuales de fango fueron más altos en las orillas que en los cauces de los sitios de estudio.

Durante el Programa de Diagnóstico Ambiental del HRC (año 2014), los valores porcentuales de fango fueron más altos en los sedimentos de las orillas que en aquellos del cauce (Tabla 4.2.2.3). Los valores más altos se registraron en el sector Punucapa (39,0 y 38,0% en los sedimentos de la orilla y cauce, respectivamente) y los más bajos en el sector río Calle Calle (11,3 y 1,3 % en los sedimentos de la orilla y cauce, respectivamente (Tabla 4.2.2.3).

Tabla 4.2.2.3. Valores porcentuales promedio de fango en los sedimentos de orillas y cauces del área de estudio durante noviembre 2014, abril y noviembre de 2015 y abril y octubre de 2016. Los valores son promedios con desviación estándar en paréntesis. Los valores en negrilla son promedios significativamente diferentes ($p < 0,05$) al comparar sedimentos de orillas y cauces para cada sitio. * = se usó Prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis cuando no se cumplieron los supuestos de ANDEVA.

Estaciones	fango (%)					
	primavera 2014 (noviembre)		otoño 2015 (abril)		primavera 2015 (noviembre)	
	orilla	cauce	orilla	cauce	Orilla	cauce
Eje central del río Cruces (sector estuarial)						
sector Fuerte San Luis	23,2 (15,9)	10,5 (17,0)	38,4 (22,6)	6,5 (1,0)	50,1 (7,1)	12,2 (13,0)*
sector Punucapa	39,0 (18,9)	38,0 (12,6)	48,4 (16,9)	26,4 (43,0)	19,3 (19,4)	25,6 (38,5)
sector Isla Teja	24,5 (31,4)	10,6 (1,5)	27,4 (24,4)	1,2 (0,8)*	34,0 (22,3)	15,5 (17,0)
Ríos tributarios del río Cruces (sector estuarial)						
río Pichoy	11,1 (7,9)	1,1 (1,0)	21,7 (13,1)	7,3 (3,9)	43,2 (12,1)	5,9 (5,2)
río Cayumapu	33,0 (5,0)	26,9 (8,5)	74,0 (11,9)	61,6 (19,3)	67,5 (4,8)	63,3 (19,6)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios						
río Calle Calle	11,3 (11,0)	1,3 (1,6)	29,8 (16,9)	3,5 (2,0)	59,2 (10,5)	32,6 (40,3)

Continuación Tabla 4.2.2.3.

Estaciones	fango (%)			
	otoño 2016 (abril)		primavera 2016 (octubre)	
	orilla	cauce	orilla	cauce
Eje central del río Cruces (sector estuarial)				
sector Fuerte San Luis	37,4 (11,2)	25,7 (17,9)	82,1 (8,2)	26,2 (2,3)
sector Punucapa	50,5 (18,3)	56,6 (7,0)	63,0 (13,1)	66,9 (32,2)
sector Isla Teja	56,1 (7,1)	10,6 (9,8)	35,7 (8,2)	69,0 (7,2)
Ríos tributarios del río Cruces (sector estuarial)				
río Pichoy	54,8 (5,1)	2,5 (1,2)	68,2 (9,5)	34,4 (5,3)
río Cayumapu	56,9 (11,5)	50,0 (7,8)	69,6 (5,8)	61,0 (21,5)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios				
río Calle Calle	38,0 (14,0)	14,0 (4,5)	26,1 (6,0)	15,3 (8,8)

Agregados biogénicos

Durante abril del año 2016, los agregados biogénicos, con excepción del sector de Punucapa, fueron más altos en los sedimentos de las orillas que en los cauces, con valores extremos de 38,5% en el río Cayumapu y 19,9% en el sector Isla Teja (Tabla 4.2.2.4). En los sedimentos de los cauces, el valor más alto también ocurrió en el río Cayumapu (35,1%), en tanto que los valores más bajos se registraron en el río Pichoy y río Calle Calle (6,0% y 6,6%, respectivamente) (Tabla 4.2.2.4). Se

registraron valores significativamente más altos de agregados biogénicos ($p < 0,05$) en los sedimentos de las orillas del sector San Luis, Isla Teja, río Pichoy y río Calle Calle (Tabla 4.2.2.4).

Durante la primavera del año 2016, se observó en general la misma tendencia encontrada en la campaña de otoño; *i.e.*, valores más altos de agregados biogénicos en los sedimentos de las orillas que en la de los cauces del sector San Luis, Punucapa, río Pichoy y Calle Calle (Tabla 4.2.2.4) En estos sitios, los valores más altos se registraron en el río Cayumapu (orilla 28,3% y cauce 37,0%, respectivamente) y los más bajos en el río Pichoy (orilla 5,0% y cauce 2,2%, respectivamente). Valores significativamente más altos ($p < 0,05$) de agregados biogénicos se encontraron en las orillas del río Pichoy y Calle Calle (Tabla 4.2.2.4).

Durante abril del año 2015, los contenidos de agregados biogénicos, fueron más altos en los sedimentos de las orillas que en los de los cauces del área de estudio (Tabla 4.2.2.4). Los sitios que presentaron mayor valor porcentual fueron el sector San Luis y el río Cayumapu (6,3 y 7,1%, respectivamente) y los sectores con los contenidos más bajos de agregados fueron Isla Teja y Punucapa (0,9 y 1,7 %, respectivamente) (Tabla 4.2.2.4). Los resultados de los análisis estadísticos no mostraron diferencias significativas ($p > 0,05$), al comparar los sedimentos de las orillas *versus* los de los cauces (Tabla 4.2.2.4).

Durante noviembre del año 2015, y con excepción del río Pichoy, los valores porcentuales de agregados biogénicos fueron más altos en los sedimentos de las orillas que en los de los cauces (Tabla 4.2.2.4). Los sitios que presentaron valores porcentuales más altos en los sedimentos de las orillas fueron el sector del San Luis y el río Cayumapu (18,1 y 16,5%, respectivamente); los valores más bajos ocurrieron en el sector Isla Teja y río Calle Calle (3,5 y 3,9%, respectivamente). En tanto, los valores porcentuales más altos en los sedimentos del cauce se registraron en el río Pichoy

(16,1%) y río Cayumapu (15,4%) y el valor más bajo en el río Calle Calle (1,8%) (Tabla 4.2.2.4). No se encontraron diferencias significativas ($p>0,05$) en los diferentes sitios al comparar contenidos de agregados biogénicos de orillas y cauces (Tabla 4.2.2.4).

Durante el Programa de Diagnóstico Ambiental del HRC (año 2014), los valores de agregados biogénicos no mostraron tendencias definidas al comparar orillas con cauces. Los valores porcentuales más altos se registraron en el río Cayumapu (32,3 y 36,0% en los sedimentos de la orilla y cauce, respectivamente) y los más bajos en el sector río Calle Calle (1,1 y 0,5 %, respectivamente) (Tabla 4.2.2.4). Se presentaron diferencias significativas ($p<0,05$), al comparar los porcentajes de agregados biogénicos en los sedimentos del sector San Luis (siendo el valor más alto en las orillas) (Tabla 4.2.2.4).

Tabla 4.2.2.4. Valores porcentuales promedio de agregados biogénicos en los sedimentos de orillas y cauces del área de estudio durante noviembre 2014, abril y noviembre de 2015 y abril y octubre de 2016. Los valores son promedios con desviación estándar en paréntesis. Los valores en negrilla son promedios significativamente diferentes ($p<0,05$) al comparar sedimentos de orillas y cauces para cada sitio. * = se usó Prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis cuando no se cumplieron los supuestos de ANDEVA.

Estaciones	agregados biogénicos (%)					
	primavera 2014 (noviembre)		otoño 2015 (abril)		primavera 2015 (noviembre)	
	orilla	cauce	orilla	cauce	Orilla	cauce
Eje central del río Cruces (sector estuarial)						
sector Fuerte San Luis	7,7 (3,7)	1,3 (1,7)	6,3 (6,3)	0,9 (0,9)	18,1 (13,0)	5,6 (7,2)
sector Punucapa	18,5 (14,6)	19,3 (19,7)	1,7 (1,1)	1,4 (1,3)	4,4 (2,1)	3,1 (2,1)
sector Isla Teja	5,0 (4,8)	1,4 (1,1)	0,9 (1,1)	0,7 (0,5)	3,5 (1,7)	3,2 (2,7)
Ríos tributarios del río Cruces (sector estuarial)						
río Pichoy	11,4 (10,7)	2,4 (2,3)	2,5 (1,5)	2,6 (3,6)	9,6 (6,6)	16,1 (22,9)
río Cayumapu	32,3 (21,8)	36,0 (28,4)	7,1 (3,5)	5,9 (5,8)	16,5 (6,3)	15,4 (8,5)
Fuera del humedal del río						

Cruces y sus ríos tributarios						
río Calle Calle	1,1 (0,9)	0,5 (0,4)	3,6 (2,5)	1,1 (0,9)	3,9 (2,1)	1,8 (6,6)

Continuación Tabla 4.2.2.4

Estaciones	agregados biogénicos (%)			
	otoño 2016 (abril)		primavera 2016 (octubre)	
	orilla	cauce	orilla	cauce
Eje central del río Cruces (sector estuarial)				
sector Fuerte San Luis	34,9 (9,6)	15,3 (9,9)	11,2 (3,4)	2,3 (0,4)
sector Punucapa	30,6 (9,3)	33,2 (7,5)	16,0 (4,6)	14,8 (4,7)
sector Isla Teja	19,9 (5,5)	9,9 (3,8)	21,7 (6,4)	28,6 (7,7)
Ríos tributarios del río Cruces (sector estuarial)				
río Pichoy	34,1 (5,0)	6,0 (2,7)	5,0 (1,3)	2,2 (1,3)
río Cayumapu	38,5 (9,7)	35,1 (8,5)	28,3 (4,7)	37,0 (21,9)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios				
río Calle Calle	24,3 (8,4)	6,6 (1,3)	13,7 (3,1)	6,1 (3,0)

Materia orgánica total

El valor porcentual de materia orgánica total durante abril del año 2016, fue más alto en las orillas de cinco de los seis sitios de estudio; el valor más alto se registró en el río Cayumapu (22,5%), en tanto que el valor más bajo ocurrió en el río Calle Calle (10,7%) (Tabla 4.2.2.5). Los valores porcentuales más altos de materia

orgánica en los sedimentos de los cauces ocurrieron en el sector Punucapa y río Cayumapu (21%), el valor más bajo - al igual que en las orillas - se registró en el río Calle Calle (3,1%). En general, se registraron valores porcentuales significativamente ($p<0,05$) más altos de materia orgánica en los sedimentos de las orillas del sector Isla Teja, río Pichoy y río Calle, en tanto que en el sector de Punucapa los sedimentos de los cauces tuvieron concentraciones de materia orgánica total significativamente ($p<0,05$) más altas que los de las orillas (Tabla 4.2.2.5).

Durante la primavera del año 2016, cuatro fueron los sitios que registraron valores porcentuales más altos de materia orgánica en las orillas; estos fueron los del sector San Luis, Punucapa, río Cayumapu y Calle Calle (Tabla 4.2.2.5). En el sector San Luis y río Pichoy ocurrieron los valores más altos de materia orgánica 74,4% (orilla) y 34,4% (cauce). Los valores más bajos ocurrieron tanto en la orilla como en el cauce del río Calle Calle (6,4% y 4,9%, respectivamente). Se registraron valores de materia orgánica significativamente ($p<0,05$) más altos en los sedimentos de los cauces del sector Isla Teja y las orillas del río Cayumapu (Tabla 4.2.2.5).

Durante el otoño del año 2015, los contenidos de materia orgánica total fueron en todos los sitios de estudio más altos en los sedimentos de las orillas que en aquellos del cauce (Tabla 4.2.2.5). Los valores porcentuales más altos se registraron en el río Cayumapu, tanto en los sedimentos de las orillas como del cauce (20,7 y 18,6%, respectivamente) y los valores más bajos en el río Calle Calle (7,9 y 2,0% en los sedimentos de la orilla y cauce, respectivamente) (Tabla 4.2.2.5). Los sitios que presentaron diferencias significativa ($p<0,05$) entre orilla y cauce, fueron el sector San Luis, Isla Teja, río Pichoy y río Calle Calle; en todos estos sitios, los porcentajes de materia orgánica fueron significativamente más altos ($p<0,05$) en los sedimentos de las orillas (Tabla 4.2.2.5).

Durante la campaña de primavera del año 2015, tanto los sedimentos de las orillas como en aquellos del cauce, los valores de materia orgánica total fueron más altos (Tabla 4.2.2.5). Los valores porcentuales más altos se registraron en el sector San Luis (28,5% en los sedimentos de las orillas) y en el río Cayumapu (25,9% en los sedimentos del cauce). Los valores más bajos se registraron en el sector Isla Teja (6,6% en los sedimentos de las orillas) y en el río Calle Calle (3,4% en los sedimentos del cauce) (Tabla 4.2.2.5). Los sitios que evidenciaron diferencias significativas ($p < 0,05$) entre orilla y cauce, fueron el sector del San Luis y río Calle Calle, siendo los sedimentos de las orillas los que tuvieron valores más altos de materia orgánica significativamente más altos ($p < 0,05$) (Tabla 4.2.2.5).

Durante el Programa de Diagnóstico Ambiental del HRC (año 2014), los contenidos de materia orgánica registraron la misma tendencia que la campaña de otoño del año 2015; *i.e.*, los valores porcentuales fueron más altos en los sedimentos de las orillas que en aquellos del cauce, exceptuando del río Cayumapu (Tabla 4.2.2.5). Los valores más altos se registraron en este río (21,8% y 25,5% en los sedimentos de las orillas y cauces, respectivamente) y los valores más bajos en el sector del río Calle Calle (3,5 y 2,0% en los sedimentos de la orilla y cauce, respectivamente) (Tabla 4.2.2.5). Los sitios en estudio no presentaron diferencias significativas ($p > 0,05$) al comparar los sedimentos del cauce *versus* los de las orillas (Tabla 4.2.2.5).

Tabla 4.2.2.5. Valores porcentuales promedio de materia orgánica total en los sedimentos de orillas y cauces del área de estudio durante noviembre 2014, abril y noviembre de 2015 y abril y octubre de 2016. Los valores son promedios con desviación estándar en paréntesis. Los valores en negrilla son promedios significativamente diferentes ($p < 0,05$) al comparar sedimentos de orillas y cauces para cada sitio. * = se usó Prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis cuando no se cumplieron los supuestos de ANDEVA.

Estaciones	materia orgánica total (%)					
	primavera 2014 (noviembre)		otoño 2015 (abril)		primavera 2015 (noviembre)	
	orilla	cauce	orilla	cauce	Orilla	cauce
Eje central del río Cruces (sector estuarial)						
sector Fuerte San Luis	14,8 (5,2)	9,9 (12,7)	15,1 (6,7)	3,8 (0,7)*	28,5 (2,5)	6,7 (5,4)*
sector Punucapa	12,7 (2,9)	8,9 (2,7)	11,6 (1,8)	5,5 (5,3)	8,7 (4,5)	8,3 (6,7)
sector Isla Teja	5,8 (1,6)	4,3 (1,6)	8,5 (5,8)	2,4 (0,6)*	6,6 (2,5)	7,5 (3,6)
Ríos tributarios del río (sector estuarial)						
río Pichoy	14,3 (10,1)	2,7 (2,1)	9,2 (4,2)	4,2 (0,6)	16,4 (5,6)	15,4 (16,1)
río Cayumapu	21,8 (1,4)	25,5 (6,1)	20,7 (3,5)	18,6 (2,6)	19,9 (1,2)	25,9 (10,1)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios						
río Calle Calle	3,5 (1,6)	2,0 (2,9)	7,9 (4,0)	2,0 (0,5)*	8,8 (2,0)	3,4 (1,8)

Continuación **Tabla 4.2.2.5**

Estaciones	materia orgánica (%)			
	otoño 2016 (abril)		primavera 2016 (octubre)	
	orilla	cauce	orilla	cauce
Eje central del río Cruces (sector estuarial)				
sector Fuerte San Luis	16,8 (4,3)	10,2 (6,3)	74,4 (9,7)	18,5 (12,4)
sector Punucapa	16,1 (3,8)	21,3 (1,3)	26,2 (7,2)	19,1 (2,0)
sector Isla Teja	14,1 (2,8)	4,9 (4,1)	12,0 (3,9)	32,1 (3,2)
Ríos tributarios del río Cruces (sector estuarial)				
río Pichoy	21,6 (5,2)	4,1 (0,4)	14,5 (22,5)	34,4 (5,3)
río Cayumapu	22,5 (0,9)	21,9 (1,1)	34,8 (9,1)	19,7 (4,5)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios				
río Calle Calle	10,7 (4,2)	3,1 (0,9)	6,4 (1,4)	4,9 (2,1)

Tamaño de la partícula de arena

Durante abril del año 2016, la variabilidad del tamaño de las partículas de arena, varió entre arenas muy finas a gruesas. Los sitios en las orillas que corresponden a arenas de tamaño fino (125-250 micrones; *cf.*, Folk, 1980) fueron San Luis, río Pichoy y río Calle Calle; por otra parte, los sectores Punucapa, Isla Teja y río

Cayumapu fueron los sitios donde se encontraron tamaños de partículas muy finas (63-125 micrones; *cf.*, Folk, 1980) (118, 111,9 y 81 micrones, respectivamente). En los cauces, predominaron las arenas de tamaño medio (250-500 micrones; *cf.*, Folk, 1980); sectores del San Luis, Isla Teja y río Pichoy. Por último, arenas gruesas sólo se encontraron en el río Calle Calle (512,5 micrones). Se registraron diferencias significativas ($p < 0,05$) en el tamaño de las partículas de arena entre las orillas *versus* cauces de los sectores Isla Teja y río Calle Calle, con valores más altos en los cauces de cada sitio (Tabla 4.2.2.6).

Durante la primavera del año 2016, los sedimentos de las orillas registraron tamaños de partículas de arena menores que los cauces. En los sedimentos de las orillas de cinco de los seis sitios de estudio se registraron tamaños de partículas de arenas de tamaño fino (125-250 micrones; *cf.*, Folk, 1980) (Tabla 4.2.2.6). La estación ubicada en el río Cayumapu no presentó arena suficiente para poder determinar el tamaño de esta. Los sedimentos de los cauces presentaron tanto arenas de tamaño medio (250-500 micrones; *cf.*, Folk, 1980) (ríos Pichoy y Calle Calle), como arenas de tamaño grueso (> 500 micrones), (sectores San Luis e Isla Teja, respetivamente). Valores significativamente más altos de tamaños de arena entre los sedimentos de las orillas *versus* los cauces ocurrieron en el río Pichoy y río Calle Calle; *i.e.*, valores más altos en los sedimentos de los cauces *versus* las orillas (Tabla 4.2.2.6).

Durante el muestreo de abril del año 2015 (campaña otoñal), la variabilidad del tamaño de las partículas de arena, mostró en general y en todos los sitios arenas de tamaño medio (250-500 micrones; *cf.*, Folk, 1980) (Tabla 4.2.2.6). Los sedimentos del cauce del sector San Luis (606,0 micrones) fueron los únicos que presentaron arenas de tamaño grueso ($> a 500$ micras, *cf.*, Folk, 1980). Los resultados de los análisis estadísticos mostraron diferencias significativas ($p < 0,05$) entre orillas y cauces, en los sitios del sector San Luis, Isla Teja y río Calle Calle (Tabla 4.2.2.6).

Durante el muestreo de noviembre del año 2015 (campaña primaveral), cuatro de los seis sitios de estudio en los sedimentos de las orillas correspondieron a arenas de tamaño medio (250-500 micrones; *cf.*, Folk, 1980), con excepción del río Pichoy y río Calle Calle (248,9 y 163,4 micrones, respectivamente) donde las arenas fueron de tamaño fino (125-250 micrones, *cf.*, Folk, 1980) (Tabla 4.2.2.6). En los sedimentos de los cauces se evidenció una mayor variabilidad en el tamaño de las partículas de arena; por ejemplo, arenas de tamaño fino (125-250 micrones), arenas de tamaño medio (250-500 micrones) y arenas de tamaño grueso (> a 500 micrones) (*cf.*, Folk, 1980) (Tabla 4.2.2.6).

Durante el Programa de Diagnóstico Ambiental del HRC (noviembre 2014), la variabilidad del tamaño de las partículas de arena, mostró la misma tendencia a la de abril de 2015: *i.e.*, arenas de tamaño fino (125-250 micrones, *cf.*, Folk, 1980) ocurrieron en el río Cayumapu y en el sector Isla Teja, a la vez que arenas de tamaño medio (250-500 micrones; *cf.*, Folk, 1980) se observaron en el resto de los sitios, tanto en los sedimentos de las orillas como en aquellas del cauce (Tabla 4.2.2.6).

Tabla 4.2.2.6. Valores porcentuales promedio de tamaños de las partículas de la fracción arena en los sedimentos de orillas y cauces del área de estudio durante noviembre 2014, abril y noviembre de 2015 y abril y octubre de 2016. Los valores son promedios con desviación estándar en paréntesis. Los valores en negrilla son promedios significativamente diferentes ($p < 0,05$) al comparar sedimentos de orillas y cauces para cada sitio. * = se usó Prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis cuando no se cumplieron los supuestos de ANDEVA. **= una sola replica.

Estaciones	tamaño de la arena (micrones)					
	primavera 2014 (noviembre)		otoño 2015 (abril)		primavera 2015 (noviembre)	
	orilla	cauce	orilla	cauce	orilla	cauce
Eje central del río Cruces (sector estuarial)						
sector Fuerte San Luis	237,9 (49,5)	426,8 (112,5)	279,9 (31,5)	606,0 (42,7)*	340,8	504,3 (247,5)
sector Punucapa	253,3 (131,1)	295,1 (84,4)	207,5 (107,5)	269,0 (33,9)	389,3 (176,1)	291,3 (102,2)
sector Isla Teja	189,3 (18,4)	356,1 (44,8)	177,3 (19,4)	469,2 (80,9)	272,6 (151,0)	226,5 (37,6)
Ríos tributarios del río Cruces						

(sector estuarial)						
río Pichoy	266,1 (40,9)	390,6 (50,7)	247,7 (69,7)	304,8 (34,6)	248,9 (10,1)	462,5 (113,6)
río Cayumapu	129,1 (14,4)	191,9 (76,8)	226,0 (81,9)	201,7 (66,6)	300,5 (144,4)	176,9 (31,5)
Fuera del humedal del río y sus ríos tributarios						
río Calle Calle	349,4 (197,2)	458,6 (16,5)	256,7 (99,7)	386,6 (26,9)	163,4 (2,6)	471,4 (58,1)

Continuación **Tabla 4.2.2.6**

Estaciones	tamaño de la arena (micrones)			
	otoño 2016 (abril)		primavera 2016 (octubre)	
	orilla	cauce	orilla	cauce
Eje central del río Cruces (sector estuarial)				
sector Fuerte San Luis	245,5 (86,8)	386,0 (26,8)	201**	537, 1 (34,4)
sector Punucapa	118**	199**	237**	-
sector Isla Teja	111,9 (47,7)	372,4 (57,9)	198**	514**
Ríos tributarios del río Cruces (sector estuarial)				
río Pichoy	177*	347,8 (11,3)	227,4 (14,4)	366,5 (24,0)
río Cayumapu	81*	149*	-	-
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios				
río Calle Calle	177,1 (13,8)	512,5 (42,7)	189,1 (7,4)	347,8 (53,9)

pH

Durante abril del año 2016, los valores más altos de pH se midieron en los sedimentos tanto de las orillas como de los cauces del sector del San Luis (7,3 y 7,1 respectivamente); a su vez, los valores más bajos ocurrieron en el río Calle Calle (6,6) (Tabla 4.2.2.7). Los resultados no mostraron diferencias significativas ($p > 0,05$), al comparar los valores de pH de las orillas *versus* cauces de los sitios en estudio.

Durante la campaña primaveral del año 2016, se registraron valores más altos de pH que durante la campaña otoñal del año 2016; los valores más altos medidos tanto en los sedimentos de las orillas como de los cauces, ocurrieron en el sector Isla Teja (8,4 y 8,3, respectivamente), así como los valores más bajos (6,0 y 6,4, respectivamente) se midieron en el río Calle Calle. Los resultados no presentaron diferencias significativas ($p>0,05$) al comparar los valores de pH medidos en los sedimentos de las orillas *versus* los cauces del área de estudio (Tabla 4.2.2.7).

Durante el muestreo de abril del año 2015 (campaña otoñal), los valores de pH medidos en los sedimentos de los seis sitios de estudio, fueron en general más altos en esta campaña comparados con los de noviembre de 2014 y 2015 (Tabla 4.2.2.7), siendo el sector Punucapa, el sitio que presentó valores altos (7,5 y 7,7 en los sedimentos de la orilla y cauce, respectivamente) y el río Calle Calle valores bajos (6,9 y 7,2 en los sedimentos de la orilla y cauce, respectivamente). Los resultados de los análisis estadísticos no mostraron diferencias significativas ($p>0,05$), al comparar los valores de pH de las orillas *versus* cauces de los sitios en estudio (Tabla 4.2.2.7).

Durante el noviembre del año 2015 (campaña primaveral), el sitio con mayor valor de pH, fue el sector San Luis (7,2 y 7,0 en los sedimentos de las orillas y cauces, respectivamente), a la vez que Punucapa fue el sector con los valores más bajos (6,5 en los sedimentos de las orillas y cauce). Los análisis estadísticos realizados con los datos de los sitios en estudio no mostraron diferencias significativas ($p>0,05$) (Tabla 4.2.2.7).

Durante el Programa de Diagnóstico Ambiental del HRC (noviembre 2014), el valor de pH más alto ocurrió en el sector Isla Teja (6,8 y 6,9 en los sedimentos de las orillas y cauces, respectivamente) y el más bajo en el río Calle Calle (5,9 y 6,3 en los sedimentos de la orilla y cauce, respectivamente) (Tabla 4.2.2.7). No se registraron

diferencias significativas ($p > 0,05$) entre los valores de pH de las orillas *versus* cauces (Tabla 4.2.2.7).

Tabla 4.2.2.7. Variabilidad del pH en los sedimentos del área de estudio durante noviembre 2014, abril y noviembre 2015 y abril y octubre de 2016. Los valores son promedios con una desviación estándar en paréntesis.

Estaciones	pH					
	primavera 2014 (noviembre)		otoño 2015 (abril)		primavera 2015 (noviembre)	
	orilla	cauce	orilla	cauce	orilla	cauce
Eje central del río Cruces (sector estuarial)						
sector Fuerte San Luis	6,4 (0,2)	6,5 (0,3)	7,3 (0,2)	7,3 (0,2)	7,2 (0,1)	7,0 (0,3)
Sector Punucapa	6,6 (0,2)	6,7 (0,2)	7,5 (0,2)	7,7 (0,1)	6,5 (0,1)	6,5 (0,0)
sector Isla Teja	6,8 (0,1)	6,9 (0,1)	7,3 (0,3)	7,7 (0,0)	6,5 (0,1)	6,6 (0,1)
Ríos tributarios del río Cruces (sector estuarial)						
río Pichoy	6,5 (0,1)	6,5 (0,4)	7,1 (0,5)	7,2 (0,5)	6,6 (0,1)	6,5 (0,1)
río Cayumapu	6,6 (0,1)	6,6 (0,1)	7,3 (0,1)	7,5 (0,2)	6,8 (0,4)	6,7 (0,3)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios						
río Calle Calle	5,9 (0,2)	6,3 (0,2)	6,9 (0,4)	7,2 (0,3)	6,7 (0,2)	6,7 (0,1)

Continuación **Tabla 4.2.2.7**

Estaciones	pH			
	otoño 2016 (abril)		primavera 2016 (octubre)	
	orilla	cauce	orilla	cauce
Eje central del río Cruces (sector estuarial)				
sector Fuerte San Luis	7,3 (0,4)	7,1 (0,0)	8,2 (0,1)	8,1 (0,0)
sector Punucapa	6,9 (0,1)	6,7 (0,1)	7,8 (0,0)	8,0 (0,7)
sector Isla Teja	6,9 (0,0)	6,9 (0,0)	8,4 (0,1)	8,3 (0,1)
Ríos tributarios del río Cruces (sector estuarial)				
río Pichoy	7,0 (0,0)	7,0 (0,0)	7,5 (0,0)	7,4 (0,1)
río Cayumapu	7,0 (0,0)	7,0 (0,0)	7,7 (0,0)	7,7 (0,1)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios				
río Calle Calle	6,6 (0,2)	6,6 (0,1)	6,0 (0,5)	6,4 (0,2)

Redox

Los valores de redox durante abril del año 2016, fueron negativos en todos los sedimentos de las orillas (*i.e.*, condiciones de menor oxigenación en el espacio intersticial de los sedimentos), registrándose el valor más alto y más bajo en los sedimentos del sector de Punucapa (-96,1 mV) y sector Isla Teja (-7,6 mV), respectivamente (Tabla 4.2.2.8). En los cauces, los valores de redox fueron negativos en el sector San Luis, río Cayumapu y río Calle Calle, en tanto en las demás estaciones ocurrieron valores positivos en sus sedimentos; es decir condiciones de mayor oxigenación en el espacio intersticial. Con excepción del río Cayumapu, todos los sitios de estudio presentaron diferencias significativas ($p < 0,05$) al comparar los valores de redox medidos en los sedimentos de las orillas *versus* los cauces; sin embargo, no se detectó ninguna tendencia espacial definida en esas diferencias (Tabla 4.2.2.8).

Durante octubre del año 2016, no se midieron valores negativos de redox; el valor más alto se registró en los sedimentos de las orillas del río Calle Calle (81,0 mV), en tanto que el valor más bajo (1,3 mV) se midió en el sector San Luis. En los sedimentos de los cauces, el valor más alto de potencial óxido reducción se registró en el sector Isla Teja (175,6 mV) y el valor más bajo en el río Pichoy (54,9 mV) (Tabla 4.2.2.8). El río Calle Calle fue el único sitio de estudio que presentó diferencias significativas ($p < 0,05$) al comparar los valores de potencial óxido reducción medidos en los sedimentos de las orillas *versus* los cauces (valores más altos en los sedimentos de los cauces *versus* las orilla) (Tabla 4.2.2.8).

Durante la campaña de otoño del año 2015, los valores de redox fueron negativos en los sedimentos de las orillas en el sector San Luis y en el río Cayumapu (-109,9 y -83,7 mV, respectivamente) y en el cauce del río Cayumapu (-97,3mV) (Tabla 4.2.2.8). En el resto de las estaciones, se registraron valores positivos. Se encontraron diferencias significativas ($p < 0,05$), al comparar los sedimentos de las orillas *versus* cauce en el sector San Luis (Tabla 4.2.2.8).

Durante la campaña de primavera del año 2015, los valores redox negativos dominaron en general en cuatro de los seis sitios de estudio (Tabla 4.2.2.8). El resto de los sitios presentaron condiciones de mayor oxigenación en el espacio intersticial de los sedimentos. Los sedimentos del sector Isla Teja y ríos Pichoy y Cayumapu presentaron diferencias significativas ($p < 0,05$) al comparar orillas y cauces (Tabla 4.2.2.8).

Durante el Programa de Diagnóstico Ambiental del HRC (año 2014), los valores de redox fueron mayoritariamente negativos en los sedimentos de las orillas, detectándose el valor más alto en el río Cayumapu (-108,5 mV) y el más bajo en el río Calle Calle (-5,7 mV) (Tabla 4.2.2.8). Se detectaron valores positivos en los sedimentos de los cauces, exceptuándose el sector de Punucapa y río Cayumapu. El valor más alto se midió en el río Pichoy (171,9 mV) y el valor más bajo en el sector de San Luis (3,3 mV). Valores

significativamente ($p < 0,05$) más altos se evidenciaron en el sector Isla Teja y el río Cayumapu (Tabla 4.2.2.8).

Tabla 4.2.2.8. Variabilidad del potencial óxido reducción (redox) en el sedimento del área de estudio durante noviembre 2014, abril y noviembre 2015 y abril y octubre de 2016. Los valores son promedios con desviación estándar en paréntesis. Los valores en negrilla son promedios significativamente diferentes ($p < 0,05$) al comparar sedimentos de orillas y cauces para cada sitio. * = se usó Prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis cuando no se cumplieron los supuestos de ANDEVA.

Estaciones	redox (mV)					
	primavera 2014 (noviembre)		otoño 2015 (abril)		primavera 2015 (noviembre)	
	orilla	cauce	orilla	cauce	orilla	cauce
Eje central del río Cruces						
Sector Fuerte San Luis	-79,2 (12,0)	3,3 (79,3)	-109,9 (27,1)	113,0 (32,0)	-30,8 (95,9)	33,5 (52,4)
sector Punucapa	-71,1 (25,3)	-105,1 (19,6)	59,9 (94,5)	134,5 (39,7)	148,1 (57,2)	110,1 (102,3)
sector Isla Teja	-56,6 (33,3)	78,7 (40,0)	97,8 (24,5)	122,9 (26,6)	55,5 (88,0)	199,6 (22,4)*
Ríos tributarios del río Cruces (sector estuarial)						
río Pichoy	-68,8 (15,9)	171,9 (35,0)*	20,0 (144,7)	113,6 (53,3)	-53,0 (65,6)	194,7 (62,0)
río Cayumapu	-108,5 (14,2)	-63,6 (70,5)	-83,7 (55,3)	-97,3 (68,3)	-111,2 (29,2)	-59,3 (7,4)*
Fuera del humedal del río						
río Calle Calle	-5,7 (99,1)	38,1 (179,6)	116,2 (193,6)	277,2 (27,7)	-91,6 (80,4)	-85,3 (57,5)

Continuación **Tabla 4.2.2.8**

Estaciones	redox (mV)			
	otoño 2016 (abril)		primavera 2016 (octubre)	
	orilla	cauce	orilla	cauce
Eje central del río Cruces (sector estuarial)				
sector Fuerte San Luis	-26,5 (58,1)	-128,1 (32,5)	1,3 (0,8)	163,8 (54,7)
sector Punucapa	-96,1 (26,6)	42,6 (18,4)	65,4 (0,0)	155,3 (108,5)
sector Isla Teja	-7,6 (51,1)	41,9 (5,9)	72,7 (3,9)	175,6 (86,1)
Ríos tributarios del río Cruces (sector estuarial)				
río Pichoy	-66,4 (73,8)	65,9 (20,9)	68,4 (43,4)	54,9 (5,3)
río Cayumapu	-69,6 (35,9)	-40,4 (15,2)	54,9 (5,3)	91,7 (48,8)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios				
río Calle Calle	-69,8 (28,9)	-10,8 (31,9)	81,0 (8,1)	92,9 (5,3)

Macroinfauna bentónica

Composición específica

Durante abril del año 2016, la composición taxonómica de la macroinfauna bentónica en el HRC fue de cuatro especies de crustáceos (*Paracorophium hartmannorum*, *Cyprideis beaconensis*, *Leucon* sp. y una especie de Copepoda), dos de poliquetos (*Prionospio (Minuspio) patagonica* y *Perinereis gualpensis*), dos de oligoquetos (uno de la familia Tubificidae y otro de Naididae), dos de insectos (uno de la familia Chironomidae y otro de Tanypodine), un molusco bivalvo (*Mulinia edulis*), un hirudineo, un nemertino y un arácnido (Tabla 4.2.2.9).

Durante octubre del año 2016, la macroinfauna de fondos sedimentarios estuvo representada por cuatro especies de crustáceos (*Paracorophium hartmannorum*, *Cyprideis beaconensis*, un ostracado y una especie de Copepoda),

dos de poliquetos (*Prionospio (Minuspio) patagonica* y *Perinereis gualpensis*), dos de oligoquetos (uno de la familia Tubificidae y otro de Naididae), cinco de insectos (una de cada uno de los siguientes grupos: Chironomidae, Tanypodine, Ortocladine, Ephemeroptera y Plecoptera), dos de moluscos bivalvos (*Mulinia edulis* y *Pisidium* sp.), un molusco gastropodo (*Littoridina* sp.), un hirudineo y un arácnido (Tabla 4.2.2.9).

Durante las campañas realizadas durante el otoño y la primavera del año 2015 (abril y noviembre), la composición taxonómica estuvo dominada por crustáceos (*Paracorophium hartmannorum*, *Cyprideis beaconensis*, Phoxocephalidae, *Heterias exul*, y Cumacea), seguidos por insectos (Chironomidae, Tanypodine y *Stilobezzia* sp.), moluscos (*Littoridina cumingi*, *Pisidium* sp. y *Mulinia edulis*), poliquetos (*Prionospio (Minuspio) patagonica* y *Perinereis gualpensis*), oligoquetos (Tubificidae y Naididae), un hirudineo, un arácnido y un chordado (Tabla 4.2.2.9).

Durante el Programa de Diagnóstico Ambiental del HRC (año 2014), la composición taxonómica fue de cuatro crustáceos, dos insectos, dos poliquetos, dos oligoquetos, un hirudineo, un molusco bivalvo y un chordado (Tabla 4.2.2.9).

Abundancia de taxa

La Tabla 4.2.2.9 muestra que Oligoquetos de la familia Tubificidae y Naididae (*Nais pardalis*), son los taxa que han presentado los valores más altos de abundancia, durante todo el período de estudio en los fondos sedimentarios del sector San Luis. Poliquetos (*Prionospio (M) patagonica* y *Perinereis gualpensis*) y oligoquetos, han dominado en los sedimentos del sector Punucapa, a la vez que esos poliquetos y el anfípodo *Paracorophium hartmannorum* han sido los taxa dominantes en el sector Isla Teja (Tabla 4.2.2.9), a su vez, en los fondos sedimentarios de los ríos Pichoy, Cayumapu y Calle Calle los taxa dominantes han sido oligoquetos e insectos Chironomidae (Tabla 4.2.2.9).

Tabla 4.2.2.9. Abundancia (ind/m²) de la macroinfauna bentónica presente en los sedimentos del área de estudio, durante noviembre 2014, abril y noviembre 2015 y abril y octubre 2016. Los valores corresponden al promedio de cuatro réplicas.

TAXA	Fuerte San Luis					
	primavera 2014 (noviembre)		otoño 2015 (abril)		primavera 2015 (noviembre)	
	orilla	cauce	orilla	cauce	Orilla	cauce
POLYCHAETA						
<i>Prionospio (M) patagonica</i>	0	170,5	0	0	0	0
<i>Perinereis gualpensis</i>	0	0	0	0	0	0
OLIGOCHAETA						
Tubificidae	511,4	113,6	113,6	56,8	3.465,9	284,1
<i>Nais pardalis</i>	0	340,9	0	0	3.579,5	397,7
INSECTA						
Chironomidae	56,8	113,6	0	0	0	0
Tanypodine	0	0	113,6	0	454,5	56,8
Ortocladine	0	0	0	0	0	0
<i>Stilobezzia</i> sp.	0	0	0	0	0	0
Ephemeroptera	0	0	0	0	0	0
Plecoptera	0	0	0	0	0	0
CRUSTACEA						
<i>Paracorophium hartmannorum</i>	0	0	0	0	0	0
<i>Cyprideis beaçonensis</i>	0	0	0	0	0	0
Ostracoda	0	0	0	0	0	0
Phoxocephalidae	0	0	0	0	0	0
<i>Heterias exul</i>	0	0	0	0	0	0
<i>Leucon</i> sp.	0	0	0	0	0	0
Copepoda	0	0	0	0	0	0
HIRUDINEA						
Hirudinea	0	0	0	0	0	0
MOLLUSCA						
<i>Littoridina cumingi</i>	0	0	0	0	0	0
<i>Pisidium</i> sp.	0	0	0	0	0	0
<i>Mulinia edulis</i>	0	0	0	0	0	0
CHORDATA						
<i>Geotria australis</i>	0	0	0	0	0	0
ARACHNIDA						
<i>Hydracarina</i>	0	0	0	0	0	0
NEMERTEA						
Nemertea	0	0	0	0	0	0

Continuación **Tabla 4.2.2.9.**

TAXA	Fuerte San Luis			
	otoño 2016 (abril)		primavera 2016 (octubre)	
	orilla	cauce	orilla	Cauce
POLYCHAETA				
<i>Prionospio (M) patagonica</i>	0	0	0	0
<i>Perinereis gualpensis</i>	0	0	0	0
OLIGOCHAETA				
Tubificidae	625,0	681,8	10.738,6	170,5
<i>Nais pardalis</i>	0	0	6.193,2	0
INSECTA				
Chironomidae	0	0	56,8	0
Tanypodine	56,8	0	625,0	0
Ortocladine	0	0	0	0
<i>Stilobezzia</i> sp.	0	0	0	0
Ephemeroptera	0	0	56,8	0
Plecoptera	0	0	0	0
CRUSTACEA				
<i>Paracorophium hartmannorum</i>	0	0	0	0
<i>Cyprideis beaconensis</i>	113,6	284,1	227,3	0
Ostracoda	0	0	56,8	0
Phoxocephalidae	0	0	0	0
<i>Heterias exul</i>	0	0	0	0
<i>Leucon</i> sp.	0	0	0	0
Copepoda	0	0	284,1	0
HIRUDINEA				
Hirudinea	0	0	0	0
MOLLUSCA				
<i>Littoridina cumingi</i>	0	0	0	0
<i>Pisidium</i> sp.	0	0	56,8	0
<i>Mulinia edulis</i>	0	0	113,6	0
CHORDATA				
<i>Geotria australis</i>	0	0	0	0
ARACHNIDA				
<i>Hydracarina</i>	56,8	511,4	56,8	0
NEMERTEA				
Nemertea	113,6	227,3	0	0

Continuación **Tabla 4.2.2.9.**

Eje central del río Cruces (sector estuarial)	Punucapa					
	primavera 2014 (noviembre)		otoño 2015 (abril)		primavera 2015 (noviembre)	
	orilla	cauce	orilla	cauce	Orilla	cauce
POLYCHAETA						
<i>Prionospio (M) patagonica</i>	568,2	1.250,0	965,9	227,3	1.193,2	1.818,2
<i>Perinereis gualpensis</i>	113,6	56,8	284,1	113,6	568,2	625,0
OLIGOCHAETA						
Tubificidae	965,9	1.079,5	227,3	0	852,3	0
<i>Nais pardalis</i>	56,8	56,8	0	0	0	0
INSECTA						
Chironomidae	56,8	56,8	56,8	0	0	0
Tanypodine	56,8	0	0	0	0	0
Ortocladine						
<i>Stilobezzia</i> sp.	0	0	0	0	0	0
Ephemeroptera	0	0	0	0	0	0
Plecoptera	0	0	0	0	0	0
CRUSTACEA						
<i>Paracorophium hartmannorum</i>	170,5	0	227,3	56,8	738,6	1.363,6
<i>Cyprideis beaconensis</i>	170,5	56,8	0	0	0	0
Ostracoda	0	0	0	0	0	0
Phoxocephalidae	0	0	56,8	0	0	0
<i>Heterias exul</i>	0	0	0	0	0	0
<i>Leucon</i> sp.	0	0	113,6	0	0	0
Copepoda	0	0	0	0	0	0
HIRUDINEA						
Hirudinea	0	0	0	0	0	0
MOLLUSCA						
<i>Littoridina cumingi</i>	0	0	0	0	0	0
<i>Pisidium</i> sp.	0	0	0	0	0	0
<i>Mulinia edulis</i>	0	0	0	0	0	0
CHORDATA						
<i>Geotria australis</i>	0	0	0	0	0	0
ARACHNIDA						
<i>Hydracarina</i>	0	0	0	0	0	0
NEMERTEA						
Nemertea	0	0	0	0	0	0

Continuación **Tabla 4.2.2.9.**

TAXA	Punucapa			
	otoño 2016 (abril)		primavera 2016 (octubre)	
	orilla	cauce	orilla	Cauce
POLYCHAETA				
<i>Prionospio (M) patagonica</i>	511,4	340,9	5.056,8	4.090,9
<i>Perinereis gualpensis</i>	113,6	511,4	113,6	397,7
OLIGOCHAETA				
Tubificidae	1.079,5	56,8	9.943,2	56,8
<i>Nais pardalis</i>	0	0	0	0
INSECTA				
Chironomidae	0	0	0	0
Tanypodine	0	0	0	0
Ortocladine	0	0	113,6	0
<i>Stilobezzia</i> sp.	0	0	0	0
Ephemeroptera	0	0	0	0
Plecoptera	0	0	0	0
CRUSTACEA				
<i>Paracorophium hartmannorum</i>	113,6	5.965,9	3.181,8	7.443,2
<i>Cyprideis beaconensis</i>	0	0	0	0
Ostracoda	0	0	0	0
Phoxocephalidae	0	0	0	0
<i>Heterias exul</i>	0	0	0	0
<i>Leucon</i> sp.	2.613,6	454,5	0	0
Copepoda	0	0	0	0
HIRUDINEA				
Hirudinea	0	0	0	0
MOLLUSCA				
<i>Littoridina cumingi</i>	0	0	0	56,8
<i>Pisidium</i> sp.	0	0	0	0
<i>Mulinia edulis</i>	0	0	0	0
CHORDATA				
<i>Geotria australis</i>	0	0	0	0
ARACHNIDA				
<i>Hydracarina</i>	0	0	0	0
NEMERTEA				
Nemertea	0	0	0	0

Continuación **Tabla 4.2.2.9.**

TAXA	Eje central del río Cruces (sector estuarial)					
	Isla Teja					
	primavera 2014 (noviembre)		otoño 2015 (abril)		primavera 2015 (noviembre)	
	orilla	cauce	orilla	cauce	orilla	cauce
POLYCHAETA						
<i>Prionospio (M) patagonica</i>	9.772,7	852,3	7.500,0	1.420,5	56,8	2.329,5
<i>Perinereis gualpensis</i>	795,5	56,8	1.988,6	0	397,7	795,5
OLIGOCHAETA						
Tubificidae	2.840,9	2.500,0	56,8	0	0	0
<i>Nais pardalis</i>	0	0	0	0	0	0
INSECTA						
Chironomidae	170,5	0	0	0	0	0
Tanypodine	0	0	0	0	0	0
Ortocladine	0	0	0	0	0	0
<i>Stilobezzia</i> sp.	0	0	0	0	0	0
Ephemeroptera	0	0	0	0	0	0
Plecoptera	0	0	0	0	0	0
CRUSTACEA						
<i>Paracorophium hartmannorum</i>	2.954,5	56,8	8.863,6	340,9	852,3	1.704,5
<i>Cyprideis beaconensis</i>	0	0	0	0	0	0
Phoxocephalidae	0	56,8	0	454,5	0	0
Ostracoda	0	0	0	0	0	0
<i>Heterias exul</i>	56,8	0	56,8	0	0	0
<i>Leucon</i> sp.	0	0	113,6	0	0	0
Copepoda	0	0	0	0	0	0
HIRUDINEA						
Hirudinea	0	0	0	0	0	0
MOLLUSCA						
<i>Littoridina cumingi</i>	56,8	0	0	0	0	0
<i>Pisidium</i> sp.	0	0	0	0	0	0
<i>Mulinia edulis</i>	0	0	0	0	0	0
CHORDATA						
<i>Geotria australis</i>	0	0	0	0	0	0
ARACHNIDA						
<i>Hydracarina</i>	0	0	0	0	0	0
NEMERTEA						
Nemertea	0	0	0	0	0	0

Continuación **Tabla 4.2.2.9.**

TAXA	Isla Teja			
	otoño 2016 (abril)		primavera 2016 (octubre)	
	orilla	cauce	orilla	Cauce
POLYCHAETA				
<i>Prionospio (M) patagonica</i>	1.818,2	3.522,7	9.431,8	340,9
<i>Perinereis gualpensis</i>	738,6	1.079,5	340,9	227,3
OLIGOCHAETA				
Tubificidae	170,5	0	2.102,3	56,8
<i>Nais pardalis</i>	0	0	0	0
INSECTA				
Chironomidae	0	0	0	0
Tanypodine	0	0	0	340,9
Ortocladine	0	0	113,6	56,8
<i>Stilobezzia</i> sp.	0	0	0	0
Ephemeroptera	0	0	0	0
Plecoptera	0	0	0	0
CRUSTACEA				
<i>Paracorophium hartmannorum</i>	568,2	284,1	1.875,0	3.579,5
<i>Cyprideis beaconensis</i>	0	0	170,5	0
Ostracoda	0	0	0	0
Phoxocephalidae	0	0	0	0
<i>Heterias exul</i>	0	0	0	0
<i>Leucon</i> sp.	1.289,7	397,7	0	0
Copepoda	0	0	113,6	0
HIRUDINEA				
Hirudinea	0	0	0	0
MOLLUSCA				
<i>Littoridina cumingi</i>	0	0	56,8	56,8
<i>Pisidium</i> sp.	0	0	0	0
<i>Mulinia edulis</i>	0	0	0	0
CHORDATA				
<i>Geotria australis</i>	0	0	0	0
ARACHNIDA				
<i>Hydracarina</i>	0	0	0	0
NEMERTEA				
Nemertea	0	0	0	0

Continuación **Tabla 4.2.2.9.**

Ríos tributarios del río Cruces	río Pichoy					
	primavera 2014 (noviembre)		otoño 2015 (abril)		primavera 2015 (noviembre)	
	orilla	cauce	orilla	cauce	orilla	cauce
TAXA						
POLYCHAETA						
<i>Prionospio (M) patagonica</i>	0	0	0	0	0	0
<i>Perinereis gualpensis</i>	0	0	0	0	0	0
OLIGOCHAETA						
Tubificidae	1.477,3	0	56,8	170,5	1.193,2	0
<i>Nais pardalis</i>	738,6	0	0	0	284,1	0
INSECTA						
Chironomidae	170,5	56,8	0	0	340,9	0
Tanypodine	56,8	0	0	0	0	0
Ortocladine	0	0	0	0	113,6	56,8
<i>Stilobezzia</i> sp.	0	0	0	0	0	0
Ephemeroptera	0	0	0	0	0	0
Plecoptera	0	0	0	0	0	0
CRUSTACEA						
<i>Paracorophium hartmannorum</i>	0	0	0	0	0	56,8
<i>Cyprideis beaconensis</i>	0	0	0	0	0	0
Ostracoda	0	0	0	0	0	0
Phoxocephalidae	113,6	0	0	0	0	0
<i>Heterias exul</i>	0	0	0	0	0	0
<i>Leucon</i> sp.	0	0	0	0	0	0
Copepoda	0	0	0	0	0	0
HIRUDINEA						
Hirudinea	0	0	0	0	0	0
MOLLUSCA						
<i>Littoridina cumingi</i>	0	0	0	0	0	0
<i>Pisidium</i> sp.	56,8	0	0	0	0	0
<i>Mulinia edulis</i>	0	0	0	0	0	0
CHORDATA						
<i>Geotria australis</i>	0	0	0	0	0	0
ARACHNIDA						
<i>Hydracarina</i>	0	0	0	0	0	0
NEMERTEA						
Nemertea	0	0	0	0	0	0

Continuación **Tabla 4.2.2.9.**

Ríos tributarios del río Cruces	Pichoy			
	otoño 2016 (abril)		primavera 2016 (octubre)	
	orilla	cauce	orilla	Cauce
POLYCHAETA				
<i>Prionospio (M) patagonica</i>	0	0	0	0
<i>Perinereis gualpensis</i>	0	0	0	0
OLIGOCHAETA				
Tubificidae	681,8	56,8	5.340,9	113,6
<i>Nais pardalis</i>	0	0	2.329,5	0
INSECTA				
Chironomidae	0	0	0	0
Tanypodine	56,8	0	0	0
Ortocladine	0	0	5.056,8	0
<i>Stilobezzia</i> sp.	0	0	0	0
Ephemeroptera	0	0	0	56,8
Plecoptera	0	0	0	56,8
CRUSTACEA				
<i>Paracorophium hartmannorum</i>	0	56,8	0	0
<i>Cyprideis beaconensis</i>	227,3	113,6	0	0
Ostracoda	0	0	0	0
Phoxocephalidae	0	0	0	0
<i>Heterias exul</i>	0	0	0	0
<i>Leucon</i> sp.	0	0	0	0
Copepoda	0	0	0	0
HIRUDINEA				
Hirudinea	0	0	0	0
MOLLUSCA				
<i>Littoridina cumingi</i>	0	0	0	0
<i>Pisidium</i> sp.	0	0	0	0
<i>Mulinia edulis</i>	0	0	0	0
CHORDATA				
<i>Geotria australis</i>	0	0	0	0
ARACHNIDA				
<i>Hydracarina</i>	113,6	0	0	0
NEMERTEA				
Nemertea	0	0	0	0

Continuación **Tabla 4.2.2.9.**

Ríos tributarios del río Cruces	río Cayumapu					
	primavera 2014 (noviembre)		otoño 2015 (abril)		primavera 2015 (noviembre)	
	orilla	cauce	orilla	cauce	orilla	cauce
POLYCHAETA						
<i>Prionospio (M) patagonica</i>	0	0	0	0	0	0
<i>Perinereis gualpensis</i>	0	0	0	0	0	0
OLIGOCHAETA						
Tubificidae	454,5	170,5	227,3	568,2	965,9	284,1
<i>Nais pardalis</i>	0	0	0	0	170,5	56,8
INSECTA						
Chironomidae	0	56,8	0	0	511,4	56,8
Tanypodine	0	56,8	113,6	56,8	170,5	170,5
Ortocladine	0	0	0	0	0	0
<i>Stilobezzia</i> sp.	0	0	0	0	0	0
Ephemeroptera	0	0	0	0	0	0
Plecoptera	0	0	0	0	0	0
CRUSTACEA						
<i>Paracorophium hartmannorum</i>	0	0	0	0	0	0
<i>Cyprideis beaçonensis</i>	0	0	56,8	0	113,6	0
Ostracoda	0	0	0	0	0	0
Phoxocephalidae	0	0	0	0	0	0
<i>Heterias exul</i>	0	0	0	0	0	0
<i>Leucon</i> sp.	0	0	0	0	0	0
Copepoda	0	0	0	0	0	0
HIRUDINEA						
Hirudinea	0	0	0	0	0	0
MOLLUSCA						
<i>Littoridina cumingi</i>	0	0	0	0	0	0
<i>Pisidium</i> sp.	0	0	0	0	0	0
<i>Mulinia edulis</i>	0	0	0	0	0	0
CHORDATA						
<i>Geotria australis</i>	0	0	0	0	0	0
ARACHNIDA						
<i>Hydracarina</i>	0	0	0	0	56,8	0
NEMERTEA						
Nemertea	0	0	0	0	0	0

Continuación **Tabla 4.2.2.9.**

TAXA	Ríos tributarios del río Cruces		río Cayumapu	
	otoño 2016 (abril)		primavera 2016 (octubre)	
	orilla	cauce	orilla	Cauce
POLYCHAETA				
<i>Prionospio (M) patagonica</i>	0	0	0	
<i>Perinereis gualpensis</i>	0	0	0	
OLIGOCHAETA			0	
Tubificidae	511,4	1.363,6	3.011,4	1.250,0
<i>Nais pardalis</i>	0	0	227,3	56,8
INSECTA				
Chironomidae	0	0	454,5	0
Tanypodine	397,7	0	0	0
Ortocladine	0	0	0	0
<i>Stilobezzia</i> sp.	0	0	0	0
Ephemeroptera	0	0	0	0
Plecoptera	0	0	0	0
CRUSTACEA				
<i>Paracorophium hartmannorum</i>	0	56,8	0	0
<i>Cyprideis beaconensis</i>	56,8	113,6	113,6	0
Ostracoda	0	0	170,5	227,3
Phoxocephalidae	0	0	0	0
<i>Heterias exul</i>	0	0	0	0
<i>Leucon</i> sp.	0	56,8	0	0
Copepoda	0	0	568,2	113,6
HIRUDINEA				
Hirudinea	0	0	0	0
MOLLUSCA				
<i>Littoridina cumingi</i>	0	0	0	0
<i>Pisidium</i> sp.	0	0	0	454,5
<i>Mulinia edulis</i>	0	0	0	0
CHORDATA				
<i>Geotria australis</i>	0	0	0	0
ARACHNIDA				
<i>Hydracarina</i>	568,2	170,5	170,5	56,8
NEMERTEA				
Nemertea	0	0	0	0

Continuación **Tabla 4.2.2.9.**

TAXA	Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios						río Calle Calle					
	primavera 2014 (noviembre)		otoño 2015 (abril)		primavera 2015 (noviembre)		primavera 2014 (noviembre)		otoño 2015 (abril)		primavera 2015 (noviembre)	
	orilla	cauce	orilla	cauce	orilla	cauce	orilla	cauce	orilla	cauce	orilla	cauce
POLYCHAETA												
<i>Prionospio (M) patagonica</i>	284,1	340,9	56,8	56,8	56,8	113,6	284,1	340,9	56,8	56,8	56,8	113,6
<i>Perinereis gualpensis</i>	0	56,8	0	0	0	0	0	56,8	0	0	0	0
OLIGOCHAETA												
Tubificidae	9.715,9	1.875,0	4.090,9	454,5	2.500,0	4.602,3	9.715,9	1.875,0	4.090,9	454,5	2.500,0	4.602,3
<i>Nais pardalis</i>	227,3	0	0	0	0	0	227,3	0	0	0	0	0
INSECTA												
Chironomidae	965,9	738,6	170,5	0	511,4	1.306,8	965,9	738,6	170,5	0	511,4	1.306,8
Tanypodine	227,3	56,8	56,8	0	0	0	227,3	56,8	56,8	0	0	0
Ortocladine	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Stilobezzia</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ephemeroptera	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Plecoptera	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CRUSTACEA												
<i>Paracorophium hartmannorum</i>	113,6	113,6	0	0	0	0	113,6	113,6	0	0	0	0
<i>Cyprideis beaconensis</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ostracoda	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Phoxocephalidae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Heterias exul</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Leucon</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Copepoda	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
HIRUDINEA												
Hirudinea	56,8	0	227,3	0	56,8	0	56,8	0	227,3	0	56,8	0
MOLLUSCA												
<i>Littoridina cumingi</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Pisidium</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Mulinia edulis</i>	0	0	0	0	0	170,5	0	0	0	0	0	170,5
CHORDATA												
<i>Geotria australis</i>	170,5	56,8	0	0	0	0	170,5	56,8	0	0	0	0
ARACHNIDA												
<i>Hydracarina</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NEMERTEA												
Nemertea	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Continuación **Tabla 4.2.2.9.**

TAXA	Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios			
	río Calle Calle			
	otoño 2016 (abril)		primavera 2016 (octubre)	
	orilla	cauce	orilla	Cauce
POLYCHAETA				
<i>Prionospio (M) patagonica</i>	284,1	454,5	113,6	0
<i>Perinereis gualpensis</i>	0	0	0	0
OLIGOCHAETA				
Tubificidae	26.136,4	15.340,9	20.113,6	18.750,0
<i>Nais pardalis</i>	738,6	0	6.136,4	1.534,1
INSECTA				
Chironomidae	568,2	284,1	1.534,1	3.806,8
Tanypodine	113,6	0	625,0	113,6
<i>Stilobezzia</i> sp.	0	0	0	0
Ortocladine	0	0	0	0
Ephemeroptera	0	0	0	0
Plecoptera	0	0	56,8	0
CRUSTACEA				
<i>Paracorophium hartmannorum</i>	227,3	56,8	0	0
<i>Cyprideis beaçonensis</i>	227,3	227,3	0	0
Ostracoda	0	0	0	0
Phoxocephalidae	0	0	0	0
<i>Heterias exul</i>	0	0	0	0
<i>Leucon</i> sp.	0	0	0	0
Copepoda	227,3	1.136,4	227,3	113,6
HIRUDINEA				
Hirudinea	113,6	0	56,8	0
MOLLUSCA				
<i>Littoridina cumingi</i>	0	0	0	0
<i>Pisidium</i> sp.	0	0	454,5	56,8
<i>Mulinia edulis</i>	0	56,8	0	0
CHORDATA				
<i>Geotria australis</i>	0	0	0	0
ARACHNIDA				
<i>Hydracarina</i>	568,2	170,5	113,6	56,8
NEMERTEA				
Nemertea	0	170,5	0	0

Riqueza de especies

La Tabla 4.2.2.10 y Figura 4.2.2.2 muestran la riqueza de especies de la macroinfauna bentónica en los sedimentos de orillas y cauces de los sitios de muestreo.

La riqueza promedio por sitio de estudio varió entre 1 y 6 taxa durante el segundo año del Programa de Monitoreo del HRC (año 2016) (Tabla 4.2.2.10 y Fig. 4.2.2.2). El sitio ubicado en el río Calle Calle fue el que presentó el número más alto de taxa, tanto en los sedimentos de las orillas como en los cauces de los mismos. Durante la campaña del otoño del año 2016, no se encontraron diferencias significativas ($p > 0,05$) al comparar la riqueza de especies de orillas y cauces, en tanto que durante la primavera del mismo año, se presentaron valores de riqueza más altos en los sedimentos de las orillas del sector San Luis y río Pichoy (Tabla 4.2.2.10 y Fig. 4.2.2.2). La riqueza promedio de especies estimada durante el año 2016, fue mayor que los valores estimados durante el primer año del Programa de Monitoreo Ambiental (año 2015) y durante el Programa de Diagnóstico del HRC (año 2014) (Tabla 4.2.2.10 y Fig. 4.2.2.2).

Tabla 4.2.2.10. Riqueza de especies de la macroinfauna bentónica en los sedimentos del área de estudio durante noviembre de 2014, abril y noviembre de 2015 y abril y octubre de 2016. Los valores son promedios (cuatro réplicas) con desviación estándar en paréntesis. Los valores en negrilla son promedios significativamente diferentes ($p < 0,05$) al comparar sedimentos de orillas y cauces para cada sitio. * = se usó Prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis cuando no se cumplieron los supuestos de ANDEVA.

Estaciones	n°especies					
	primavera 2014 (noviembre)		otoño 2015 (abril)		primavera 2015 (noviembre)	
	orilla	cauce	orilla	cauce	orilla	cauce
Eje central del río Cruces						
sector Fuerte San Luis	1 (0,0)	2 (1,3)	1 (1,2)	0 (0,5)	3 (0,5)	1 (1,5)
sector Punucapa	4 (1,5)	3 (1,7)	4 (0,6)	1 (1,0)	4 (1,0)	3 (0,0)
sector Isla Teja	4 (1,0)	2 (0,5)	4 (0,5)	3 (0,5)	2 (1,3)	3 (0,5)
Ríos tributarios del río Cruces (sector estuarial)						
río Pichoy	3 (0,5)	0 (0,5)	0 (0,5)	1 (1,0)	2 (1,0)	0 (0,5)
río Cayumapu	1 (0,5)	1 (0,8)	2 (1,3)	1 (0,5)	3 (1,9)	2 (1,2)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios						
río Calle Calle	3 (1,6)	3 (1,6)	2 (0,5)	1 (0,8)	3 (1,0)	3 (0,5)

Continuación **Tabla 4.2.2.10**

Estaciones	n° especies			
	otoño 2016 (abril)		primavera 2016 (octubre)	
	orilla	cauce	Orilla	cauce
Eje central del río Cruces (sector estuarial)				
sector Fuerte San Luis	2 (1,6)	2 (0,8)	5 (2,6)	1 (0,6)
sector Punucapa	4 (0,5)	3 (1,3)	4 (0,8)	3 (1,6)
sector Isla Teja	4 (1,0)	3 (0,5)	6 (1,3)	4 (1,7)
Ríos tributarios del río Cruces (sector estuarial)				
río Pichoy	2 (1,0)	1 (0,0)	3 (0,0)	1 (1,0)*
río Cayumapu	3 (0,8)	2 (1,4)	5 (1,3)	3 (1,3)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios				
río Calle Calle	6 (1,0)	5 (1,3)	6 (1,7)	4 (1,6)

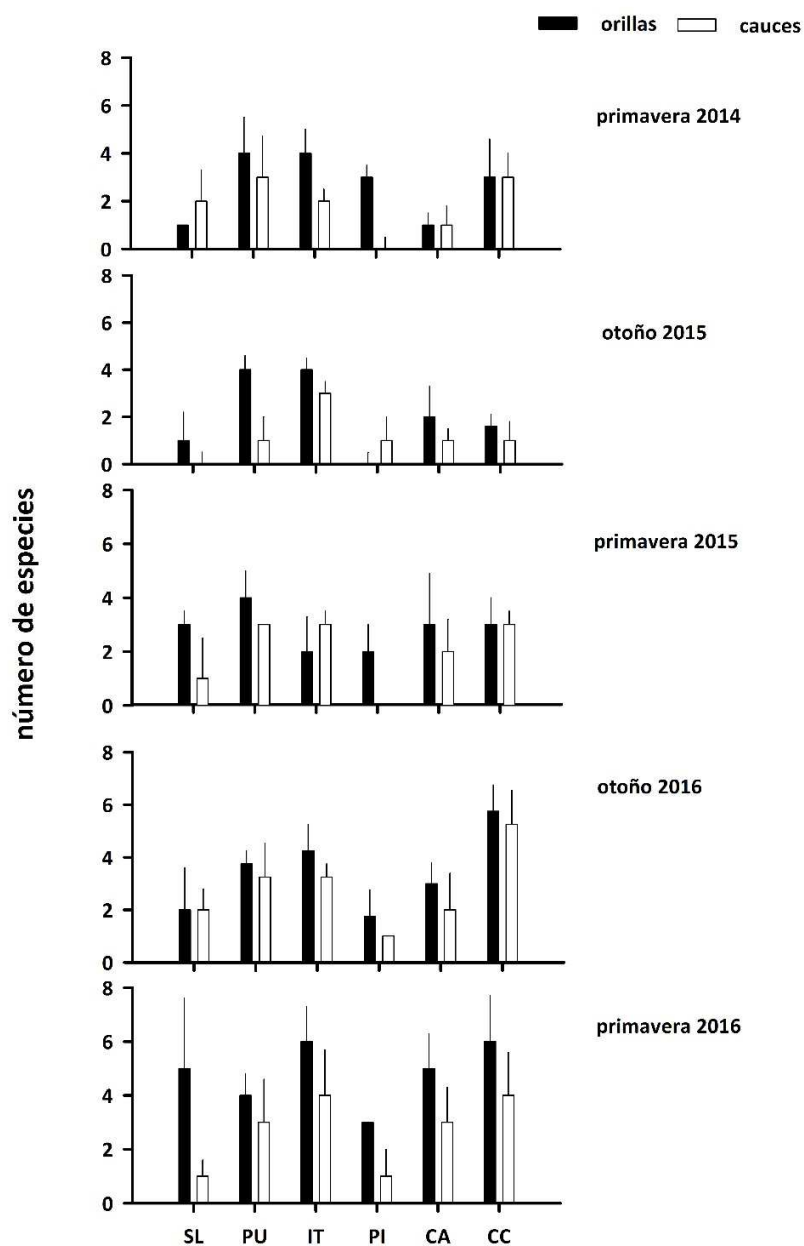


Figura 4.2.2.2. Riqueza de especies de la macroinfauna bentónica en los sedimentos del área de estudio durante noviembre de 2014, abril y noviembre de 2015 y abril y octubre de 2016. Los valores son promedios (cuatro réplicas) \pm una desviación estándar. SL = San Luis, PU = Punucapa, IT = Isla Teja, Pi = Pichoy, CA= Cayumapu, CC = Calle Calle.

Abundancia total

Durante ambas campañas del año 2016 (segundo año del Programa de Monitoreo Ambiental del HRC), la abundancia total de la macroinfauna en los sedimentos de las orillas como de los cauces, presentó su valor más alto en el río Calle Calle ($> 17.000 \text{ ind/m}^2$), abundancia dada principalmente por oligoquetos de la familia Tubificidae y Naididae. Los valores más bajos de abundancia total de la macroinfauna se registraron en el sector del San Luis y en el río Pichoy (Tabla 4.2.2.11 y Fig. 4.2.2.3). En general, durante la campaña de otoño del año 2016, la abundancia total de la macroinfauna fue mayor en los sedimentos de las orillas que en los cauces del área de estudio, aun cuando sólo se encontraron valores significativamente ($p < 0,05$) más altos en el sector de Isla Teja. Durante la campaña de primavera del año 2016 los valores de abundancia total fueron todos más altos en las orillas del área de estudio, aun cuando sólo se registraron diferencias significativas ($p < 0,05$) en el sector del San Luis, río Pichoy y Cayumapu (Tabla 4.2.2.11).

Durante la campaña otoñal del año 2015 (primer año del Programa de Monitoreo Ambiental del HRC), la abundancia total de la macroinfauna fue más alta en los sedimentos de las orillas de los sitios Isla Teja y Calle Calle (Tabla 4.2.2.11 y Fig. 4.2.2.3). Durante la campaña de la primavera del año 2015, la macroinfauna bentónica de las orillas de los sectores San Luis, río Pichoy y río Cayumapu, fue más abundante que la de los cauces (Tabla 4.2.2.11 y Fig. 4.2.2.3).

En general, la abundancia total de la macroinfauna bentónica durante el Programa de Diagnóstico Ambiental del HRC (año 2014), fue mayor en las orillas que en los cauces del área de estudio (Tabla 4.2.2.11 y Fig. 4.2.2.3).

Tabla 4.2.2.11. Abundancia total (ind/m²) de la macroinfauna bentónica en los sedimentos del área de estudio, durante noviembre de 2014, abril y noviembre de 2015 y abril y octubre de 2016. Los valores son promedios (cuatro réplicas) con desviación estándar en paréntesis. El valor en negrilla indica que ambos difieren significativamente. *= Kruskal Wallis para la abundancia total.

Estaciones	Abundancia					
	primavera 2014 (noviembre)		otoño 2015 (abril)		primavera 2015 (noviembre)	
	orilla	cauce	orilla	Cauce	orilla	cauce
Eje central del río Cruces (sector estuarial)						
sector Fuerte San Luis	568,0 (393,8)	738,8 (773,4)	227,3 (262,4)	56,8 (113,6)	7.500,0 (7.151,0)	738,6 (970,9)
sector Punucapa	2.159,0 (1318,8)	2.556,8 (2134,9)	1.931,8 (1090,0)	397,7 (340,9)	3.352,3 (1.149,5)	3.806,8 (1.193,6)
sector Isla Teja	16.590,8 (22449,2)	3.522,5 (3414,0)	18.579,5 (4126,0)	2.215,9 (1134,5)	1.306,8 (1.039,4)	4.829,5 (1.949,6)
Ríos tributarios del río Cruces (sector estuarial)						
río Pichoy	2.613,8 (1024,8)	56,8 (113,5)	56,8 (113,6)	284,1 (340,9)	1.818,2 (1.413,2)	56,8 (113,6)*
río Cayumapu	454,8 (371,1)	284,0 (286,1)	397,7 (340,9)	625,0 (217,6)	1.988,6 (1.812,3)	568,2 (340,9)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios						
río Calle Calle	11.534,3 (4610,9)	3.238,8 (2942,3)	4.602,3 (2613,6)	511,4 (503,9)	3.125,0 (1.523,2)	6.193,2 (5.220,3)

abundancia				
Estaciones	otoño 2016 (abril)		primavera 2016 (octubre)	
	orilla	cauce	Orilla	cauce
Eje central del río Cruces (sector estuarial)				
sector Fuerte San Luis	965,9 (1072,0)	1.704,5 (1.237,9)	18.465,9 (15.310,6)	170,5 (217,6)*
sector Punucapa	4.431,8 (2.365,5)	7.329,5 (2.237,4)	18.409,1 (11.566,4)	12.045,5 (8.061,0)
sector Isla Teja	16.193,2 (7.984,5)	5.284,1 (1.119,2)	14.204,5 (6.614,4)	4.659,1 (1.784,7)
Ríos tributarios del río Cruces (sector estuarial)				
río Pichoy	1.079,5 (934,8)	227,3 (0,0)	12.727,3 (6.581,8)	227,3 (262,4)*
río Cayumapu	1.534,1 (1039,4)	1.761,4 (1.164,4)	4.715,9 (1.088,0)	2.159,1 (1.151,4)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios				
río Calle Calle	29.204,5 (19.964,2)	17.897,7 (5.735,7)	29.431,8 (5.893,0)	24.431,8 (10.808,4)

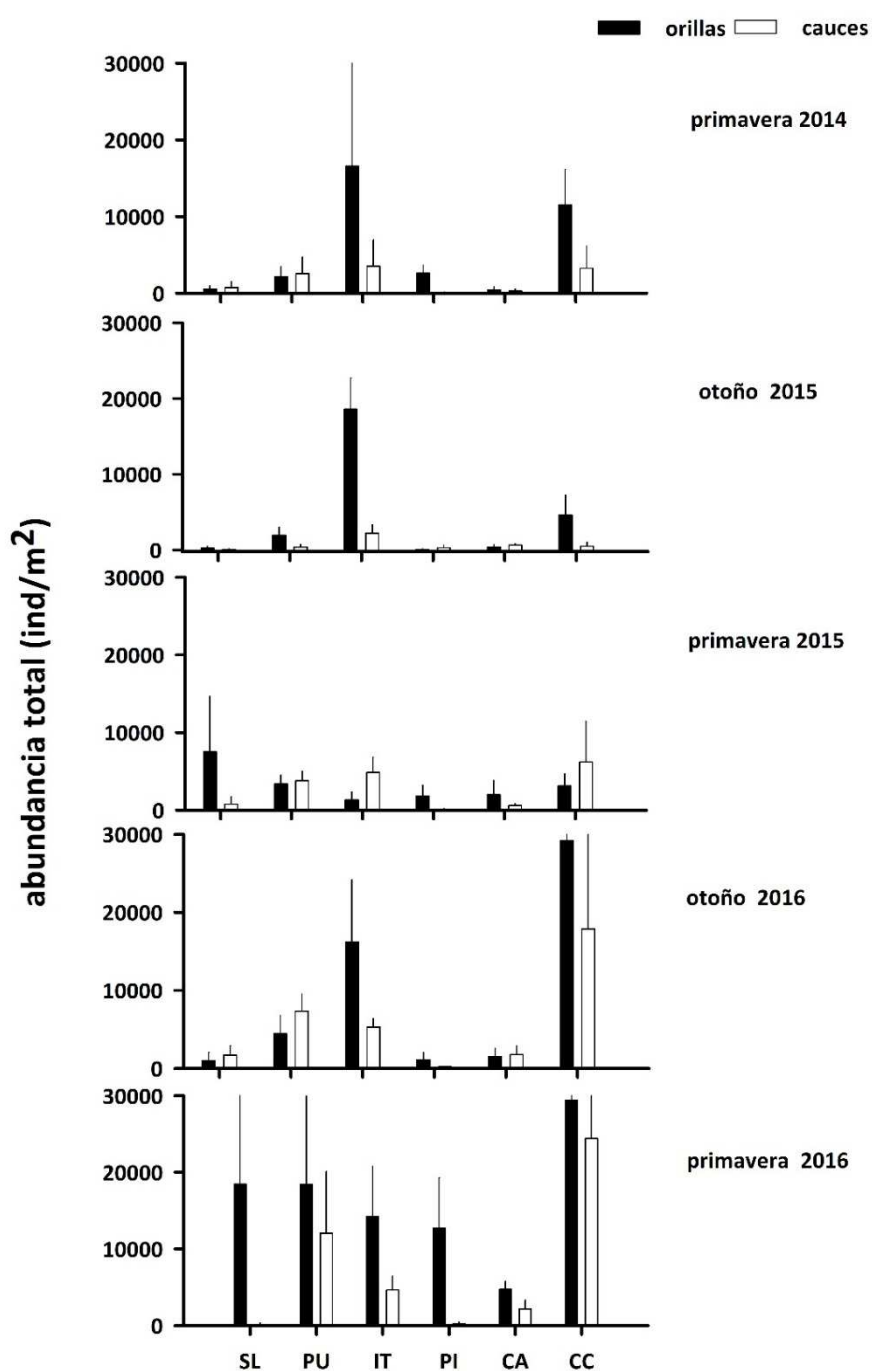


Figura 4.2.2.3. Abundancia total (ind/m²) de la macrofauna bentónica en los sedimentos del área de estudio, durante noviembre de 2014, abril y noviembre de 2015 y abril y octubre de 2016. Los valores son promedios (cuatro réplicas) \pm una desviación estándar. SL = San Luis, PU = Punucapa, IT = Isla Teja, Pi = Pichoy, CA= Cayumapu, CC = Calle Calle.

Biomasa

Durante abril del año 2016 (campaña otoñal del segundo año del Programa de Monitoreo Ambiental del HRC) los valores promedio más altos de biomasa total se registraron en los sedimentos de orilla y cauce del río Calle Calle (1,03 y 7,12 g/m² respectivamente) (Tabla 4.2.2.12), valores dados por las abundancias de un oligoqueto de la familia Tubificidae. Durante la campaña primaveral del mismo año (octubre 2016), el valor más alto de biomasa total fue en las orillas del sector Isla Teja (4,47 g/m²), debido primariamente a las abundancias de dos especies, el poliqueto *Perinereis gualpensis* y el anfípodo *Paracorophium hartmannorum*; durante esta misma campaña, los sedimentos de cauces con biomasa más altas fueron los del río Calle Calle (3,01 g/m²) (Tabla 4.2.2.12), dado por un oligoqueto de la familia Tubificidae e insectos Chironominae. Durante esa campaña primaveral, se detectaron valores significativamente más altos ($p < 0,05$) de biomasa total en los sedimentos de las orillas de los sectores San Luis, Isla Teja y río Cayumapu (Tabla 4.2.2.12).

Durante las campañas del año 2015 (primer año del Programa de Monitoreo Ambiental del HRC), los valores promedio más altos de biomasa total, se registraron en los sedimentos de las orillas y cauces del sector Isla Teja, lo que se debió primariamente a las biomas de los poliquetos *Prionospio (Minuspio) patagónica* y *Perinereis gualpensis*, del anfípodo *Paracorophium hartmannorum* y del oligoqueto de la familia Tubificidae (Tabla 4.2.2.12).

Durante el Programa de Diagnóstico Ambiental del HRC (año 2014), el valor promedio más alto de biomasa total se registró en los sedimentos de las orillas y cauces del sector Isla Teja (2,52 g/m² y 1,47 g/m², respectivamente), debido primariamente a las biomasas del poliqueto *Prionospio (Minuspio) patagónica*, el oligoqueto Tubificidae y el anfípodo *Paracorophium hartmannorum* (Tabla 4.2.2.12).

Tabla 4.2.2.12. Biomasa total (g/m^2) de la macroinfauna bentónica en los sedimentos del área de estudio, durante noviembre de 2014, abril y noviembre de 2015 y abril y octubre de 2016. Los valores son promedios (cuatro réplicas) con desviación estándar en paréntesis. Los valores en negrilla son promedios significativamente diferentes ($p < 0,05$) al comparar sedimentos de orillas y cauces para cada sitio.

Estaciones	Biomasa					
	primavera 2014 (noviembre)		otoño 2015 (abril)		primavera 2015 (noviembre)	
	orilla	cauce	orilla	Cauce	orilla	cauce
Eje central del río Cruces (sector estuarial)						
sector Fuerte San Luis	0,06 (0,04)	0,10 (0,12)	0,08 (0,13)	0,01 (0,01)	0,29 (0,25)	0,06 (0,07)
sector Punucapa	0,44 (0,25)	0,49 (0,84)	0,97 (0,48)	0,19 (0,23)	1,93 (1,49)	1,09 (0,35)
sector Isla Teja	2,52 (2,60)	1,47 (1,19)	3,20 (1,16)	0,80 (0,43)	1,32 (1,00)	1,94 (0,79)
Ríos tributarios del río Cruces (sector estuarial)						
río Pichoy	0,34 (0,26)	0,01 (0,01)	0,01 (0,01)	0,06 (0,10)	0,13 (0,10)	0,02 (0,05)
río Cayumapu	0,21 (0,21)	0,09 (0,14)	0,11 (0,11)	0,19 (0,04)	0,28 (0,20)	0,18 (0,13)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios						
río Calle Calle	2,15 (1,86)	0,65 (0,78)	1,64 (1,43)	0,16 (0,17)	1,13 (0,87)	1,15 (0,74)

Estaciones	biomasa			
	otoño 2016 (abril)		primavera 2016 (octubre)	
	orilla	cauce	Orilla	cauce
Eje central del río Cruces (sector estuarial)				
sector Fuerte San Luis	0,05 (0,05)	0,05 (0,02)	0,67 (0,41)	0,02 (0,03)
sector Punucapa	0,40 (0,20)	0,36 (0,21)	2,76 (0,96)	2,69 (2,13)
sector Isla Teja	0,68 (0,36)	0,28 (0,16)	4,47 (2,88)	0,99 (0,33)
Ríos tributarios del río Cruces (sector estuarial)				
río Pichoy	0,05 (0,03)	0,02 (0,00)	0,65 (0,20)	0,02 (0,02)
río Cayumapu	0,10 (0,06)	0,08 (0,09)	0,16 (0,05)	0,09 (0,03)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios				
río Calle Calle	1,03 (0,36)	7,12 (12,91)	3,56 (2,48)	3,01 (1,66)

Diversidad

Durante abril del año 2016 (campaña otoñal del segundo año del Programa de Monitoreo Ambiental del HRC), el valor del Índice de Diversidad de Shannon-Wiener, registró sus valores más altos en los sedimentos de las orillas del sector Punucapa y río Cayumapu ($H'=0,45$ y $H'=0,44$, respectivamente); a su vez, en las orillas y cauces del río Pichoy se estimaron los valores más bajos de diversidad ($H'=0,16$ y $H'=0,00$, respectivamente) (Tabla 4.2.2.13). En los sedimentos de los cauces, el sector Isla Teja fue donde se presentó valor más alto de diversidad ($H'=0,33$) (Tabla 4.2.2.13).

Durante la campaña de primavera del año 2016, el valor de diversidad más alto se registró en las orillas del sector Isla Teja ($H'=0,46$) y el valor más bajo en el sector del San Luis ($H'=0,30$). En los sedimentos del cauce, los valores más altos y más bajos ocurrieron respectivamente en el río Cayumapu y sector del San Luis ($H'=0,39$ y $H'=0,00$, respectivamente) (Tabla 4.2.2.13). Valores significativamente más altos ($p<0,05$) de diversidad se encontraron en las orillas del sector San Luis y río Pichoy (Tabla 4.2.2.13).

Durante la campaña otoñal del año 2015 (primer año del Programa de Monitoreo Ambiental del HRC), el valor del Índice de Diversidad de Shannon-Wiener, registró su valor más alto en los sedimentos de las orillas del sector Punucapa ($H'=0,48$) (Tabla 4.2.2.13). En los sedimentos del cauce, el valor más alto se obtuvo en el sector Isla Teja ($H'=0,34$), a la vez que en el sector San Luis se estimó el valor más bajo ($H'=0,00$). Solo se encontraron diferencias significativas ($p<0,05$) en el sector Punucapa, con valores más altos en las orillas (Tabla 4.2.2.13).

Durante la campaña de primavera del año 2015, el Índice de Diversidad de Shannon-Wiener fue más alto en el sector de Punucapa, tanto en los sedimentos de las orillas como de los cauces, ($H'=0,44$ y $H'=0,39$, respectivamente), a la vez que en el río Pichoy se estimó el valor más bajo de diversidad ($H'=0,23$ y $H'=0,00$, respectivamente),

mostrando este sector diferencias significativas con valores más altos en las orillas ($p < 0,05$) (Tabla 4.2.2.13).

Durante el Programa de Diagnóstico Ambiental del HRC (año 2014), el valor del Índice de Diversidad de Shannon-Wiener en los sedimentos de las orillas, fue más alto en el sector Punucapa ($H' = 0,48$) y el valor más bajo ($H' = 0,00$) en los sitios ubicados en el sector San Luis y río Cayumapu (Tabla 4.2.2.13). En los sedimentos del cauce, el valor más alto se obtuvo en el río Calle Calle ($H' = 0,28$) y el valor más bajo en el río Pichoy ($H' = 0,00$) (Tabla 4.2.2.13). Los resultados de los análisis estadísticos, no registraron diferencias significativas ($p > 0,05$), al realizar comparaciones entre las orillas y cauces de los sitios de estudio en cuanto a diversidad (Tabla 4.2.2.13).

Nota: los valores del Índice de Diversidad igual a cero ($H' = 0,00$), se deben a que el promedio de especies presente correspondió a 1 taxón.

Tabla 4.2.2.13. Índice de Diversidad de Shannon – Wiener de la macroinfauna bentónica en los sedimentos de los sitios de estudio entre orilla y cauce durante noviembre de 2014, abril y noviembre de 2015 y abril y octubre de 2016. Los valores en negrilla son promedios significativamente diferentes ($p < 0,05$) al comparar sedimentos de orillas y cauces para cada sitio.

Estaciones	diversidad (H')					
	primavera 2014 (noviembre)		otoño 2015 (abril)		primavera 2015 (noviembre)	
	orilla	cauce	orilla	cauce	orilla	cauce
Eje central del río Cruces (sector estuarial)						
sector Fuerte San Luis	0,00 (0,00)	0,22 (0,15)	0,15 (0,17)	0,00 (0,00)	0,28 (0,10)	0,18 (0,21)
sector Punucapa	0,48 (0,20)	0,21 (0,16)	0,48 (0,07)	0,14 (0,16)	0,44 (0,11)	0,39 (0,06)
sector Isla Teja	0,35 (0,19)	0,21 (0,13)	0,37 (0,05)	0,34 (0,13)	0,24 (0,19)	0,32 (0,14)
Ríos tributarios del río Cruces (sector estuarial)						
río Pichoy	0,36 (0,14)	0,00 (0,00)	0,00 (0,00)	0,07 (0,14)	0,23 (0,18)	0,00 (0,00)
río Cayumapu	0,00 (0,00)	0,07 (0,14)	0,19 (0,23)	0,07 (0,14)	0,34 (0,25)	0,24 (0,28)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios						
río Calle Calle	0,21 (0,17)	0,28 (0,22)	0,19 (0,17)	0,07 (0,14)	0,25 (0,09)	0,29 (0,06)

Continuación **Tabla 4.2.2.13**

Estaciones	diversidad (H')			
	otoño 2016 (abril)		primavera 2016 (octubre)	
	orilla	cauce	orilla	cauce
Eje central del río Cruces (sector estuarial)				
sector Fuerte San Luis	0,23 (0,16)	0,26 (0,19)	0,30 (0,17)	0,00 (0,00)
sector Punucapa	0,45 (0,11)	0,28 (0,14)	0,42 (0,12)	0,23 (0,16)
sector Isla Teja	0,31 (0,05)	0,33 (0,06)	0,46 (0,08)	0,27 (0,20)
Ríos tributarios del río Cruces (sector estuarial)				
río Pichoy	0,16 (0,18)	0,00 (0,00)	0,41 (0,06)	0,08 (0,15)
río Cayumapu	0,44 (0,11)	0,16 (0,22)	0,44 (0,17)	0,39 (0,20)
Fuera del humedal del río				

Cruces y sus ríos tributarios

río Calle Calle	0,32 (0,08)	0,25 (0,07)	0,37 (0,19)	0,30 (0,07)
-----------------	-------------	-------------	-------------	-------------

Uniformidad o equitatividad

Durante abril del año 2016 (campaña otoñal del segundo año del Programa de Monitoreo Ambiental del HRC), el índice de Uniformidad registró su valor más alto en los sedimentos de las orillas y de los cauces del río Cayumapu ($J'=0,95$) y sector San Luis ($J'=0,74$) Tabla 4.2.2.14). Los valores más bajos se registraron en los sedimentos de las orillas del río Calle Calle ($J'=0,32$) y en los sedimentos de los cauces del río Cayumapu y río Calle Calle ($J'=0,34$ y $J'=0,35$, respectivamente) (Tabla 4.2.2.14).

Durante la campaña primaveral del año 2016, el Índice de Uniformidad registró su valor más alto en las orillas del río Pichoy ($J'=0,86$) y el más bajo en el río Calle Calle ($J'=0,45$); en los sedimentos de los cauces el valor más alto ocurrió en el río Cayumapu ($J'=0,76$) y el más bajo en el sector San Luis ($J'=0,00$) (Tabla 4.2.2.14). Los análisis estadísticos realizados para evaluar eventuales diferencias entre orillas y cauces mostraron un valor significativamente ($p<0,05$) más alto de Uniformidad en el sector San Luis (Tabla 4.2.2.14).

El Índice de Uniformidad durante la campaña otoñal del año 2015 (primer año del Programa de Monitoreo Ambiental del HRC), registró el valor más alto en los sedimentos de las orillas del sector Punucapa ($J'=0,90$) y el valor más bajo en las orillas del río Pichoy ($J'=0,00$) (Tabla 4.2.2.14). En los sedimentos del cauce, el valor más alto se presentó en el sector Isla Teja ($J'=0,77$) y el valor más bajo en el sector San Luis ($J'=0,00$) (Tabla 4.2.2.14). Durante la campaña primaveral del año 2015, el valor más alto de Uniformidad, se registró en los sedimentos de las orillas y de los cauces del sector Punucapa ($J'=0,84$ y $J'=0,81$, respectivamente) y el valor más bajo en el río Pichoy ($J'=0,55$ y $J'=0,00$, respectivamente) (Tabla 4.2.2.14).

Durante el Programa de Diagnóstico Ambiental del HRC (año 2014), el valor más alto de Uniformidad se registró en los sedimentos de las orillas del sector

Punucapa ($J'=0,87$) y el menor en el sector San Luis ($J'=0,00$) (Tabla 4.2.2.14). En los sedimentos del cauce, se registró el valor más alto en el sector San Luis ($J'=0,65$) y el más bajo en el río Pichoy ($J'=0,00$) (Tabla 4.2.2.14). Los análisis estadísticos no evidenciaron diferencias significativas ($p>0,05$) al comparar orillas *versus* cauces (Tabla 4.2.2.14).

Tabla 4.2.1.14. Uniformidad de Pielou o equitatividad de la macroinfauna bentónica en los sedimentos de los sitios de estudio entre orilla y cauce, durante el muestreo de primavera 2014 y abril y octubre de 2015 y abril y octubre de 2016. Los valores en negrilla son promedios significativamente diferentes ($p<0,05$) al comparar sedimentos de orillas y cauces para cada sitio.

Estaciones	equitatividad (J')					
	primavera 2014 (noviembre)		otoño 2015 (abril)		primavera 2015 (noviembre)	
	orilla	cauce	orilla	cauce	orilla	cauce
Eje central del río Cruces (sector estuarial)						
sector Fuerte San Luis	0,00 (0,00)	0,65 (0,45)	0,50 (0,58)	0,00 (0,00)	0,63 (0,12)	0,46 (0,54)
sector Punucapa	0,87 (0,08)	0,40 (0,28)	0,90 (0,07)	0,46 (0,53)	0,84 (0,07)	0,81 (0,12)
sector Isla Teja	0,59 (0,25)	0,59 (0,32)	0,65 (0,07)	0,77 (0,19)	0,67 (0,45)	0,70 (0,24)
Ríos tributarios del río Cruces (sector estuarial)						
río Pichoy	0,69 (0,21)	0,00 (0,00)	0,00 (0,00)	0,23 (0,46)	0,55 (0,40)	0,00 (0,00)
río Cayumapu	0,00 (0,00)	0,23 (0,46)	0,48 (0,55)	0,23 (0,46)	0,61 (0,42)	0,50 (0,58)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios						
río Calle Calle	0,38 (0,30)	0,50 (0,36)	0,50 (0,30)	0,23 (0,46)	0,67 (0,13)	0,59 (0,17)

Continuación Tabla 4.2.1.14.

Estaciones	equitatividad (J')			
	otoño 2016 (abril)		primavera 2016 (octubre)	
	orilla	cauce	orilla	cauce
Eje central del río Cruces (sector estuarial)				
sector Fuerte San Luis	0,62 (0,43)	0,74 (0,49)	0,48 (0,09)	0,00 (0,00)
sector Punucapa	0,78 (0,13)	0,54 (0,19)	0,72 (0,23)	0,42 (0,30)
sector Isla Teja	0,51 (0,12)	0,66 (0,17)	0,63 (0,07)	0,50 (0,20)
Ríos tributarios del río Cruces (sector estuarial)				
río Pichoy	0,41 (0,48)	0,00 (0,00)	0,86 (0,13)	0,25 (0,50)
río Cayumapu	0,95 (0,04)	0,34 (0,40)	0,67 (0,14)	0,76 (0,17)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios				
río Calle Calle	0,32 (0,11)	0,35 (0,09)	0,45 (0,19)	0,55 (0,11)

Análisis de ordenamiento

La Figura 4.2.2.4 muestra los resultados del análisis de MDS para evaluar la similitud entre los seis sitios de estudio, de acuerdo a la abundancia y composición específica de la macroinfauna bentónica presente en orillas y cauces durante los estudios hasta ahora realizados (primavera 2014, otoño y primavera 2015, 2016).

En términos generales, no se observa mayor diferenciación entre orillas y cauces durante los dos primeros años del Programa de Monitoreo Ambiental del HRC, pero sí entre sitios: las estaciones de los sitios Isla Teja y Punucapa, se separan claramente del resto de las estaciones, situación relacionada al hecho de que los fondos sedimentarios de ambos sitios están dominados por los poliquetos *Prionospio (M) patagonica* y *Perinereis gualpensis* y por el anfípodo *Paracorophium hartmannorum*. Básicamente entonces, esta separación refleja la mayor influencia de

aguas con mayor conductividad en los sitios Punucapa e Isla Teja y que están dominados por taxa estuariales, como los anteriormente mencionados. Por el contrario, los fondos sedimentarios del resto de los sitios, están dominados numéricamente por especies de carácter más límnic (aguas con menor conductividad), como son oligoquetos Tubificidae e insectos Chironomidae.

Contrario a lo anterior, los análisis realizados con los datos obtenidos durante el Programa de Diagnóstico Ambiental del HRC (primavera 2014), no muestran mayor agrupamiento de sitios, aun cuando estaciones de los sectores Punucapa e Isla Teja muestran cierta cercanía gráfica (Fig. 4.2.2.4).

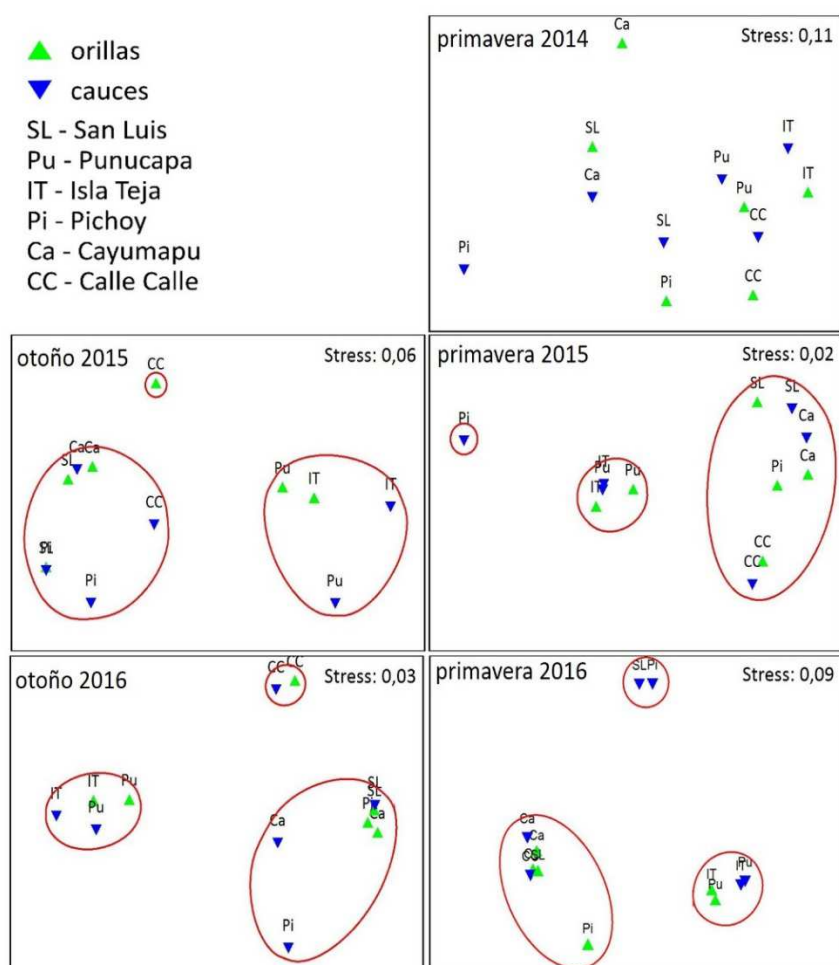


Figura 4.2.2.4. Representación gráfica del análisis de escalamiento multidimensional no métrico, basado en la abundancia de los organismos de la macroinfauna bentónica presentes en los sedimentos de los sitios muestreados (orilla-cauce), durante noviembre de 2014, abril y noviembre de 2015 y abril y octubre de 2016. Análisis basados en una matriz de similitud construida a partir del Índice de Bray Curtis.

4.2.2.5. Conclusiones

- Las fracciones texturales arena y fango fueron las dominantes en los sedimentos submareales del área de estudio. En general, las partículas finas o fango (<63 micrones) dominaron en los sedimentos de las orillas de los sitios de estudio.
- Los datos hasta ahora obtenidos de redox, muestran que el grado de oxigenación en el espacio intersticial de los sedimentos del área de estudio es ampliamente variable, lo que evidencia el alto dinamismo en la interacción corrientes mareales – tipos de sedimentos en el HRC.
- En términos generales, la riqueza de especies de la macroinfauna de fondos sedimentarios del HRC ha aumentado desde el Programa de Diagnóstico Ambiental del HRC del año 2014 (13 taxa), al primer y segundo año del Programa de Monitoreo Ambiental del HRC (18 y 20 taxa, respectivamente). Por otra parte, si bien se ha mantenido el número de taxa mayores (*e.g.*, oligoquetos, poliquetos, crustáceos, insectos y moluscos), han ocurrido cambios en la composición específica dentro de esos taxa.
- Desde el Programa de Diagnóstico Ambiental del HRC (año 2014) a la fecha (segundo año del Programa de Monitoreo Ambiental del HRC), la abundancia total de la macroinfauna bentónica ha sido mayor en los sedimentos de las orillas que en los cauces del área de estudio. En general, los valores más altos de abundancia han ocurrido en los sedimentos de las orillas del sector San Luis, Isla teja y río Calle Calle, en tanto que en los sedimentos de los cauces las abundancias han sido más altas en el sector Punucapa y río Calle Calle.
- Los oligoquetos de la familia Tubificidae y Naididae, fueron los taxa que han presentado los valores más altos de abundancia en los sitios ubicados en el eje central del HRC (San Luis, Punucapa); estos organismos e insectos Chironomidae han dominado en los sedimentos del río Calle Calle, a la vez que

poliquetos (*Prionospio (M) patagonica* y *Perinereis gualpensis*) y anfípodos *Paracorophium hartmannorum* han sido los taxa dominantes en el sector Isla Teja, área afectada por aguas con mayor concentración de solutos.

- En términos generales, los análisis multivariados de escalamiento multidimensional, no mostraron mayor diferenciación entre la macroinfauna de orillas y cauces durante los dos primeros años del Programa de Monitoreo del HRC, pero sí entre sitios, ya que los sectores Isla Teja y Punucapa, se separan claramente del resto de los sitios.
- Los resultados hasta ahora obtenidos, muestran que el estado ambiental de la macroinfauna bentónica del HRC es similar a la de fondos estuariales no afectados por cambios ambientales, como los que ocurrieron en el humedal durante el año 2004. La recolección de un número suficiente de datos durante los próximos años del Programa de Monitoreo, permitirá elaborar un Índice de Salud Ambiental para el HRC y que pueda tener aplicabilidad regional.

4.2.2.6. Referencias

- Anderson, F., L. Black, L. Mayer, L. Watling. 1981. A temporal and spatial study of mudflat texture. *Northeastern Geology* 3: 184-191.
- Anderson, M., R. Ford, D. Feary, C. Honeywill. 2004. Quantitative measures of sedimentation in an estuarine system and its relationship with intertidal soft-sediment infauna. *Marine Ecology Progress Series* 272: 33-48.
- Brower, J.E., J.H. Zar. 1977. *Field laboratory methods for general ecology*. William C. Brown Company Publishers. Dubuque, Iowa, USA. 192 pp.
- Byers, S.C., E.L. Mills, P.L. Stewart. 1978. A comparison of methods of determining organic carbon in marine sediments, with suggestions for a standard method. *Hydrobiologia* 58:43-47.
- Emery, K.O. 1938. Rapid method of mechanical analysis of sands. *Journal of Sedimentary Petrology* 8: 105-111.
- Folk, R.L. 1980. *Petrology of sedimentary rocks*. Hemphill Publishing Company, Austin, Texas, USA 182 pp.

Gray, J.S. 1974. Animal-sediment relationships. *Oceanography and Marine Biology: an Annual Review* 12: 223-261.

Kruskal, J., B. 1964. Nonmetric multidimensional scaling: A numerical method. *Psychometrika* 29: 115-129.

Pielou, E.C. 1984. *The interpretation of ecological data: a primer on classification and ordination*.

Rhoads, D.C., L.F. Boyer. 1982. The effects of marine benthos on physical properties of sediments: a successional perspective. In McCall, P.L. y M.J.S. Tevesz, Edicions. *Animal-sediment relations: The biogenic alteration of sediments*. Plenum Press, New York 100: 3-52.

Seward-Thompson, B., J. Hails. 1973. An appraisal of the computation of statistical parameters in grain size analysis. *Sedimentology* 20: 161-169.

Sokal, R., F. Rohlf. 1995. *Biometry the principles and practice of statistics in biological research*. W.H. Freeman, New York 877 pp.

4.2.3. MACROFAUNA DE FONDOS RITRALES

4.2.3.1 Antecedentes

La macrofauna bentónica que habita fondos acuáticos compuestos de rocas o bolones (*i.e.*, fondos ritrales o pedregosos), está compuesta por organismos que se adhieren a rocas o bolones, o bien se refugian entre éstos para protegerse de ser arrastrados por la corriente. La mayor parte de los invertebrados que componen esa macrofauna, son larvas y estados inmaduros de insectos con ciclos de vida anfibio como plecópteros, efemerópteros, tricópteros, dípteros y coleópteros, cuyos estados pre adultos viven en el fondo de los ríos por periodos que fluctúan entre meses y años. Tales insectos, además de otros artrópodos que coexisten con los mismos (*e.g.*, crustáceos del género *Aegla*), son parte importante de la dieta de peces y de mamíferos acuáticos (Huillín), respectivamente (*e.g.*, Medina, 1997, 1998) en ríos y humedales del sur de Chile.

Debido a su sensibilidad a condiciones estresantes, a su movilidad limitada y al hecho de que tengan ciclos de vida que pueden superar el año, estos organismos bentónicos, permiten detectar cambios ambientales asociados por ejemplo, al ingreso de altas cargas de materia orgánica a los cuerpos acuáticos, lo que puede influir adversamente sobre las funciones fisiológicas de las especies, como por ejemplo, efectos sobre la reproducción y el reclutamiento de las mismas. La periodicidad de los estudios que incluyen este tipo de organismos es relevante, ya que la presencia de los mismos en el medio acuático, depende de la estación ya que en un período del año dejan ese ambiente y emergen como organismos adultos.

Debido a lo anterior, el estudio de la macrofauna de los organismos bentónicos - y fundamentalmente insectos - en fondos ritrales, constituye una herramienta eficaz para evaluar eventuales cambios ambientales en sistemas acuáticos como es el caso de la porción superior del río Cruces, constituida mayoritariamente por fondos pedregosos.

4.2.3.2. Objetivos:

- Analizar la riqueza de especies, abundancia y biomasa de los invertebrados bentónicos que ocurren en fondos ritrales o pedregosos del río Cruces durante el segundo año del Programa de Monitoreo Ambiental del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios (HRC) (otoño y primavera del año 2016).
- Evaluar para esos períodos de muestreo, la calidad del agua del área de estudio, referida a carga orgánica, mediante la estimación de índices basados en la presencia y abundancia de estos invertebrados.
- Comparar los resultados obtenidos para el segundo año del Programa de Monitoreo, con los datos de los muestreos realizados en la misma área durante el otoño y primavera de los años 2015 (primer año del Programa de Monitoreo del HRC) y 2014 (Programa de Diagnóstico Ambiental del HRC).

4.2.3.3. Material y métodos

Obtención de las muestras de macrofauna

Los muestreos se realizaron en otoño (mayo) y primavera (octubre) del año 2016 (Tabla 4.2.3.1), en los sitios que se muestran en la Figura 4.2.3.1. Se muestreó en un sitio ubicado en el río Calle Calle, debido a que esa área no fue afectada por los cambios ambientales del año 2004 y por lo tanto se lo considera como un sitio control.

Las estaciones de muestreo se dispusieron sobre sustratos de ripio grueso o bolones de 8 a 15 cm de diámetro, en la zona marginal del cauce hídrico y a una profundidad no superior a los 60 cm, la cual es el límite de alcance del brazo del operador del artefacto de muestreo. Las muestras fueron obtenidas con una red

Surber (área muestral de 0,09 m²) (Fig. 4.2.3.2) provista con malla de 250 µm de trama; ésta se usó por cinco minutos para la obtención de cada muestra; los clastos (rocas) recogidos en el marco de 30 x 30 cm, fueron frotados a mano en la boca de la red, lo cual permitió que los animales removidos, fueran arrastrados por la corriente dentro del artefacto. Las muestras recolectadas (n= 4 por sitio de muestreo), se almacenaron en bolsas plásticas con etanol al 90% debidamente etiquetadas, para la posterior identificación y recuento de la fauna bajo lupa estereoscópica y microscopio. La identificación de los taxa se realizó hasta el nivel taxonómico más bajo posible.

Tabla 4.2.3.1. Sitios y fechas de muestreos para análisis de invertebrados bentónicos que ocurren en los fondos ritrales del área de estudio.

estaciones	otoño 2016	primavera 2016
Porción superior del río Cruces (sector límnic)		
1 (sector Ciruelos)	5 mayo 2016	11 octubre 2016
2 (sector Rucaco)	5 mayo 2016	11 octubre 2016
3 (sector Carriquilda)	5 mayo 2016	11 octubre 2016
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios		
4 (río Calle Calle)	5 mayo 2016	12 octubre 2016

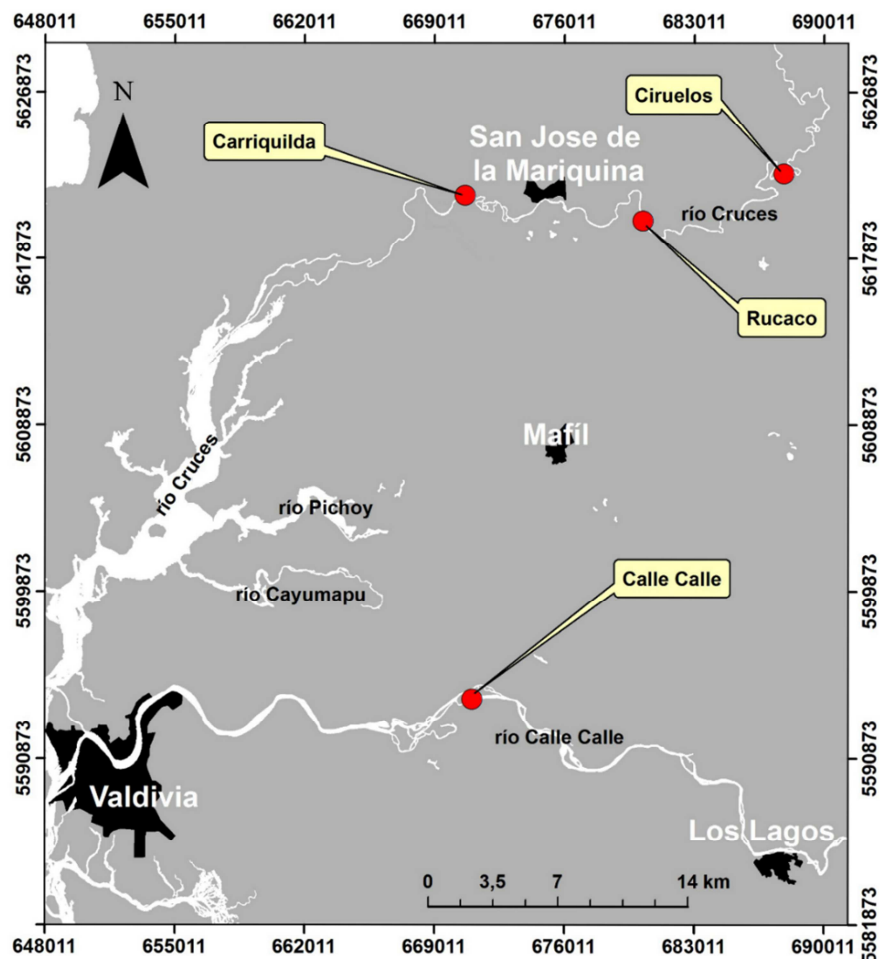


Figura 4.2.3.1. Ubicación de los sitios de muestreo para el estudio de la macrofauna de invertebrados bentónicos que ocurren en los fondos ritrales del río Cruces y río Calle Calle.



Figura 4.2.3.2. Uso de red Surber para muestreo de la macrofauna bentónica de fondos ritrales.

Estructura comunitaria de la macrofauna bentónica

Los valores promedio de las abundancias de cada sitio se utilizaron para estimaciones de riqueza de especies, Índice de Diversidad de Shannon-Wiener (Brower & Zar, 1977). Con el objetivo de evaluar eventuales asociaciones faunísticas entre sitios de muestreo se realizaron análisis de escalamiento multidimensional no métrico (EMDNM), utilizando la distancia de Bray-Curtis como índice de similitud entre estaciones. Los datos fueron transformados con raíz a la cuarta, previo a su inclusión en los análisis. Los resultados de la distribución espacial de las agrupaciones se generan sobre un plano cartesiano de dos dimensiones. El EMDNM genera un valor de “stress” que corresponde a una medida de “no-bondad” del ajuste (*i.e.*, mientras mayor sea la distancia entre los objetos mayor es el valor de “stress”, y por ende, peor es el modelo resultante). Las categorizaciones para interpretar el valor de “stress” son las siguientes: 0,2 = modelo pobre; 0,1 = modelo aceptable; 0,05 = modelo bueno; y 0 = valor mínimo y que corresponde a un excelente modelo de asociación (Kruskal, 1964).

Con el objetivo de evaluar eventuales diferencias en las abundancias, riqueza de especies y biomasa de la macrofauna entre sitios de muestreo, se realizaron análisis de varianza de una vía (ANDEVA) (Sokal & Rohlf, 1995). En caso de no cumplir con los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas, los datos fueron transformados mediante la expresión $\log(x+1)$. Para comprobar normalidad y homogeneidad de varianzas, se utilizó la prueba estadística de Kolmogorov-Smirnov y el test de Levene (Sokal & Rohlf, 1995). En aquellos ANDEVA donde se encontraron diferencias significativas entre los grupos analizados, se realizó un test *a posteriori* (Tukey) en Sigmaplot 11.0, con el objetivo de identificar los sitios con características significativamente diferentes (Sokal & Rohlf, 1995). Cuando los datos no cumplieron con los supuestos del ANDEVA (a pesar de ser transformados), las eventuales diferencias entre grupos se evaluaron con el test no paramétrico de Kruskal Wallis (Kruskal & Wallis, 1952).

Organismos bentónicos de fondos ritrales y calidad del agua

Para evaluar la calidad del agua (referida a carga de materia orgánica) mediante indicadores biológicos, se utilizó el Índice Biótico de Hilsenhoff modificado (RBP III) (Plafkin *et al.*, 1989) y que está basado en la abundancia de macroinvertebrados bentónicos:

$$IB = \sum \frac{n_i \times a_i}{N}$$

Dónde:

IB = Índice Biótico

n_i = es el número de individuos del taxón "i"

a_i = es el valor de tolerancia del taxón "i"

N = es el número total de individuos de la muestra

Los valores de tolerancias a carga orgánica de los taxa estudiados varían entre 0 y 10. Los organismos con valores de 0 corresponden a aquellos que son intolerantes a las cargas de materia orgánica, a la vez que un valor de 10 corresponde a aquellos organismos que son muy tolerantes a cargas orgánicas. Los rangos intermedios incluyen organismos facultativos respecto a tal tipo de cargas. Los valores de tolerancia de los taxa están basados en Klemm *et al.*, (1990), Barbour *et al.*, (1990), Mandaville (2002) y Figueroa *et al.*, (2007). Para los análisis de calidad de agua se utilizó la escala que se presenta en la Tabla 4.2.3.2.

Tabla 4.2.3.2. Graduación de la calidad del agua en función del Índice Biótico de Hilsenhoff (1988).

Índice Biótico	condición	grado de contaminación orgánica*
0,00-3,50	Excelente	Contaminación orgánica no aparente
3,51-4,50	Muy bueno	Contaminación orgánica muy leve
4,51-5,50	Bueno	Algo de contaminación orgánica
5,51-6,50	Regular	Contaminación orgánica algo significativa
6,51-7,50	Algo pobre	Contaminación orgánica significativa
7,51-8,50	Pobre	Contaminación orgánica muy significativa
8,51-10,0	Muy pobre	Contaminación orgánica severa

* = El término “contaminación” empleado anteriormente, se refiere a una traducción textual del Índice creado por Hilsenhoff en 1988.

4.2.3.4. Resultados

Composición faunística

La macrofauna de invertebrados bentónicos de los fondos ritrales del río Cruces y Calle Calle, durante otoño del año 2016 estuvo compuesta por 22 especies (16 insectos, tres gastropodos, un crustaceo, un arachnido, un ologochaeto y un platelminto), mientras que en la primavera, sólo se encontró 20 especies (14 insectos, dos gastropodos, un crustaceo, un arachnido, un ologochaeto y un platelminto). Resultando en un total de 23 especies durante el año 2016 (Tabla 4.2.3.3).

Esta macrofauna durante el periodo de otoño del año 2015, estuvo compuesta por 24 especies, dominada por insectos (17), mientras que durante el periodo de primavera del año 2015, estuvo compuesta por 21 especies, dominada por insectos (16) igualmente. Lo anterior, resulta en un total de 29 especies encontradas durante el año 2015 (Tabla 4.2.3.3).

Tabla 4.2.3.3. Invertebrados bentónicos de fondos ritrales recolectados en el área de estudio para el año 2016 (otoño y primavera). Se indica además el valor del Índice Biótico asignado a cada especie (cf. Tabla 4.2.3.2).

Phylum	Clase	Orden	Especie	Valor indicador	otoño 2016	primavera 2016		
Arthropoda	Insecta	Diptera	<i>Eukiefferiella</i> sp.	4	✓	✓		
			<i>Corynoneura</i> sp.	4	✓	✓		
			<i>Lopescladius</i> sp.	5	✓	✓		
			<i>Alluaudomya</i> sp.	6	✓	✓		
			<i>Rheotanytarsus</i> sp.	6	✓	✓		
			<i>Atherix</i> sp.	4	✓	✓		
			<i>Orthocladius</i> sp.	6	✓	✓		
			<i>Simulium</i> sp.	4	✓	✓		
			Ephydriidae	9	✓	X		
			Blephariceridae	0	X	✓		
			Ephemeroptera	<i>M. diguillina</i>	4	✓	✓	
				<i>A. torrens</i>	5	✓	X	
				<i>P. flavidula</i>	4	✓	✓	
			Plecoptera	<i>L. jaffueli</i>	2	✓	✓	
				Trichoptera	<i>S. annulucormis</i>	5	✓	✓
			Coleoptera		<i>Luchoelmis</i> sp.	4	✓	✓
				Crustacea	Decapoda	<i>Aegla abtao</i>	5	✓
			Arachnida			Acariforme	<i>Hydracarina</i>	6
				Mollusca	Gastropoda		Basommatophora	<i>C. dombeyana</i>
Ancylidae	7	✓	✓					
Mesogastropoda	<i>L. cumingi</i>	8	✓			X		
Annelida	Oligochaeta	Haplataxida	<i>Tubifex</i> sp.	10	✓	✓		
Plathelminthes	Rhabditophora	Tricladida	<i>D. anceps</i>	4	✓	✓		

Atributos Comunitarios

Riqueza de especies

Durante el año 2016 (otoño y primavera), la riqueza de especies varió entre 7 (sector Calle Calle en otoño) y 13 especies (sectores Ciruelos y Carriquilda en primavera). Los análisis de varianza, realizados para evaluar eventuales diferencias entre los sitios estudiados resultaron en que la riqueza que se encontró en los sectores de Ciruelos y Carriquilda fue significativamente más alta ($p < 0,05$) que la encontrada en el sector de Calle Calle (sector ubicado fuera del HRC), estas diferencias se encontraron para las campañas de otoño y primavera (Fig. 4.2.3.3).

La riqueza de especies dentro de los sitios monitoreados durante la campaña de otoño del año 2015, varió entre 6 (río Calle Calle) y 13 (río Cruces, sector Ciruelos). Los análisis de varianza indican que la riqueza de especies del sitio ubicado en el río Calle Calle fue significativamente más baja que la encontrada en los sectores Ciruelos, Rucaco y Carriquilda (río Cruces) ($p < 0,05$) (Tabla 4.2.3.4 y Fig. 4.2.3.3). Por su parte, durante la campaña de primavera del año 2015, la riqueza fluctuó entre 6 (río Calle Calle) y 13 (sectores Rucaco y Carriquilda).

Tabla 4.2.3.4. Número de especies de la macrofauna de invertebrados bentónicos que ocurren en los fondos ritrales del área de estudio durante las estaciones de otoño (O) y primavera (P) de los años 2014, 2015 y 2016. Los valores corresponden al promedio de cuatro réplicas (tres para ambos periodos del año 2014) con la desviación estándar en paréntesis.

Sitios	riqueza de especies					
	otoño 2014	primavera 2014	otoño 2015	primavera 2015	otoño 2016	primavera 2016
1 (sector Ciruelos)	18 (1)	14 (1)	13 (1)	7 (1)	12 (1)	13 (1)
2 (sector Rucaco)	13 (1)	15 (0)	11 (1)	13 (1)	9 (2)	12 (1)
3 (sector Carriquilda)	14 (1)	8 (3)	11 (3)	13 (1)	10 (2)	13 (1)
4 (sector Calle Calle)	9 (5)	9 (3)	6 (1)	6 (1)	7 (1)	10 (1)

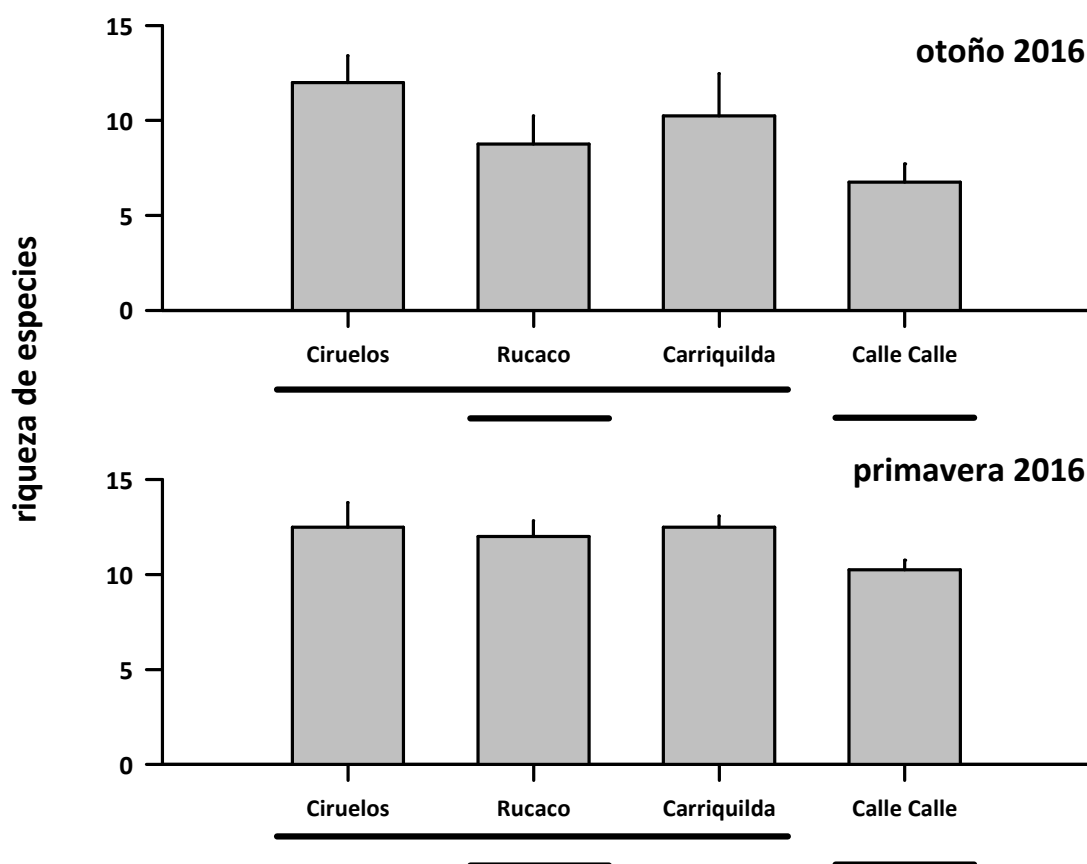


Figura 4.2.3.3. Riqueza promedio de especies de invertebrados bentónicos en los fondos ritrales del área de estudio, durante las estaciones de otoño y primavera del año 2016. Las líneas unen promedios que no difieren significativamente entre sí ($p > 0,05$). Los valores corresponden al promedio de cuatro réplicas (tres para las estaciones del año 2014) con la desviación estándar en paréntesis.

La Figura 4.2.3.4 muestra la variabilidad en el tiempo de la riqueza de especies. Para el sector Ciruelos (sitio 1), la riqueza promedio, fue similar a la encontrada en campañas anteriores, y considerablemente mayor a la encontrada en la primavera del año 2015. Para el sector Rucaco (sitio 2), se mantiene una tendencia a presentar valores de riqueza más bajos durante las campañas de otoño. Esta misma tendencia se ha observado en los sectores de Carriquilda (exceptuando el 2014) y Calle Calle, pero menos definidas.

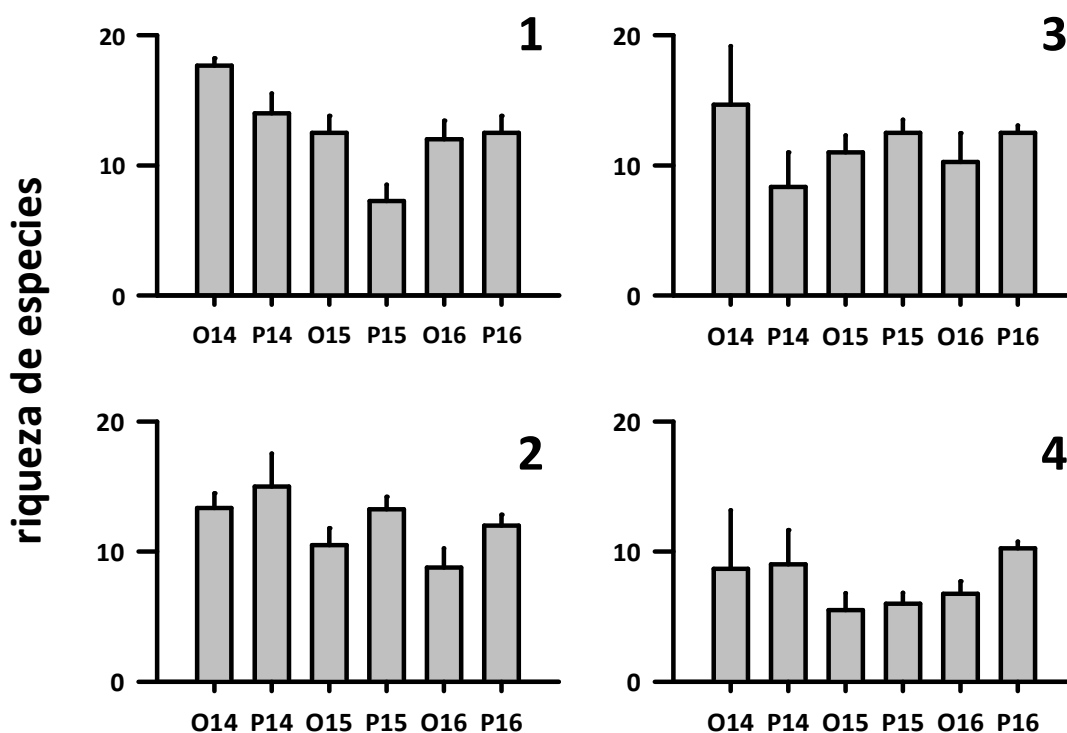


Figura 4.2.3.4. Riqueza promedio de especies de invertebrados bentónicos en los fondos ritrales del área de estudio, durante las estaciones de otoño (O) y primavera (P) de los años 2014, 2015 y 2016. 1 = Ciruelos, 2 = Rucaco, 3 = Carrquiilda y 4 = Calle Calle. Los valores corresponden al promedio de cuatro réplicas (tres para los estaciones del año 2014) con la desviación estándar en paréntesis.

Abundancia

La abundancia total de invertebrados bentónicos dentro de los cuatro sitios monitoreados durante el año 2016 varió entre 763,9 ind/m² (sector Calle Calle) y 8086,1 ind/m² (Sector Ciruelos) en otoño y entre 4955,6 ind/m² (sector Ciruelos) y 13863,9 ind/m² (sector Calle Calle) en primavera (Tabla 4.2.3.5).

Los análisis de varianza, muestran que en otoño del año 2016, la abundancia en los sectores Ciruelos y Rucaco es significativamente más alta a la encontrada en los sectores Carrquiilda y Calle Calle ($p < 0,05$) (Fig. 4.2.3.5). Mientras que en primavera del

mismo año, la abundancia total de macroinvertebrados bentónicos encontrada en el sector de Calle Calle, fue significativamente más alta que la encontrada en los otros sectores estudiados ($p < 0,05$) (Fig. 4.2.3.5).

Durante el periodo de otoño del año 2015, varió entre 247,2 ind/m² (río Calle Calle) y 730,6 ind/m² (río Cruces, sector Ciruelos) (Tabla 4.2.3.5). Mientras que durante la primavera del año 2015, la abundancia varió entre 780,6 ind/m² (sector Ciruelos) y 3.147,2 ind/m² (sector Carriquilda) (Tabla 4.2.3.5).

Tabla 4.2.3.5. Abundancia total (ind/m²) de la macrofauna de invertebrados bentónicos que ocurren en los fondos ritrales del área de estudio durante las estaciones de otoño y primavera de los años 2014, 2015 y 2016. Los valores corresponden al promedio de cuatro réplicas (tres para ambos periodos del año 2014) con la desviación estándar en paréntesis.

Sitios	abundancia total (ind/m ²)			
	otoño 2014	primavera 2014	otoño 2015	primavera 2015
1 (sector Ciruelos)	1.600,0 (616,5)	1.622,2 (539,3)	730,6 (170,3)	780,6 (56,9)
2 (sector Rucaco)	929,6 (109,6)	1.663,0 (39,0)	536,1 (69,3)	2.836,1 (835,4)
3 (sector Carriquilda)	1.266,7 (329,0)	477,8 (339,0)	444,4 (142,0)	3.147,2 (687,2)
4 (sector Calle Calle)	877,8 (792,9)	792,6 (132,6)	247,2 (129,7)	1.030,6 (301,1)
	otoño 2016	primavera 2016		
1 (sector Ciruelos)	8.086,1 (1.579,3)	4.955,6 (1.431,6)		
2 (sector Rucaco)	7.994,4 (5.748,3)	7.144,4 (2.690,1)		
3 (sector Carriquilda)	1.236,1 (720,6)	6.280,6 (1.055,3)		
4 (sector Calle Calle)	763,9 (263,5)	13.863,9 (2.196,2)		

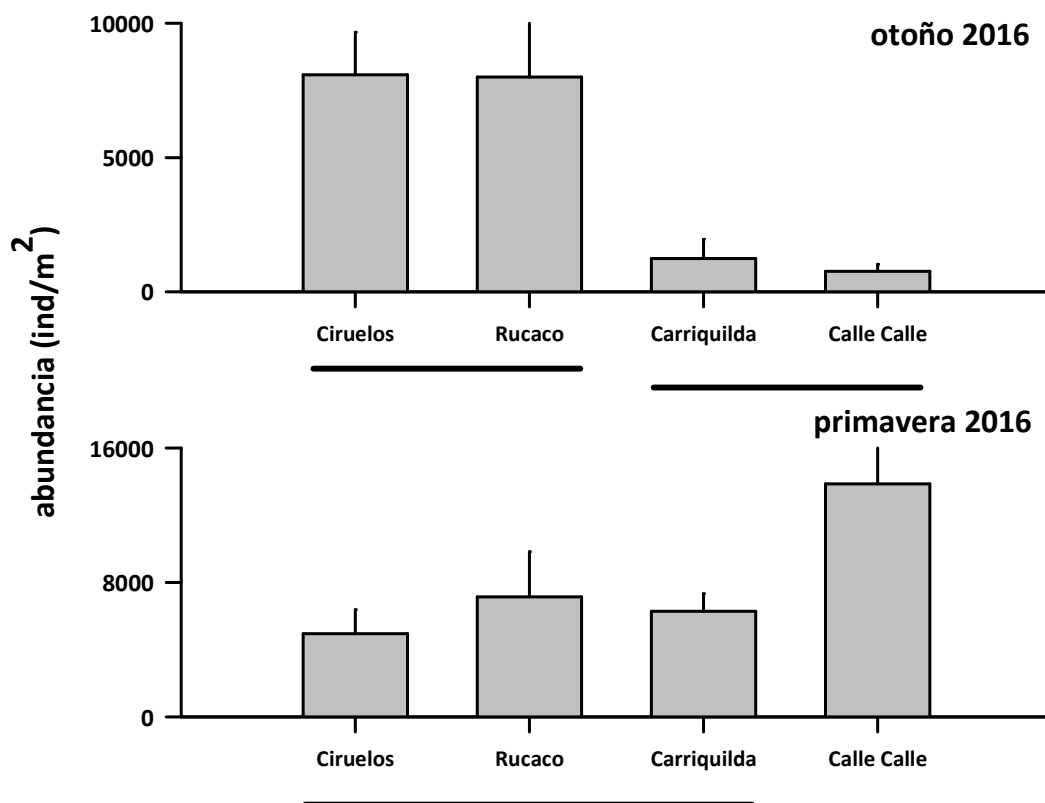


Figura 4.2.3.5. Abundancia total (ind/m²) promedio de invertebrados bentónicos en los fondos ritrales del área de estudio, durante las estaciones de otoño y primavera del año 2016. Las líneas unen promedios que no difieren significativamente entre sí ($p > 0,05$). Los valores corresponden al promedio de cuatro réplicas (tres para las estaciones del año 2014) con una desviación estándar.

La Figura 4.2.3.6 muestra la variabilidad en el tiempo de la abundancia total de la fauna de fondos ritrales en el área de estudio. Para los sectores Ciruelos (sitio 1) y Rucaco (sitio 2), los resultados obtenidos durante el año 2016 evidenciaron un alto incremento en la abundancia de estos organismos, encontrándose su valor más alto hasta la fecha durante la campaña de otoño (Figura 4.2.3.6). Por otra parte, para el sector Carriquilda (sitio 3), los valores más altos que se han registrado, han sido durante las campañas de primavera (2015 y 2016), encontrando si *peak* durante la última. Por último, en el sector río Calle Calle (sitio 4), durante la última campaña, de primavera del año 2016, se encontró la abundancia más alta encontrada durante todo el periodo y sitios de estudio. Más aun, en este sitio sólo había registrado abundancias alrededor de los 1000 ind/m².

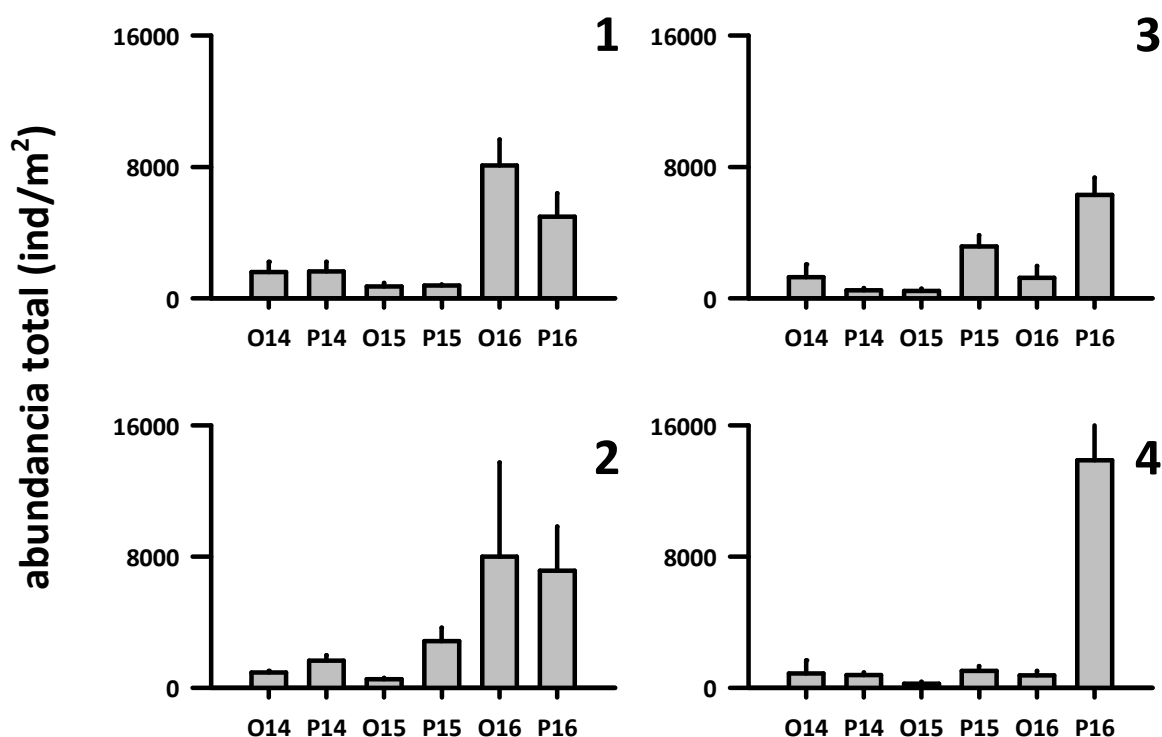


Figura 4.2.3.6. Abundancia total promedio de invertebrados bentónicos en los fondos ritrales del área de estudio, durante las estaciones de otoño (O) y primavera (P) de los años 2014, 2015 y 2016. 1 = Ciruelos, 2 = Rucaco, 3 = Carriquilda y 4 = Calle Calle. Los valores corresponden al promedio de cuatro réplicas (tres para el periodo de otoño 2014) con una desviación estándar.

Dominancia

Durante el año 2016, la especie más dominante que se registró, fue el insecto díptero *Eukieffiriella* sp. en Rucaco (otoño) con un 61% y en el sector Calle Calle (primavera) con un 47,9%. Las otras especies que se encontraron dominantes, pero en menores proporciones, fueron *Ancylidae*, *Simulium* sp. y *Tubifex* sp.

Mientras que en las campañas anteriores, las especies más dominantes que se registraron fueron *Eukieffiriella* sp. y *Corynoneura* sp. Ambas con porcentajes inferiores a los encontrados durante el último año del PM/HRC (Tabla 4.2.3.6).

Tabla 4.2.3.6 Frecuencia relativa de la abundancia de especies de invertebrados bentónicos dominantes en los fondos ritrales del área de estudio durante otoño y primavera de los años 2014, 2015 y 2016.

sitios	otoño 2014		primavera 2014	
	especie	proporción (%)	especie	proporción (%)
1 (sector Ciruelos)	<i>Smicridea annulucormis</i>	25,0	<i>Eukiefferiella</i> sp.	21,5
2 (sector Rucaco)	<i>Luchoelmis</i> sp.	17,9	<i>Eukiefferiella</i> sp.	14,5
3 (sector Carriquilda)	<i>Alluaudomya</i> sp.	28,1	<i>Eukiefferiella</i> sp.	22,6
4 (sector Calle Calle)	<i>Aegla abtao</i>	29,5	<i>Eukiefferiella</i> sp.	20,6

sitios	otoño 2015		primavera 2015	
	especie	proporción (%)	especie	proporción (%)
1 (sector Ciruelos)	<i>Eukiefferiella</i> sp.	22,1	<i>Tubifex</i> sp.	30,2
2 (sector Rucaco)	<i>Eukiefferiella</i> sp.	20,7	<i>Corynoneura</i> sp.	31,8
3 (sector Carriquilda)	<i>Corynoneura</i> sp.	20,0	<i>Atherix</i> sp.	16,9
4 (sector Calle Calle)	<i>Penaphlenia flavidula</i>	24,7	<i>Eukiefferiella</i> sp.	43,9

sitios	otoño 2016		primavera 2016	
	especie	proporción (%)	especie	proporción (%)
1 (sector Ciruelos)	<i>Smicridea annulucormis</i>	35,4	<i>Simulium</i> sp	23,4
2 (sector Rucaco)	<i>Eukiefferiella</i> sp	61,0	<i>Simulium</i> sp	27,1
3 (sector Carriquilda)	Ancylidae	40,2	<i>Eukiefferiella</i> sp	29,0
4 (sector Calle Calle)	<i>Tubifex</i>	24,0	<i>Eukiefferiella</i> sp	47,9

Diversidad

La Tabla 4.2.3.7 muestra la variabilidad en el tiempo del Índice de Diversidad de Shannon Wiener. Durante el año 2016, los valores más altos se detectaron durante la campaña de otoño, valores cercanos a 1. Mientras que en ambas campañas, el valor más bajo de diversidad se registró en el sector Calle Calle (0,82 y 0,53; respectivamente). Esto es similar a lo ocurrido en las campañas anteriores donde comúnmente este sector presentó los menores valores de diversidad. (Tabla 4.2.3.7).

Tabla 4.2.3.7. Índice de diversidad de Shannon de la macrofauna de invertebrados bentónicos que ocurren en los fondos ritrales del área de estudio durante las estaciones de otoño y primavera de los años 2014, 2015 y 2016. Los valores corresponden al promedio de cuatro réplicas (tres para ambos periodos del año 2014).

Sitios	diversidad de Shannon			
	otoño 2014	primavera 2014	otoño 2015	primavera 2015
1 (sector Ciruelos)	1,07 (0,04)	1,02 (0,02)	0,96 (0,05)	0,56 (0,12)
2 (sector Rucaco)	0,98 (0,02)	1,07 (0,01)	0,92 (0,07)	0,85 (0,03)
3 (sector Carriquilda)	0,94 (0,08)	0,84 (0,10)	0,95 (0,07)	0,93 (0,02)
4 (sector Calle Calle)	0,72 (0,34)	0,87 (0,12)	0,67 (0,09)	0,58 (0,07)
	otoño 2016	primavera 2016		
1 (sector Ciruelos)	1,05 (0,05)	0,78 (0,15)		
2 (sector Rucaco)	0,88 (0,10)	0,77 (0,03)		
3 (sector Carriquilda)	0,98 (0,10)	0,79 (0,06)		
4 (sector Calle Calle)	0,82 (0,06)	0,53 (0,05)		

Biomasa

La biomasa de la macrofauna durante la campaña de otoño del año 2016, varió entre 0,45 g/m² (río Cruces, sector Rucaco) y 4,55 g/m² (río Cruces, sector Ciruelos), los análisis de varianza indicaron que la biomasa de la macrofauna fue significativamente más alta ($p < 0,05$) en los sectores Ciruelos y Calle Calle (Tabla 4.2.3.8 y Figura 4.2.3.7). Mientras que durante la campaña de primavera, esta varió entre 1,14 g/m² (río Cruces, sector Carriquilda) y 2,47 g/m² (río Cruces, sector Rucaco), sin embargo, los análisis de varianza no mostraron diferencias significativas entre sitios ($p > 0,05$) entre los cuatro sitios durante este periodo de monitoreo (Fig. 4.2.3.7).

Durante otoño del año 2015, varió entre 0,18 (sector Calle Calle) y 0,31 (sector Ciruelos) mientras que durante la primavera, esta varió entre 2,58 g/m² (sector Ciruelos) y 4,49 g/m² (sector Rucaco). Los análisis de varianza para comparar la biomasa de la macrofauna entre las estaciones, resultaron en que no hubo diferencias entre los sitios durante ambas campañas del año 2015 (Tabla 4.2.3.8).

Tabla 4.2.3.8. Biomasa total de la macrofauna de invertebrados bentónicos que ocurren en los fondos ritrales del área de estudio durante las estaciones de otoño y primavera de los años 2014, 2015 y 2016. Los valores corresponden al promedio de cuatro réplicas (tres para ambos periodos del año 2014).

Sitios	biomasa (g/m ²)			
	otoño 2014	primavera 2014	otoño 2015	primavera 2015
1 (sector Ciruelos)	2,26 (2,18)	0,71 (0,49)	0,31 (0,19)	2,58 (1,34)
2 (sector Rucaco)	0,61 (0,40)	0,54 (0,09)	0,22 (0,19)	4,49 (1,03)
3 (sector Carriquilda)	8,95 (3,55)	0,10 (0,06)	0,22 (0,25)	3,43 (1,21)
4 (sector Calle Calle)	8,11 (4,22)	0,31 (0,13)	0,18 (0,09)	2,74 (1,38)
	otoño 2016	primavera 2016		
1 (sector Ciruelos)	4,55 (2,28)	2,17 (1,32)		
2 (sector Rucaco)	0,45 (0,12)	2,47 (1,28)		
3 (sector Carriquilda)	1,08 (0,28)	1,14 (0,37)		
4 (sector Calle Calle)	3,76 (1,26)	2,41 (0,39)		

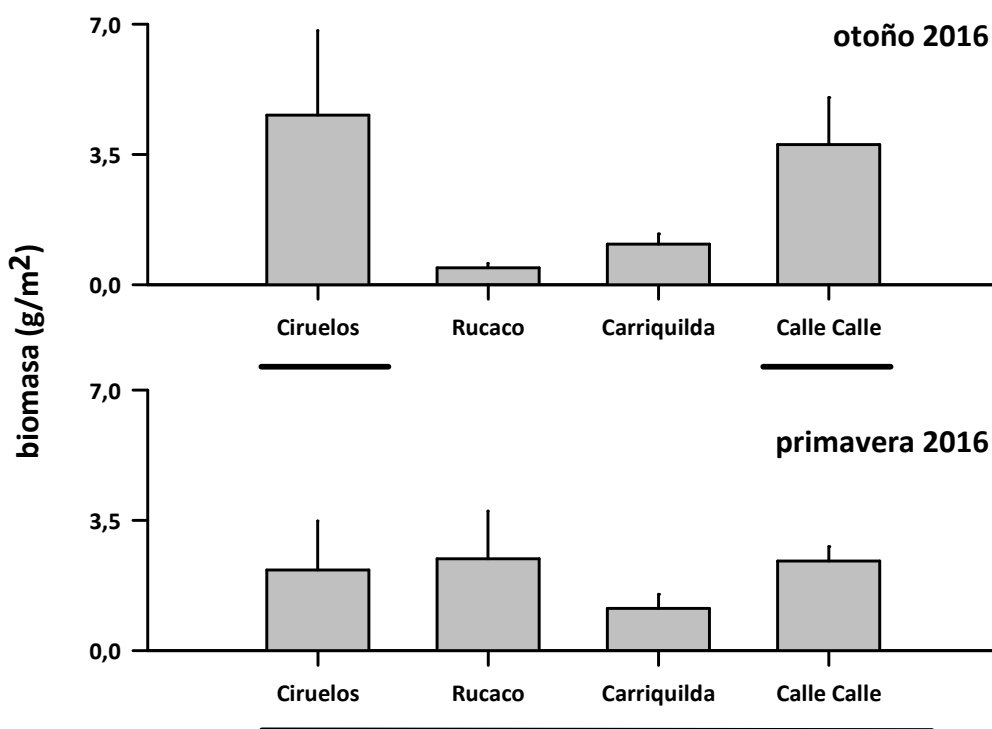


Figura 4.2.3.7. Biomasa (g/m^2) promedio de invertebrados bentónicos en los fondos ritrales del área de estudio, durante las estaciones de otoño y primavera del año 2016. Las líneas unen promedios que no difieren significativamente entre sí ($p > 0,05$). Los valores corresponden al promedio de cuatro réplicas (tres para las estaciones del año 2014) con una desviación estándar.

La Figura 4.2.3.8 muestra la variabilidad en el tiempo de la biomasa total de la macrofauna. Para el sector Ciruelos (sitio 1), la biomasa más alta de la macrofauna se registró durante otoño del 2016. Mientras que en el sector Rucaco (sitio 2), la biomasa más alta se ha registrado en la campaña de primavera de los años 2015 y 2016. En los sectores Carriquilda y Calle Calle en cambio, la biomasa más alta que se ha registrado fue en la primera campaña de otoño en el año 2014 (durante el Programa de Diagnóstico Ambiental del HRC 2014-2015) (Tabla 4.2.3.8 y Fig. 4.2.3.8).

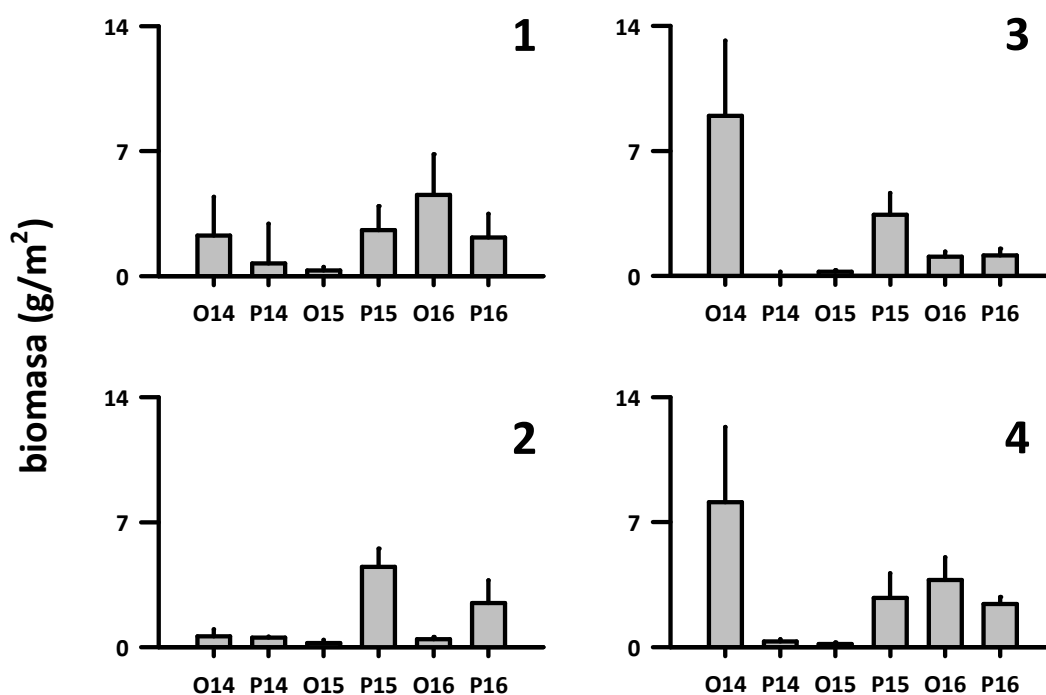


Figura 4.2.3.8. Biomasa promedio de invertebrados bentónicos en los fondos ritrales del área de estudio, durante las estaciones de otoño (O) y primavera (P) de los años 2014, 2015 y 2016. 1 = Ciruelos, 2 = Rucaco, 3 = Carriquilda y 4 = Calle Calle. Los valores corresponden al promedio de cuatro réplicas (tres para las estaciones del año 2014) con una desviación estándar.

Organismos bentónicos de fondos ritrales y calidad del agua

De acuerdo a los valores del Índice de Hilsenhoff, la calidad del ambiente acuático en cuanto a carga orgánica en el agua del área de estudio y durante el año 2016, presentó valores de calidad que fluctuaron entre Regulares y Muy Buenos en los cuatro sectores monitoreados (Tabla 4.2.3.9).

Durante otoño del año 2016, los sitios 1, 2 y 3 (sectores Ciruelos, Rucaco y Carriquilda) presentaron calidad de agua Buena, según la carga orgánica, mientras que en el sector río Calle Calle, se registró el agua dentro de la categoría Regular. Mientras que durante la campaña de primavera del año 2016, todos los sitios subieron una categoría con respecto a su estado anterior, los primeros tres sectores presentaron agua dentro de

la categoría Muy buena, mientras que el sector Calle Calle, se presentó dentro de la categoría Buena, según la carga orgánica. (Tabla 4.2.3.9).

Tabla 4.2.3.9. Valores del Índice Biótico de Hilsenhoff para el área de estudio, durante las estaciones de otoño y primavera de los años 2014, 2015 y 2016.

Sitio	RBP III		RBP III		RBP III		RBP III	
	otoño 2014		primavera 2014		otoño 2015		primavera 2015	
1 (sector Ciruelos)	4,50	Muy Bueno	4,30	Muy Bueno	4,86	Bueno	6,23	Regular
2 (sector Rucaco)	4,91	Bueno	4,21	Muy Bueno	4,54	Bueno	4,27	Muy Bueno
3 (sector Carriquilda)	5,32	Bueno	4,21	Muy Bueno	4,71	Bueno	4,13	Muy Bueno
4 (sector Calle Calle)	4,22	Muy Bueno	4,09	Muy Bueno	4,56	Bueno	4,06	Muy Bueno
	otoño 2016		primavera 2016					
1 (sector Ciruelos)	4,79	Bueno	4,36	Muy Bueno				
2 (sector Rucaco)	4,62	Bueno	4,23	Muy Bueno				
3 (sector Carriquilda)	5,14	Bueno	4,07	Muy Bueno				
4 (sector Calle Calle)	5,77	Regular	4,81	Bueno				

Análisis de ordenamiento

Los resultados de los análisis de EMDNM realizados para evaluar la eventual similitud faunística entre los cuatro sitios estudiados durante el otoño y la primavera del año 2016, se muestran en la Figura 4.2.3.9. Los valores de stress (0,07 y 0,06), indican un grado de asociación de muestras bastante apropiado. Durante ambas campañas se observan tres grupos, de similar forma, pero aún más definidos que en campañas anteriores, ordenándose estos grupos geográficamente. Los sectores de Ciruelos y Rucaco (sitios 1 y 2 respectivamente) forman un grupo, mientras que las de los sectores Carriquilda (sitio 3) y Calle Calle (sitio 4) forman grupos separados.

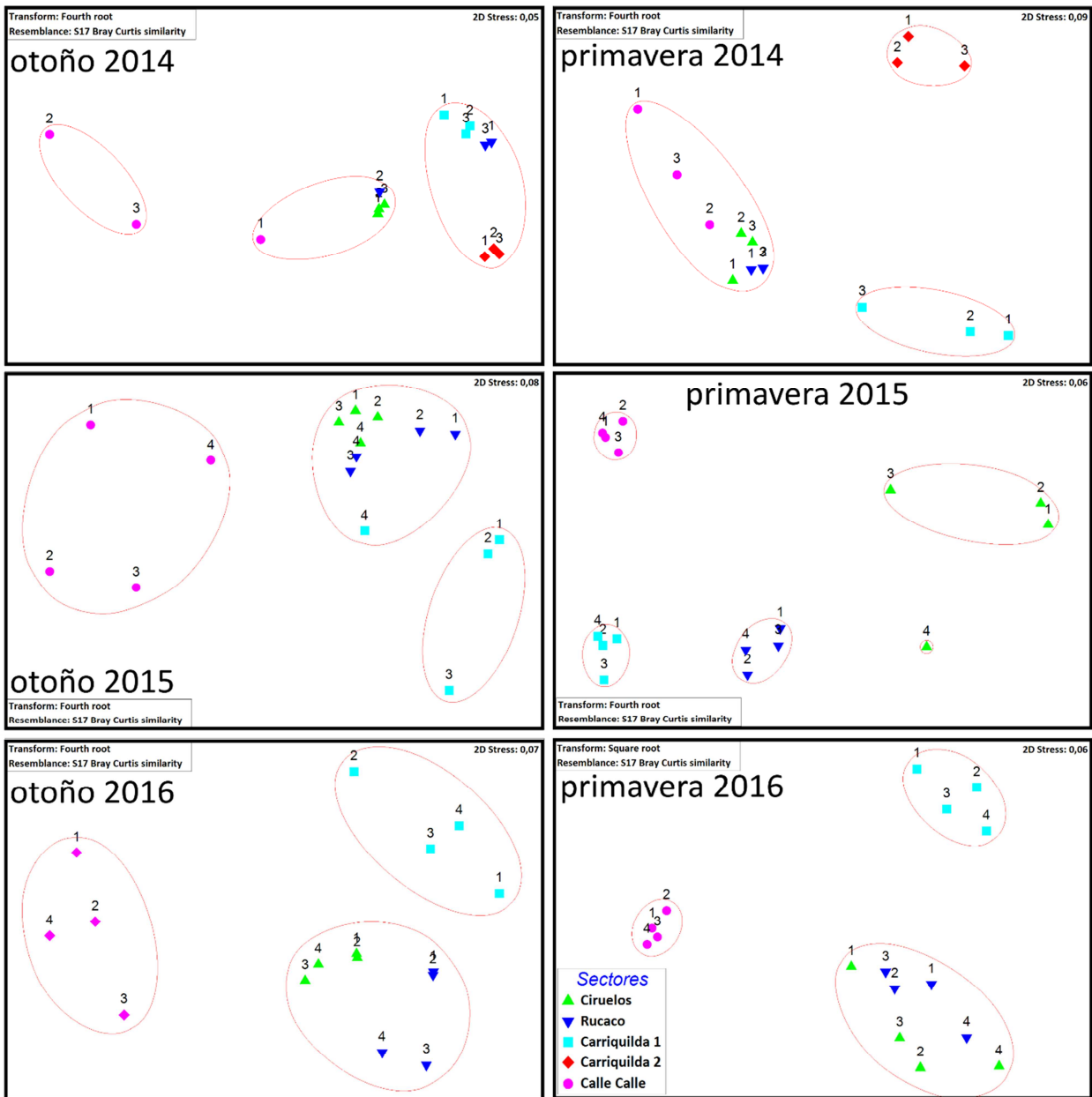


Figura 4.2.3.9. Representación gráfica del escalamiento multidimensional no métrico (EMDNM) basado en la abundancia de los organismos de la macroinfauna bentónica presentes en los sedimentos de los sitios muestreados durante las estaciones de otoño y primavera de los años 2014, 2015 y 2016. Análisis basado en una matriz de similitud construida a partir del índice de Bray Curtis. El sector Carriquilda 2 (rombo color rojo), sólo fue analizado durante el PD/HRC 2014-2015.

4.2.3.5. Conclusiones

- Durante el otoño y primavera del año 2016, la riqueza de especies de macrofauna de invertebrados bentónicos de fondos ritrales del río Cruces, fue significativamente más alta en los sectores de Ciruelos y Carriquilda que la encontrada en el sector de Calle Calle. Además se ha observado que por lo general la riqueza de especies tiende a ser más alta durante las campañas de primavera.
- La abundancia de estas especies de macrofauna durante la campaña de otoño del año 2016 fue significativamente más alta en los Ciruelos y Rucaco. Mientras que en la campaña de primavera, los valores más altos se registraron en el sector ubicado fuera del HRC (sector río Calle Calle). Durante el año 2016, se han registrado las abundancias más altas de esta macrofauna en todos los sitios estudiados.
- La diversidad de la macrofauna bentónica (*i.e.*, relación entre número de especies y número de individuos), fue considerablemente más baja en el sector Calle Calle en ambas campañas realizadas durante el año 2016, en comparación con los sitios ubicados dentro del HRC. Y los valores obtenidos durante la campaña de primavera del 2016 son bajos en comparación con muestreos anteriores.
- La diversidad taxonómica encontrada durante el año 2016 (23 especies), fue más baja que la encontrada durante el año 2015 (29 especies) y que la encontrada durante el Programa de Diagnóstico Ambiental del HRC 2014-2015 (33 especies).
- La biomasa resultante de la macrofauna de los sitios Ciruelos y Calle Calle fue significativamente más alta que en los otros sitios durante la campaña de otoño del 2016. Mientras que en la campaña de primavera no se presentó diferencias significativas entre los cuatro sitios estudiados.
- El análisis de ordenamiento multidimensional, indica que la fauna de las estaciones de muestreo tienen relación con su lugar geográfico, ya que las estaciones más cercanas, se encontraron más agrupadas, lo cual se observa en ambos periodos del último año, y se ha observado de igual manera en las campañas anteriores.

- Los valores del Índice Biótico muestran, para el periodo de otoño 2016, que toda el área estudiada (exceptuando río Calle Calle con calidad Regular) posee buena calidad de agua en cuanto a carga orgánica se refiere. Mientras que en primavera del 2016, todos los sitios estudiados, presentaron un índice de calidad Muy Bueno (exceptuando río Calle Calle con un índice de calidad Buena).

4.2.3.6. Referencias

- Barbour, M. T., J. Gerritsen, B. D. Snyder, and J. B. Stribling. 1999. Rapid bioassessment protocols for use in streams and Wadeable rivers. EPA 841-B-99-002. US Environmental Protection Agency; Office of water, Washington DC.
- Brower, J.E., and J.H. Zar. 1977. Field laboratory methods for general ecology. William C. Brown Company Publishers. Dubuque, Iowa, USA. 192 pp.
- Figueroa, R., A. Palma, V. Ruiz, y X. Niell. 2007. Análisis comparativo de índices bióticos utilizados en la evaluación de la calidad de las aguas en un río mediterráneo de Chile: río Chillán, VIII Región. Revista Chilena de Historia Natural, 80: 225-242.
- Hilsenhoff, W. L. 1988. Rapid field assessment of organic pollution with a family-level biotic index. Journal of the North American Benthological Society 7: 65-68.
- Klemm, D. J. 1990. Macroinvertebrate field and laboratory methods for evaluating the biological integrity of surface waters. US Environmental Protecting Agency. EPA/600/4-90/030.Xii. 256 pp.
- Kruskal, W. H., and W. A. Wallis. 1952. Use of ranks in one-criterion variance analysis. Journal of the American statistical Association 47: 583-621.
- Kruskal, J. B. 1964. Nonmetric multidimensional scaling: A numerical method. Psychometrika 29: 115-129 .
- Mandaville, S. M. 2002. Benthic macroinvertebrate in freshwaters- taxa tolerance values, metrics, and protocols. (Proyect H-1) Soil & Water Conservation Society of Metro Halifax, Canada.
- Medina, G. 1997. A comparison of the diet and distribution of southern river otter (*Lutra provocax*) and mink (*Mustela vison*) in southern Chile. Journal of Zoology 242: 291-297.
- Medina, G. 1998. Seasonal variations and changes in the diet of southern river otter in different freshwater habitats in Chile. Acta Theriologica 43: 285-292.

Plafkin, J. L., M. T. Barbour, K.D. Porter, S. K. Gross, and R. M. Hughes. 1989. Rapid bioassessment protocols for use in streams and rivers: benthic macroinvertebrates and fish. In Rapid bioassessment protocols for use in streams and rivers: Benthic macroinvertebrates and fish. U.S. Environmental Protection Agency. EPA 440/4-89/001. 8 Chapters, Appendices A-D.

Sokal, R. R., and F. J. Rohlf. 1995. Biometry the principles and practice of statistics in biological research. Second edition. W.H. Freeman. New York, USA. 859 pp.

UACH. 2014-2015. Programa de Diagnóstico Ambiental del Humedal del Río Cruces y sus Ríos Tributarios. (Convenio UACH-Celulosa Arauco).

4.2.4. FAUNA DE CAMARONES

4.2.4.1. Antecedentes

En las aguas continentales de Chile habitan seis especies de la familia Parastacidae (Crustacea, Decapoda): *Samastacus spinifrons*, *Parastacus nicoleti*, *Parastacus pugnax*, *Virilastacus araucanius*, *Virilastacus rucapihuelensis* y *Virilastacus retamali*; con excepción de la primera especie, todos estos camarones son especies endémicas cuya distribución geográfica en conjunto se encuentra entre el río Aconcagua por el norte y la península de Taitao por el sur (Rudolph, 2010). Del conjunto de especies arriba mencionadas, *S. spinifrons* o Camarón de río y *P. nicoleti* o Camarón de vega, han sido mencionadas como crustáceos comunes en el humedal del río Cruces (<http://www.ceachile.cl/Cruces/Fauna.htm>).

Si bien escasos, hay estudios que muestran que algunas de las especies de camarones anteriormente mencionadas, tienen un rol relevante en la estructura de las tramas tróficas en los cuerpos acuáticos donde ocurren. Por ejemplo, *S. spinifrons* es parte de la dieta de depredadores como peces salmonídeos, anfibios (*Caudiverbera caudiverbera*, Rana chilena) (Rudolph, 1984), aves acuáticas (*Casmerodius albus*, Garza grande) (Figueroa & Corales, 1997) y Huairavo (*Nycticorax nycticorax*) (Corales & Figueroa, 1999) y mamíferos acuáticos (*Lontra provocax*, Huillín; *Mustela vison*, Visón) (Medina, 1997, Franco *et al.*, 2013).

El estudio de Medina (1997) da cuenta de la importancia de los camarones para la dieta de esos depredadores; *i.e.*, el 79 y 48% de las dietas tróficas del Huillín - especie icónica del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios - y del Visón (especie invasora) respectivamente, están constituidas por crustáceos, primariamente *Samastacus spinifrons* y *Aegla* sp. Similarmente, Franco *et al.* (2013) encontraron que en 262 muestras de fecas de Huillín recolectadas durante distintas estaciones del año, la aparición de restos de *S. spinifrons* fue del 86% aproximadamente. Aun cuando no existe información sobre los depredadores de *P. nicoleti*, se puede presumir que los depredadores que consumen *P.*

pugnax también lo hacen sobre la primera, ya que ambas especies ocurren en microhábitats similares (*i.e.*, vegas con niveles freáticos de agua cercanos a la superficie del suelo). Dalannais (1984) ha mencionado que las garzas (no se menciona la especie) depredan sobre *P. pugnax* a la vez que Medina (1997) menciona a esta especie como parte importante de la dieta del Huillín.

Existen características relacionadas a la historia de vida de los parastácidos en general (*i.e.*, crecimiento lento, baja fecundidad, maduración sexual tardía y largos períodos de desarrollo embrionario y post embrionario temprano), que hacen de los camarones de aguas continentales, organismos particularmente sensibles a los cambios o intervenciones en el hábitat que viven (Rudolph, 2002, 2010). Debido a lo mismo y en conjunto a otras características de los mismos, como facilidad de captura y tamaños convenientes para ser manipulados y estudiados, hacen que estos crustáceos puedan ser utilizados como bioindicadores adecuados para evaluar cambios en el tiempo en la calidad de agua de cuerpos acuáticos continentales (Sharma *et al.*, 2006; Suárez-Serrano *et al.*, 2010). Por ejemplo, se ha encontrado que perturbaciones ambientales de origen antrópico en ríos, pueden provocar alteraciones en el crecimiento, tamaño, capacidad de reproducción y/o sobrevivencia de camarones (Webb, 2011).

Es en el contexto de lo anterior que se seleccionó a los camarones que habitan en el humedal del río Cruces y sus ríos tributarios, como parte del Programa de Monitoreo Ambiental de manera de comparar una serie de variables con los resultados del Programa de Diagnóstico Ambiental del humedal del río Cruces (HRC) y sus ríos tributarios.

4.2.4.2. Objetivos

- Analizar la abundancia y tamaños corporales del Camarón de río (*Samastacus spinifrons*) y del Camarón de vega (*Parastacus nicoleti*) en el área de estudio.
- Estudiar la proporción sexual de *S. spinifrons*.

- Estimar la abundancia del Camarón de vega en base a la presencia de ejemplares recolectados en sus habitáculos
- Analizar la concentración de metales pesados (Hierro, Aluminio, Manganeso, Cobre, Zinc, Plomo, Cadmio, Arsénico y Mercurio) en tejidos corporales del Camarón de río (*S. spinifrons*).
- Evaluar la concentración de compuestos orgánicos persistentes (Ácidos grasos, Ácidos resínicos y AOX) en tejidos corporales de *S. spinifrons*.
- Evaluar la concentración de Dioxinas y Furanos en tejidos corporales de *S. spinifrons*.
- Comparar los resultados obtenidos durante los dos primeros años del Programa de Monitoreo Ambiental del HRC y sus ríos tributarios (otoño y primavera 2015 y 2016, respectivamente) con los del Programa de Diagnóstico Ambiental del HRC (otoño y primavera 2014).

4.2.4.3. Materiales y métodos

Obtención de las muestras de *Samastacus spinifrons*

Durante los períodos abril & mayo y noviembre del 2015, y mayo & junio y octubre 2016, se procedieron a realizar muestreos tendientes a recolectar camarones de río (*Samastacus spinifrons*) correspondientes a las campañas de otoño y primavera del Programa de Monitoreo Ambiental del HRC.

Se realizaron muestreos en las siguientes cinco estaciones: Ciruelos, Rucaco y Punucapa en el eje central del río Cruces, río Pichoy (sector interior) y río Calle Calle (sector Chumpullo) (ver Fig. 4.2.4.1).

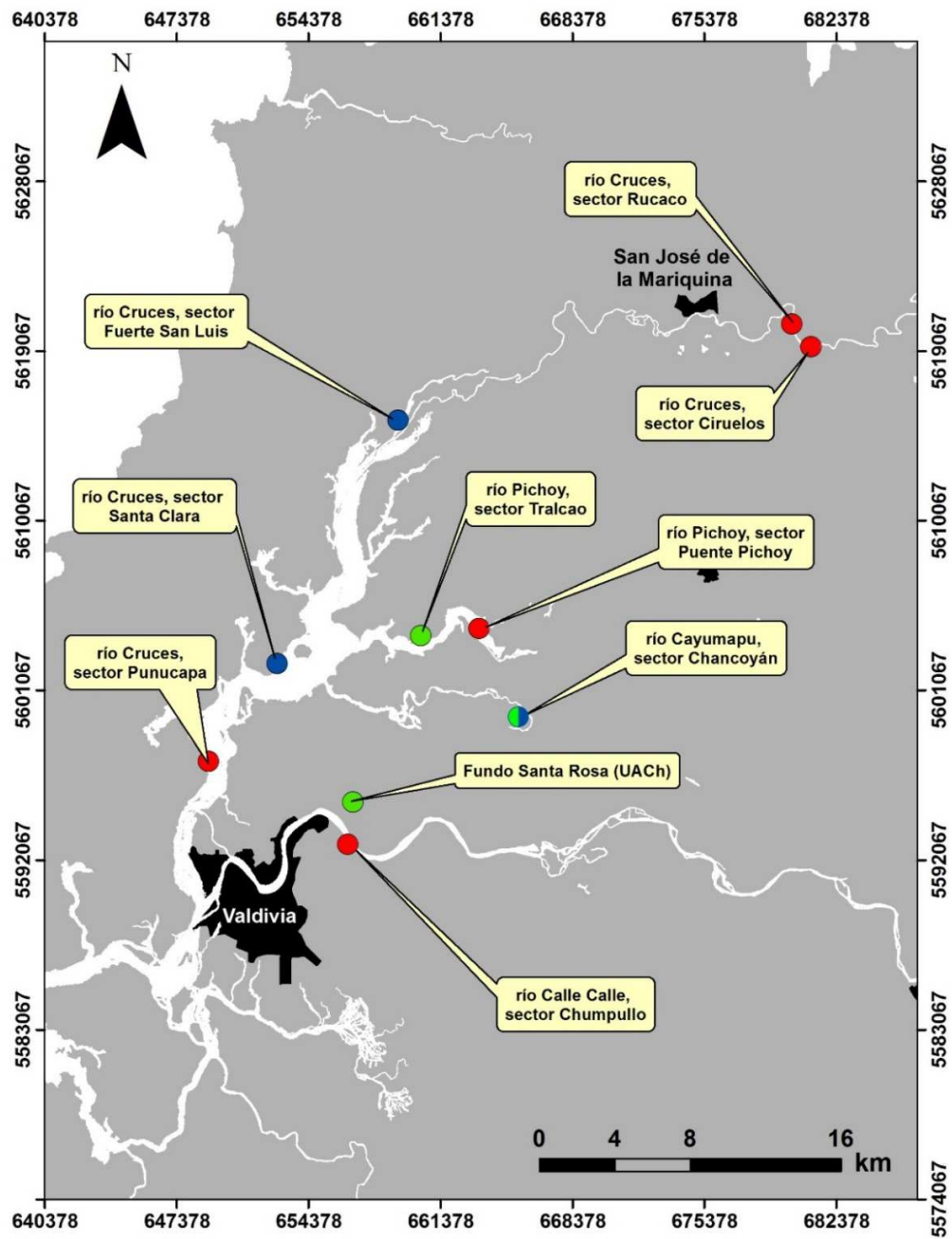


Figura 4.2.4.1. Ubicación de los sitios de muestreo del monitoreo estacional seleccionados para el estudio del Camarón de río *Samastacus spinifrons* (puntos rojos). Los círculos de otros colores indican los sitios donde se han recolectado especímenes del Camarón de vega *Parastacus nicoleti*: círculos verdes = año 2015, círculos azul = año 2016, círculos verde y azul = año 2015 en verde y año 2016 en azul.

Se utilizaron dos modalidades de muestreo; una enfocada a conocer la abundancia de este camarón en cada sitio y la otra destinada a capturar al menos veinte ejemplares para obtener una visión general de los tamaños y proporción sexual en cada uno de estos sitios. Para el primer caso se realizaron transectos de muestreo durante el día y a lo largo de cuatro secciones fijadas al inicio del monitoreo y aleatorias de aproximadamente 15 metros de extensión; el tiempo de trabajo en cada sección fue de aproximadamente 10 minutos. La captura de *S. spinifrons* se realizó con un equipo de pesca eléctrica EFKO-Elektrofischfanggeräte GMBH, Typ FEG 1500. Posterior a la realización de los cuatro transectos anteriormente mencionados, se procedió a iniciar la captura para la obtención de una muestra adicional para estudios de tamaños corporales y estado sexual de los camarones. La profundidad de captura no excedió el metro de profundidad; una vez capturados y recolectados, los camarones se guardaron en bolsas plásticas ziploc para el posterior recuento y medición del tamaño de cada individuo en el laboratorio.

Obtención de las muestras de *Parastacus nicoleti*

La captura de *Parastacus nicoleti* se realizó en junio, septiembre y noviembre del año 2015 en los siguientes sitios: río Pichoy (sector Tralcao), río Cayumapu (sector Chancoyán) y Fundo Santa Rosa (Fig. 4.2.4.1). Durante el año 2016 y debido a imposibilidad de realizar muestreos debido a la constatación de modificaciones paisajísticas en los sectores de Tralcao y Santa Rosa, se muestreó en dos nuevos sectores: San Luis y Santa Clara. Los muestreos se realizaron durante agosto y septiembre 2016 (Fig. 4.2.4.1).

Los especímenes fueron capturados con bombas de vacío parciales, construidas artesanalmente. Estas consisten de un tubo de PVC de 8 cm de diámetro y 70 cm de largo, en cuyo interior se desliza un embolo accionado manualmente por el extractor, que por medio de succión permite extraer los camarones de terrenos semi-pantanosos. Los hábitculos de *P. nicoleti* fueron examinados aleatoriamente, recolectándose todos los

especímenes que se encontraban en esos habitáculos. Los camarones recolectados se guardaron en bolsas plásticas ziploc rotulados por habitáculo.

Estimaciones de abundancia de *Samastacus spinifrons* y *Parastacus nicoleti*

La abundancia de *S. spinifrons* se estimó en base a unidad de esfuerzo, en la que en este estudio fue de aproximadamente 10 minutos por muestra o trabajo con sistema de pesca eléctrica. Los valores se expresan en promedio ± 1 desviación estándar. La abundancia relativa de la especie *P. nicoleti* se estimó en base al número de habitáculos ocupados en relación al número total de habitáculos examinados durante un tiempo aproximado de 1,5 horas de trabajo. Se estudió también la densidad de camarones por habitáculos ocupados.

Tallas corporales

Los valores de tamaño corporal (*i.e.*, longitud cefalotórax) se utilizaron para construir histogramas de clases de talla para cada sitio de muestreo (Fig. 4.2.4.2).

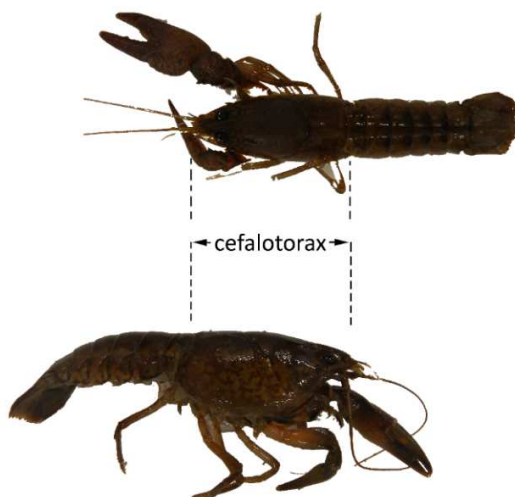


Figura 4.2.4.2. Mediciones de longitud realizadas en los especímenes de camarones recolectados en este estudio.

Proporción sexual de *Samastacus spinifrons*

Luego de ser medidos y pesados, los especímenes de *S. spinifrons* fueron sexados a través de la observación en lupa (10x) de los órganos sexuales (Rudolph, 2002), para así estimar proporción machos: hembras.

Análisis de metales pesados y compuestos orgánicos

Debido a la necesidad de contar con una biomasa adecuada para realizar los análisis químicos, se trabajó con ejemplares completos de camarones. Los ejemplares fueron lavados con abundante agua desionizada, se sonicaron para eliminar los restos de sedimento que pudieran haber quedado adheridos a los camarones y luego se secaron por liofilización y se pulverizaron. Las muestras así preparadas para análisis de metales pesados (*i.e.*, Hierro, Aluminio, Manganeso, Cobre, Zinc, Plomo, Cadmio, Arsénico y Mercurio) se atacaron mediante una digestión ácida en microondas y posteriormente se analizaron por Espectroscopía de Absorción Atómica de Llama. Debido a su baja concentración en esta matriz, el Plomo se analizó por ICP-MS y/o Espectroscopía de Absorción Atómica con horno de grafito.

Las muestras para análisis de AOX se analizaron mediante titulación microcoulombimétrica (Norma Europea EN ISO 9562 y EN 1485, respectivamente), luego de la adsorción de los compuestos halogenados en carbón activado y extracción con un solvente, respectivamente.

Las muestras para análisis de Dioxinas y Furanos fueron analizadas en el laboratorio Marschwood Scientific Service en Inglaterra, mediante Cromatografía Gaseosa de Alta Resolución-Espectrometría de Masa de Alta Resolución (HRGC-HRMS), de acuerdo al método EPA 1613.

4.2.4.4. Resultados

Abundancia de *Samastacus spinifrons*

La Tabla 4.2.4.1 y la Figura 4.2.4.3 muestran las abundancias del Camarón de río en los transectos ribereños, estudiados durante las campañas de los años 2014, 2015 y 2016. Durante el año 2014 se muestreó sobre tres transectos, número que aumentó a cuatro durante los años 2015 y 2016.

Durante la campaña de otoño del año 2014, se capturaron camarones en todos los sectores muestreados. Los valores más altos de abundancia se encontraron en el sector Rucaco (promedio = 10,7 individuos) y los valores más bajos en el río Calle Calle (promedio = 1,0 individuos), sector donde sólo se capturaron camarones en uno de los tres transectos analizados (Tabla 4.2.4.1 y Fig. 4.2.4.3).

Durante la primavera del año 2014, también se capturaron camarones en todos los sectores de estudio. Las mayores abundancias se presentaron en los sectores Punucapa y río Calle Calle (promedios = 9,0 y 8,7 individuos, respectivamente), a la vez que las abundancias más bajas de *S. spinifrons* se detectaron en el sector Rucaco (promedio = 4,7 individuos) (Tabla 4.2.4.1 y Fig. 4.2.4.3).

Durante la campaña de otoño del año 2015, no se capturaron ejemplares de camarones en los sectores Ciruelos y Rucaco (Tabla 4.2.4.1). Las abundancias promedio fueron menores a las campañas anteriores (promedios = 1,0 - 1,5 individuos), debido a que sólo se detectó la presencia de *S. spinifrons* en un sólo transecto de los cuatro analizados en los sectores Punucapa, Pichoy y Calle Calle (Tabla 4.2.4.1 y Fig. 4.2.4.3).

Durante la primavera del año 2015, se capturaron camarones en todos los sectores muestreados y con abundancias mayores a las de la campaña de otoño del mismo año. Los valores más altos en abundancia se presentaron en el sector Ciruelos (promedio = 5,5 individuos) y los valores más bajos en el sector de Rucaco (promedio = 0,5 individuos) (Tabla 4.2.4.1 y Fig. 4.2.4.3).

Durante la campaña de otoño del año 2016, no se capturaron ejemplares de camarones en el sector de Rucaco (Tabla 4.2.4.1). Los valores más altos de abundancias promedio se registraron en el río Calle Calle (13,0 individuos) (Tabla 4.2.4.1 y Fig. 4.2.4.3).

Durante la primavera del año 2016 y similar a lo observado durante la campaña otoñal del mismo año, no se capturaron camarones en el sector de Rucaco. En general, las abundancias promedio fueron menores que las registradas durante el otoño 2016; el valor promedio más alto de abundancia de *Samastacus spinifrons* se registró en el sector de Punucapa (promedio = 3,0) (Tabla 4.2.4.1 y Fig.4.2.4.3).

Tabla 4.2.4.1. Número de individuos de *Samastacus spinifrons* recolectados en cada transecto durante las campañas de otoño y primavera de los años 2014, 2015 y 2016. Se muestran valores promedio por estación con desviación estándar en paréntesis. Durante el año 2014 se realizaron sólo tres transectos.

Estaciones	campaña	abundancia				promedio
		1	2	3	4	
Eje central río Cruces (sector límnico)						
sector Ciruelos	otoño 2014	6	10	4	-	6,7 (3,1)
	primavera 2014	7	3	7	-	5,7 (2,3)
	otoño 2015	0	0	0	0	0,0 (0,0)
	primavera 2015	4	0	5	13	5,5 (5,4)
	otoño 2016	1	1	4	1	1,8 (1,5)
	primavera 2016	5	0	3	0	2,0 (2,4)
sector Rucaco	otoño 2014	14	8	10	-	10,7 (3,1)
	primavera 2014	2	8	4	-	4,7 (3,1)
	otoño 2015	0	0	0	0	0,0 (0,0)
	primavera 2015	0	0	0	2	0,5 (1,0)
	otoño 2016	0	0	0	0	0,0 (0,0)
	primavera 2016	0	0	0	0	0,0 (0,0)
Eje central del río Cruces (sector estuarial)						
sector Punucapa	otoño 2014	12	11	1	-	8,0 (6,1)
	primavera 2014	12	3	12	-	9,0 (5,5)
	otoño 2015	0	6	0	0	1,5 (3,0)

primavera 2015	0	4	8	7	4,8 (3,6)
otoño 2016	0	8	1	12	5,3 (5,7)
primavera 2016	0	0	2	10	3,0 (4,8)

Continuación Tabla 4.2.4.1.

Estaciones	campaña	abundancia				promedio
		1	2	3	4	
Río tributario del río Cruces						
sector río Pichoy	otoño 2014	9	12	7	-	9,3 (2,5)
	primavera 2014	4	8	6	-	6,0 (2,0)
	otoño 2015	0	0	0	4	1,0 (2,0)
	primavera 2015	2	2	0	0	1,0 (1,2)
	otoño 2016	1	1	0	6	2,0 (2,7)
	primavera 2016	0	3	3	2	2,0 (1,4)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos Tributarios						
río Calle Calle, sector Chumpullo	otoño 2014	0	0	3	-	1,0 (1,7)
	primavera 2014	9	13	4	-	8,7 (4,5)
	otoño 2015	0	0	5	0	1,3 (2,5)
	primavera 2015	0	1	0	6	1,8 (2,9)
	otoño 2016	6	2	23	21	13,0 (10,6)
	primavera 2016	0	0	0	6	1,5 (3,0)

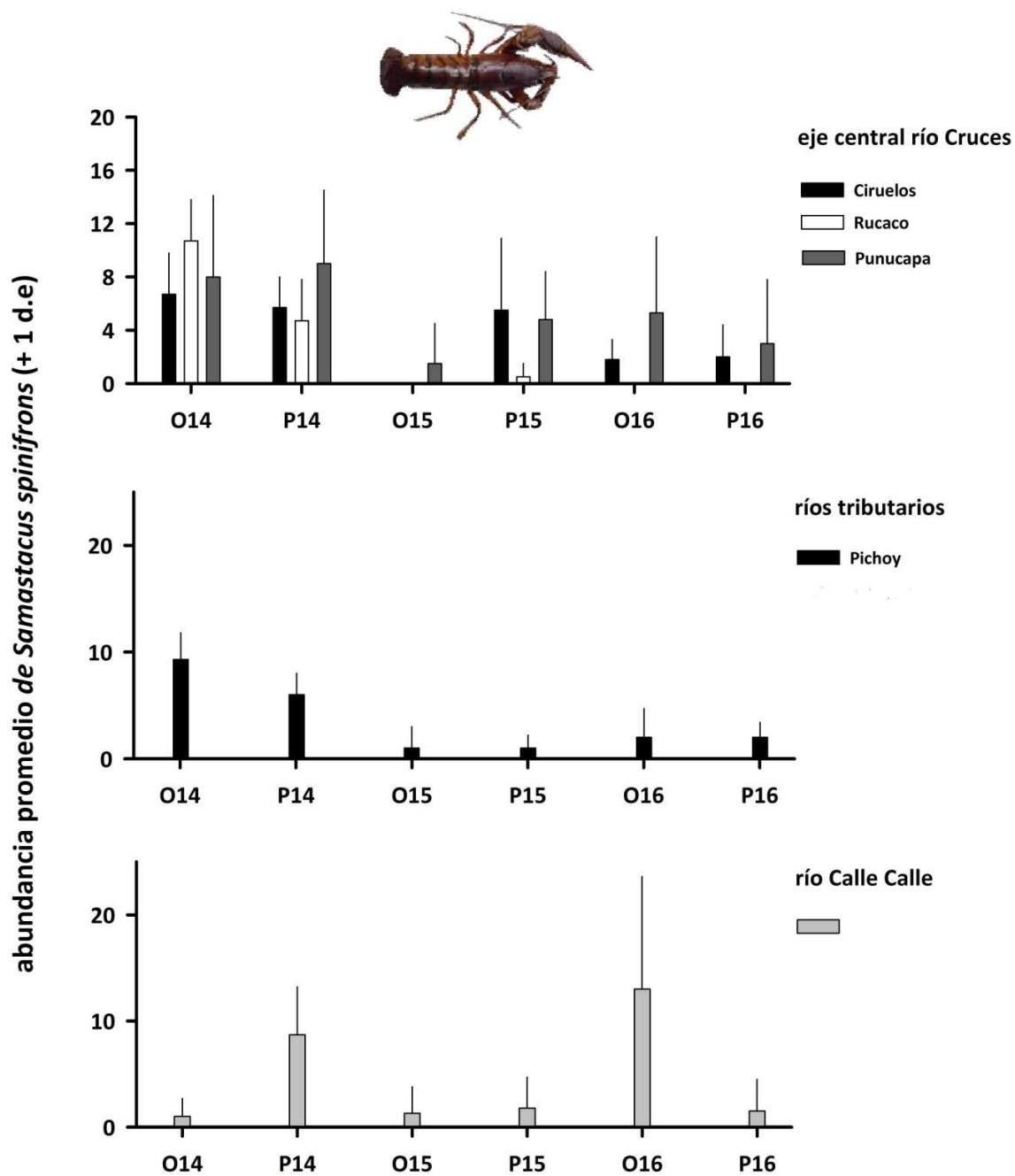


Figura 4.2.4.3. Abundancia promedio de *Samastacus spinifrons* recolectados en cada sitio durante las campañas de otoño y primavera de los años 2014, 2015 y 2016. Los errores que acompañan al promedio corresponden a una desviación estándar

Abundancia relativa de *Parastacus nicoleti*

Durante junio del año 2015, se encontraron camarones de vega en 10 de 18 habitáculos en Tralcao (55,5 %), en 7 de 11 madrigueras en Chancoyán (63,6%) y en 10 de 15 habitáculos en Santa Rosa (66,6%) (Fig. 4.2.4.4); es decir, las abundancias relativas más altas de *P. nicoleti* ocurrieron en Chancoyán y Santa Rosa.

Durante septiembre del año 2015, se recolectaron camarones de vega en 19 de 26 habitáculos en Tralcao (73,0%), en 14 de 15 madrigueras en Chancoyán (93,3%) y en 16 de 18 habitáculos en Santa Rosa (88,8%) (Fig. 4.2.4.4); *i.e.*, las abundancias relativas más altas se detectaron en Chancoyán.

Durante la campaña de noviembre del año 2015, se encontraron camarones de vega en 14 de 25 habitáculos en Tralcao (56,0 %), en 14 de 20 madrigueras en Chancoyán (70,0 %) y en 6 de 19 habitáculos en Santa Rosa (31,5 %) (Fig. 4.2.4.4); nuevamente, las abundancias relativas más altas ocurrieron en el sector de Chancoyán.

Durante agosto y septiembre del año 2016, se continuó muestreando en el sector de Chancoyán, agregándose los sectores Fuerte San Luis y Santa Clara.

Durante agosto 2016, se encontraron camarones de vega en 19 de 38 habitáculos en el sector San Luis (50,0%), en 20 de 30 madrigueras en Santa Clara (66,7%) y en 23 de 37 habitáculos en Chancoyán (62,2) (Fig. 4.2.4.4); es decir las mayores abundancias relativas se registraron en el sector de Santa Clara.

Durante septiembre 2016, se encontraron camarones de vega en 6 de 22 madrigueras en el sector San Luis (27,3%), en 17 de 23 habitáculos en sector Santa Clara (73,9%) y en 16 de 20 madrigueras en Chancoyán (80,0%) (Fig. 4.2.4.4); en esta campaña, las abundancias relativas más altas se registraron en el sector de Chancoyán al igual como en el año 2015.

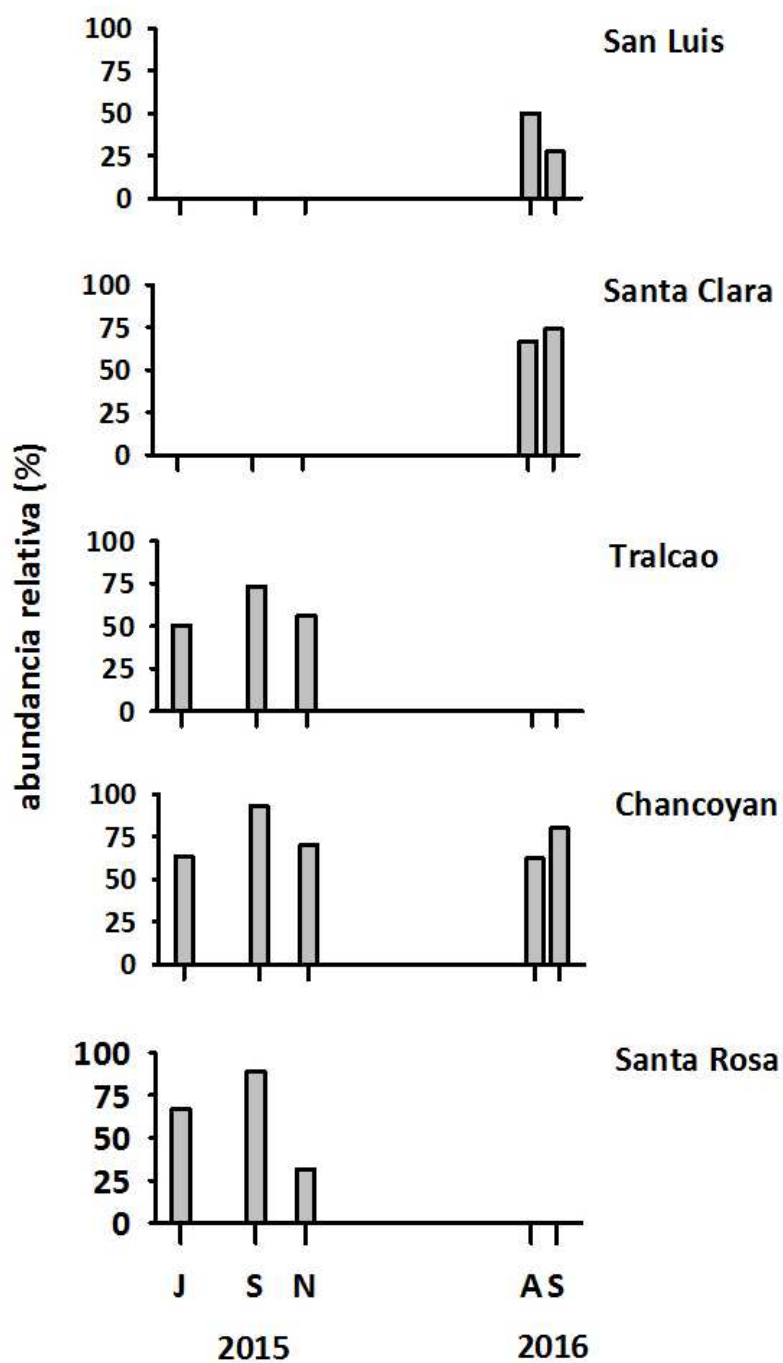


Figura 4.2.4.4. Abundancia relativa de la especie *P. nicoleti* en el área de estudio durante junio, septiembre y noviembre del año 2015 (J, S y N, respectivamente), agosto y septiembre del año 2016 (A y S, respectivamente). Los valores se refieren al número de habitáculos ocupados en relación al número total de habitáculos examinados expresado en porcentaje.

Número de especímenes de *Parastacus nicoleti* por habitáculo

Durante la campaña de junio del año 2015, la situación más frecuente fue ausencia de especímenes o un camarón por habitáculo (Fig. 4.2.4.5). Durante esta campaña, las ocupaciones más altas de camarones por madriguera se detectaron en el sector Santa Rosa (6 y 7 especímenes) (Fig. 4.2.4.5).

Durante septiembre del año 2015, la abundancia más frecuente en los tres sectores (Tralcao, Chancoyán y Santa Rosa), fue un camarón de vega por habitáculo; durante esta misma campaña, las mayores ocupaciones de camarones por habitáculo ocurrieron en Chancoyán y Santa Rosa (10 y 8 especímenes, respectivamente) (Fig. 4.2.4.5).

Durante la campaña de noviembre del año 2015, las situaciones más frecuentes fueron ausencia de camarones y presencia de un espécimen por habitáculo; las mayores ocupaciones ocurrieron en Tralcao y Santa Rosa (6 y 5 especímenes, respectivamente) (Fig. 4.2.4.5).

Durante las campañas de agosto y septiembre del año 2016, las situaciones más comunes fueron habitáculos vacíos u ocupados por 1 camarón de vega (Fig. 4.2.4.5). En el sector San Luis y durante ambas campañas, las situaciones más frecuentes fueron ausencia de camarones y un espécimen por habitáculo en la campaña de agosto 2016 (Fig. 4.2.4.5). El sector Santa Clara fue donde se detectaron las mayores ocupaciones de camarones por habitáculo (8 especímenes durante agosto 2016).

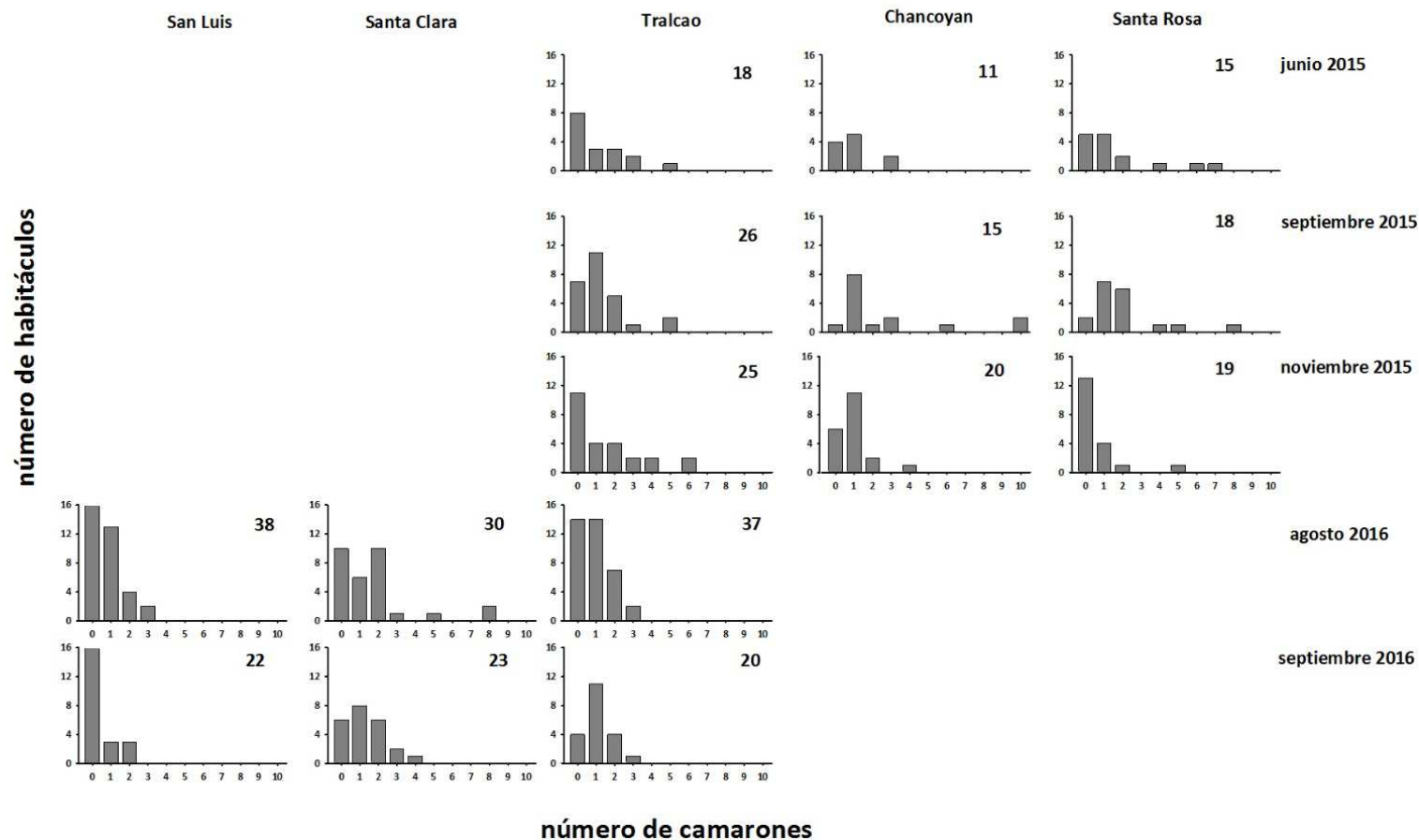


Figura 4.2.4.5. Número de individuos de *Parastacus Nicoleti* recolectados por habitáculo durante junio, septiembre y noviembre del año 2015 y agosto y septiembre del año 2016. Los ceros en el eje X de cada gráfico, indican ausencia de camarones en habitáculos. Los números a la derecha de cada gráfico indican el total de habitáculos examinados por sector.

Tallas corporales

Samastacus spinifrons

Durante la campaña de otoño 2014, el tamaño corporal de *S. spinifrons* a través del área de estudio varió entre 1,1 y 4,6 cm (Tabla 4.2.4.2); los animales más grandes (longitud cefalotorácica > 4 cm) se recolectaron en los ríos Pichoy y Calle Calle, siendo en este último donde se observó la mayor talla de cefalotórax (4,6 cm).

Para la campaña primaveral del año 2014, el tamaño corporal del camarón de río varió entre 0,8 y 5,1 cm (Tabla 4.2.4.2); los animales más grandes (longitud cefalotorácica > 4 cm) se recolectaron en el sector Pichoy.

Durante la campaña de otoño 2015, el tamaño corporal *S. spinifrons* varió entre 0,9 y 4,9 cm (Tabla 4.2.4.2); los animales más grandes (longitud cefalotorácica > 4 cm) fueron más abundantes en el sector río Calle Calle (Tabla 4.2.4.2 y Fig. 4.2.4.10). Los sectores Ciruelos (río Cruces) y Punucapa fueron los que presentaron los mayores porcentajes de individuos pequeños (longitud cefalotorácica < 2 cm) (Fig. 4.2.4.6 y 4.2.4.8).

Durante la campaña de la primavera 2015, el tamaño corporal de *S. spinifrons* varió entre 0,9 y 4,3 cm (Tabla 4.2.4.2). Los animales más grandes (longitud cefalotorácica > 4 cm) se recolectaron con mayor representación en los sectores río Pichoy (Tabla 4.2.4.2 y Fig. 4.2.4.9) y sector río Calle Calle (Tabla 4.2.4.2 y Fig. 4.2.4.10). Por otra parte, los ejemplares con tamaños corporales más bajos ocurrieron en mayor abundancia porcentual en el río Cruces, sector Ciruelos (Tabla 4.2.4.2 y Fig. 4.2.4.6) y río Calle Calle (Tabla 4.2.4.2 y Fig. 4.2.4.10).

Durante la campaña de otoño 2016, el tamaño corporal del camarón de río varió entre 0,5 y 5,0 cm (Tabla 4.2.4.2); los animales más grandes (longitud cefalotorácica > 4 cm) se recolectaron en mayor abundancia en los sectores Rucaco (Tabla 4.2.4.2 y

Fig.4.2.4.7) y Punucapa (Tabla 4.2.4.2 y Fig. 4.2.4.8). Los sectores Ciruelos (río Cruces) y río Calle Calle, fueron los sitios que presentaron mayor porcentaje de individuos pequeños (longitud cefalotorácica < 2 cm) (Fig. 4.2.4.6 y Fig. 4.2.4.10).

Durante la campaña de la primavera 2016, el bajo número de individuos capturados de *S. spinifrons* en el área de estudio no permitió realizar análisis de distribución de tallas corporales. El valor más alto registrado fue de 12 individuos en el sector de Punucapa, en tanto que en el sector de Rucaco no se capturaron camarones.

Tabla 4.2.4.2. Fecha de captura, número de camarones recolectados, media, moda y rangos de tallas corporales (valores en cm) de *Samastacus spinifrons*. Datos correspondientes a las campañas de otoño y primavera de los años 2014, 2015 y 2016. n= número de especímenes recolectados.

estaciones	campañas	N	media	moda	rango
Eje central río del río Cruces (sector límnico)					
sector Ciruelos	otoño 2014	68	2,2	2,5	1,2 - 3,0
	primavera 2014	69	2	1,9	0,8 - 3,4
	otoño 2015	104	1,8	1,5	0,9 - 3,7
	primavera 2015	54	2,2	1,7	1,1 - 3,6
	otoño 2016	91	2,0	1,4	1,1 - 3,9
	primavera 2016	8	1,9	1,6	1,6 - 3,1
sector Rucaco	otoño 2014	32	2,2	2,1	1,3 - 4,2
	primavera 2014	51	2,2	1,6	1,4 - 3,9
	otoño 2015	37	2,7	1,6	1,2 - 4,2
	primavera 2015	32	2,4	1,8	1,4 - 3,7
	otoño 2016	79	2,4	1,9	1,2 - 4,4
	primavera 2016	0	0	0	0 - 0
Eje central del río Cruces (sector estuarial)					
sector Punucapa	otoño 2014	26	2,2	1,5	1,1 - 3,7
	primavera 2014	119	2,1	1,7	0,8 - 5,1
	otoño 2015	34	1,9	1,5	1,1 - 3,3
	primavera 2015	33	2,5	3,0	1,6 - 4,0
	otoño 2016	46	2,4	1,4	1,2 - 5,0
	primavera 2016	12	2,5	1,6	1,6 - 4,0

Continuación **Tabla 4.2.4.2**

estaciones	campañas	N	media	moda	rango
Ríos tributarios del río Cruces					
sector río Pichoy	otoño 2014	63	2,7	2,5	1,2 - 4,3
	primavera 2014	50	2,5	2,7	0,8 - 3,6
	otoño 2015	21	2,7	2,6	1,2 - 4,2
	primavera 2015	34	2,5	2,6	0,9 - 4,3
	otoño 2016	34	2,3	1,5	1,1 - 4,1
	primavera 2016	8	2,7	-	1,2 - 4,4
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios					
río Calle Calle, sector Chumpullo	otoño 2014	27	2,9	3,1	1,2 - 4,6
	primavera 2014	65	2,2	1,7	1,1 - 3,9
	otoño 2015	22	3,5	2,9	1,8 - 4,9
	primavera 2015	41	2,1	1,8	1,0 - 4,3
	otoño 2016	196	1,9	1,4	0,5 - 4,5
	primavera 2016	6	1,9	-	1,0 - 2,4

río Cruces, sector Ciruelos

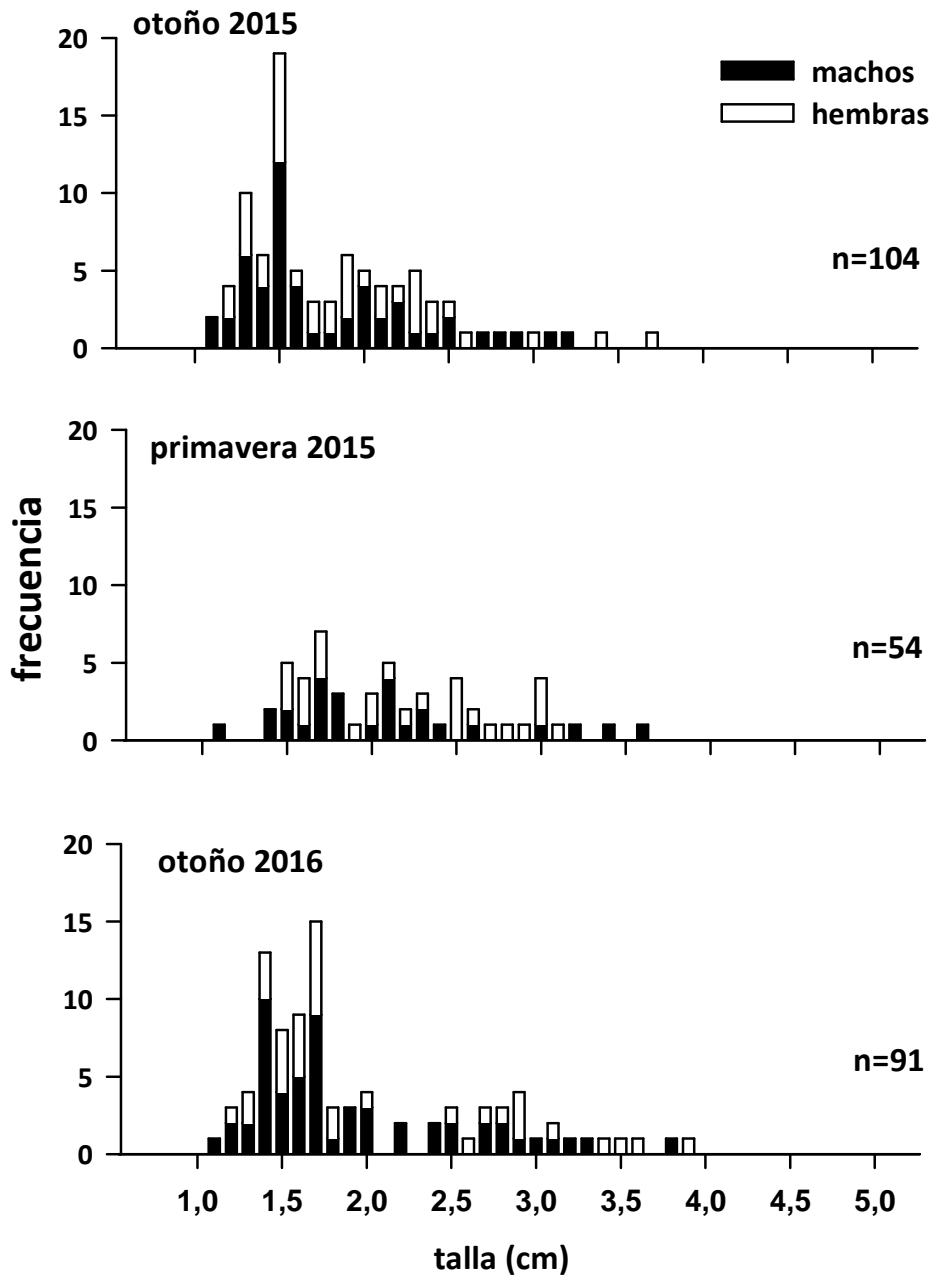


Figura 4.2.4.6. Distribución de tallas corporales de *Samastacus spinifrons* en el sector Ciruelos durante la campaña de otoño y primavera del año 2015 y otoño del año 2016.

río Cruces, sector Rucaco

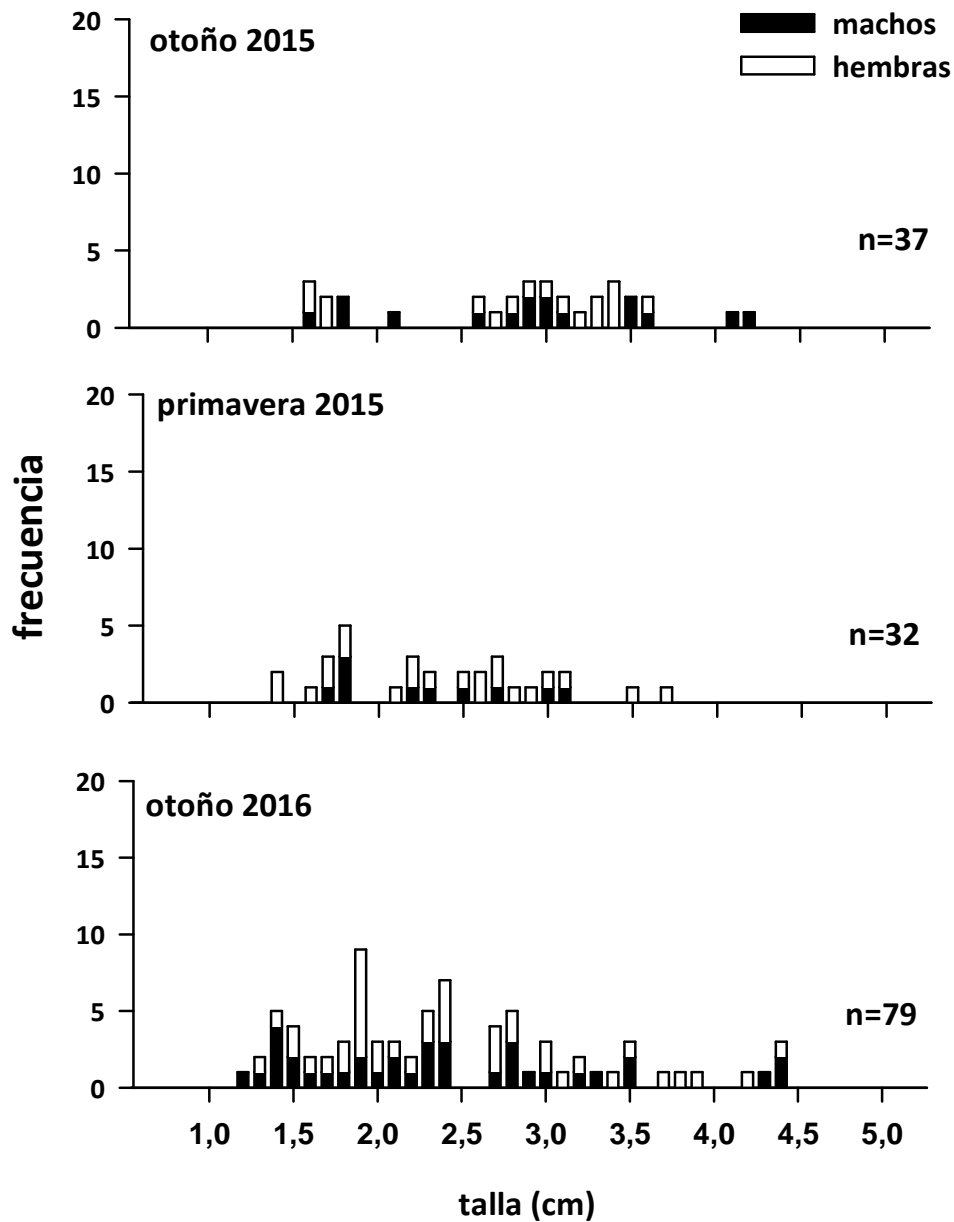


Figura 4.2.4.7. Distribución de tallas corporales de *Samastacus spinifrons* en el sector Rucaco durante la campaña de otoño y primavera del año 2015 y otoño del año 2016.

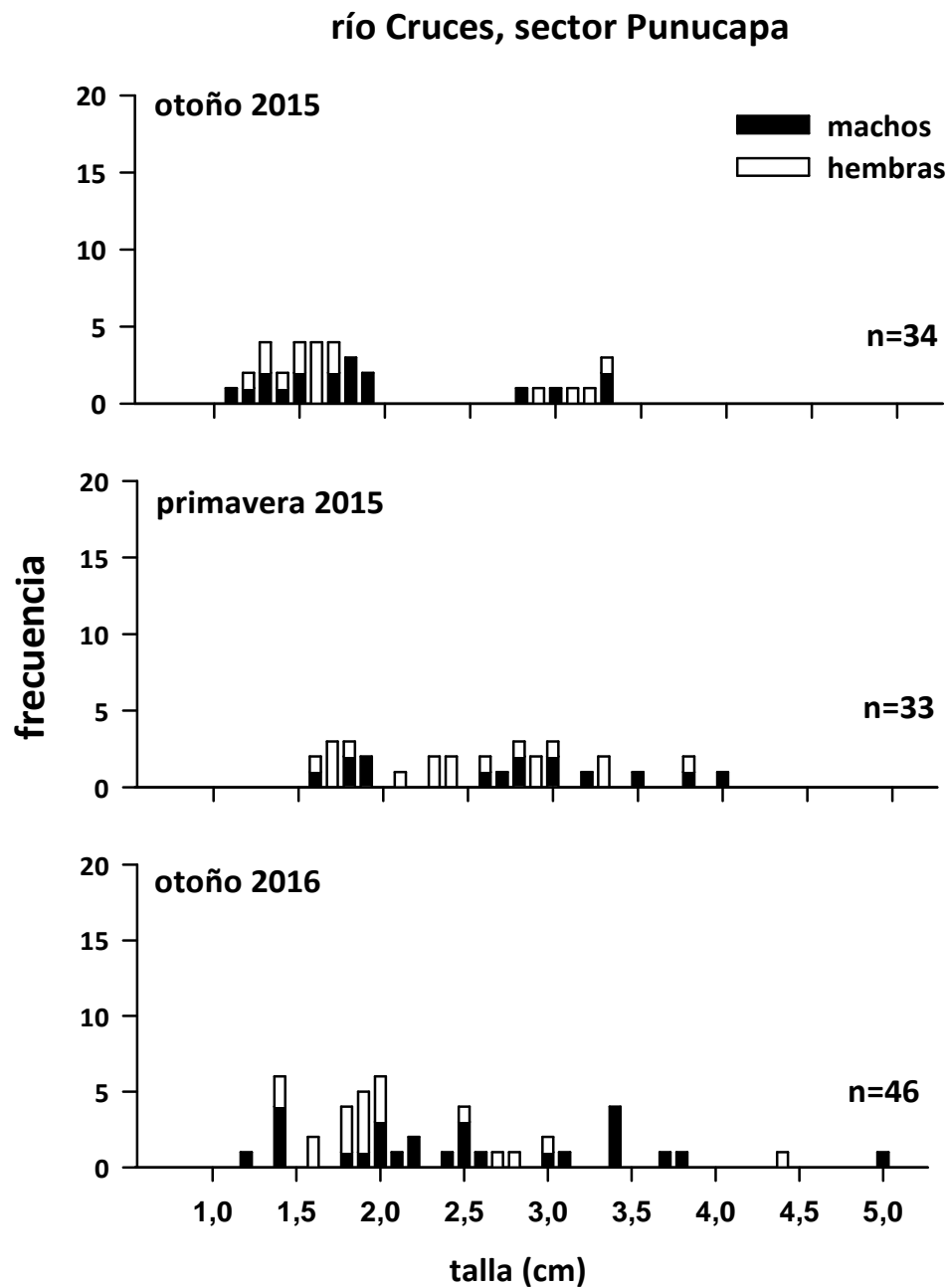


Figura 4.2.4.8. Distribución de tallas corporales de *Samastacus spinifrons* en el sector Punucapa durante la campaña de otoño y primavera del año 2015 y otoño del año 2016.

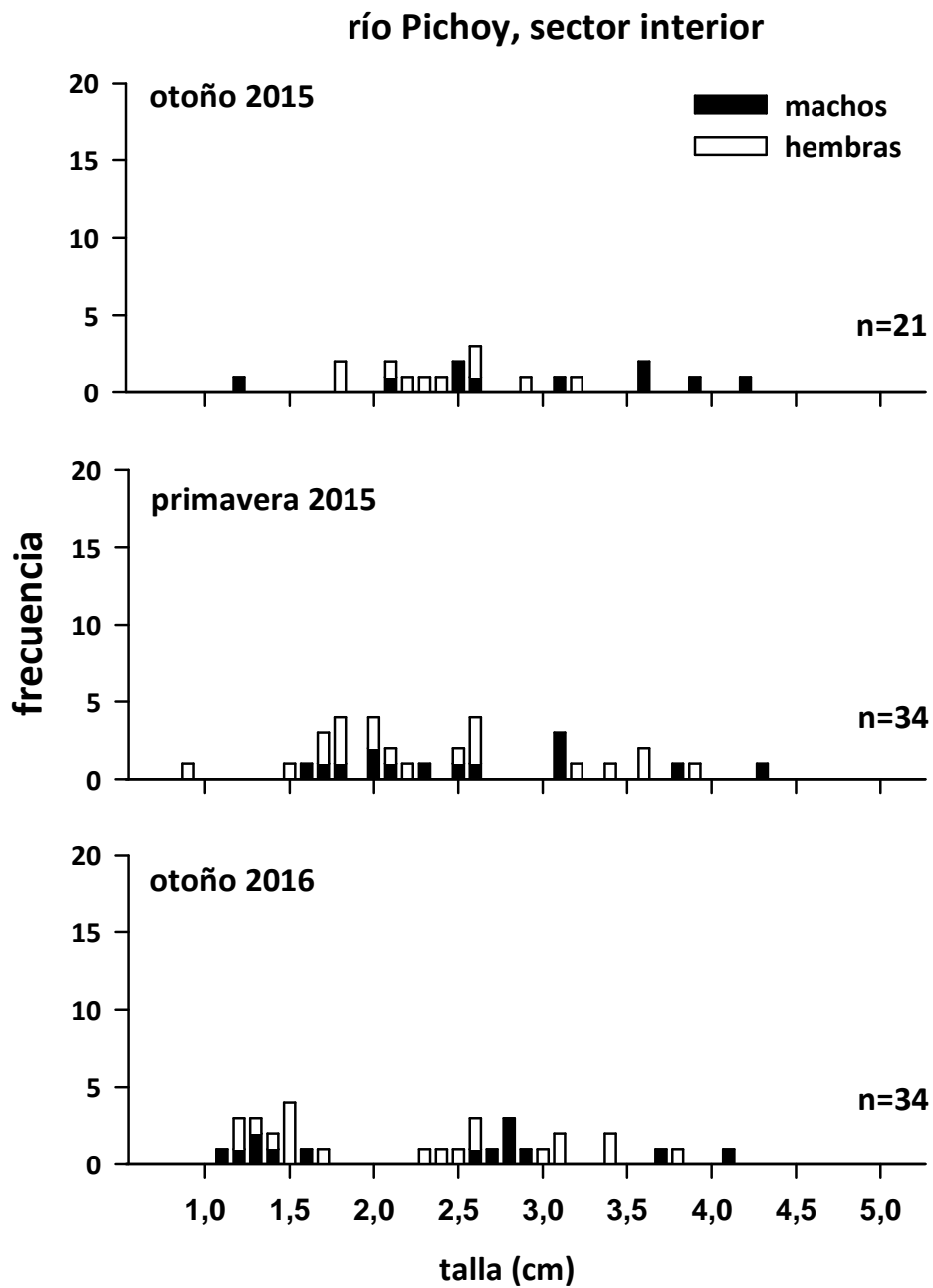


Figura 4.2.4.9. Distribución de tallas corporales de *Samastacus spinifrons* en el sector río Pichoy durante la campaña de otoño y primavera del año 2015 y otoño del año 2016.

río Calle Calle, sector Chumpullo

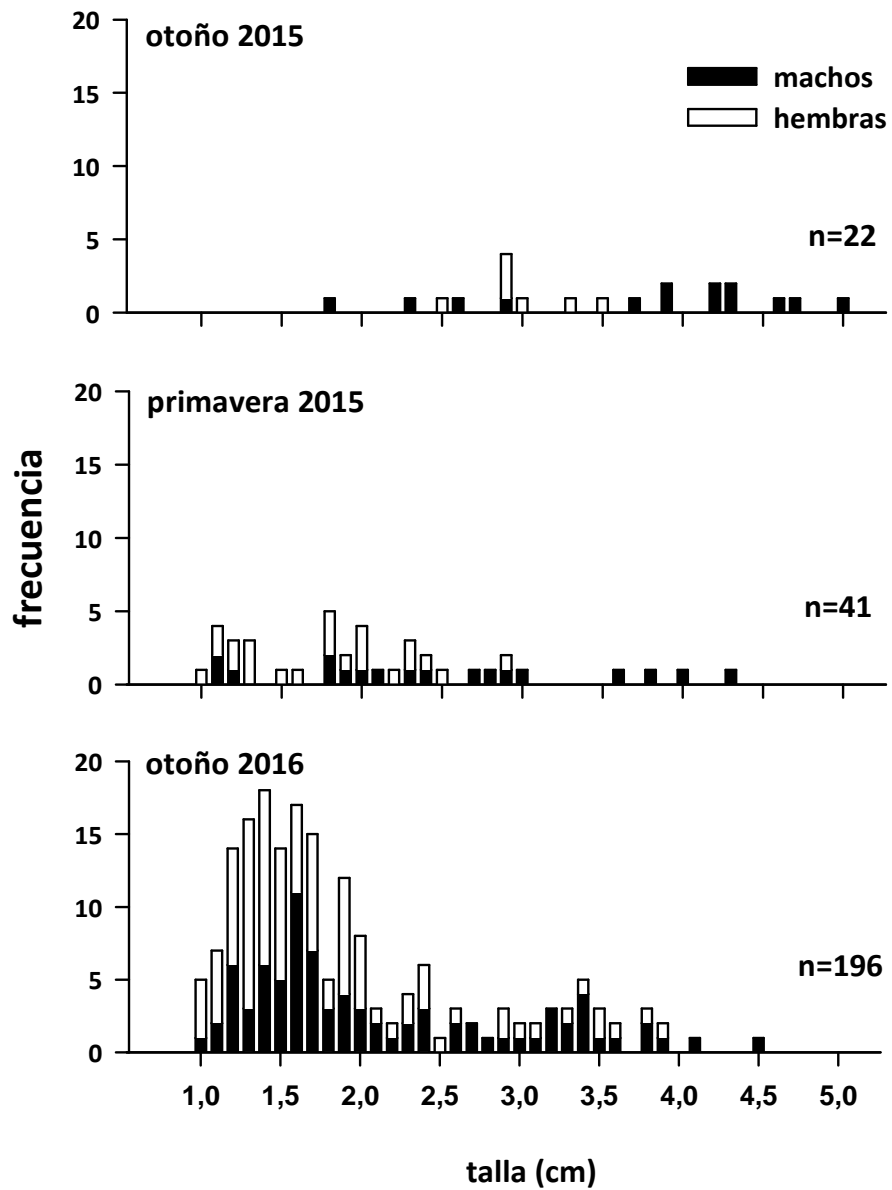


Figura 4.2.4.10. Distribución de tallas corporales de *Samastacus spinifrons* en el sector río Calle Calle durante la campaña de otoño y primavera del año 2015 y otoño del año 2016.

Parastacus nicoleti

Durante las campañas del año 2014, los camarones de Chancoyán fueron en general los de mayor tamaño, a la vez que durante el año 2015 los camarones de mayor tamaño ocurrieron primariamente en el sector Tralcao, río Pichoy (Tabla 4.2.4.3). Durante las campañas del año 2016, los camarones de los sectores San Luis y Chancoyán, fueron los que mostraron las tallas corporales más altas (Tabla 4.2.4.3).

Tabla 4.2.4.3. Fecha de captura, número de camarones recolectados, media, moda y rango de tallas corporales (valores en cm) de *Parastacus nicoleti* durante los años 2014, 2015 y 2016.

Estaciones	campañas	N	media	moda	rango
Eje central del río Cruces (sector estuarial)					
sector San Luis	otoño 2016	27	3,2	3,5	0,9 - 4,2
	primavera 2016	9	3,2	2,6	1,6 - 4,2
sector Santa Clara	otoño 2016	50	2,7	1,6	1,2 - 4,4
	primavera 2016	30	2,8	3,0	1,0 - 4,2
Ríos tributarios del río Cruces (sector estuarial)					
río Pichoy, sector Tralcao	otoño 2014	22	2,7	3,7	0,8 - 3,9
	primavera 2014	21	1,7	1,6	1,0 - 4,3
	otoño 2015	34	2,7	3,7	0,9 - 4,1
	primavera 2015	19	2,6	3,7	0,8 - 4,0
río Cayumapu, sector Chancoyan	otoño 2014	22	3,4	4,0	1,1 - 4,4
	primavera 2014	48	2,4	1,2	0,8 - 4,1
	otoño 2015	42	2,0	1,3	0,7 - 4,3
	primavera 2015	35	1,9	1,4	0,9 - 4,1
	otoño 2016	33	3,2	3,9	1,5 - 4,3
	primavera 2016	23	3,1	3,2	1,0 - 4,4
Fuera del humedal del río Cruces					
Fundo Santa Rosa	otoño 2014	19	3,0	3,9	1,7 - 4,4
	primavera 2014	36	2,3	2,0	1,1 - 3,5
	otoño 2015	36	2,1	2,2	0,7 - 4,0
	primavera 2015	11	2,4	2,0	0,8 - 4,0

Proporción sexual de *Samastacus spinifrons*

La Tabla 4.2.4.4 muestra un desglose en las proporciones sexuales de *S. spinifrons* en cada sitio durante los muestreos de los años 2015 y 2016. La proporción machos / hembras fue en general cercana a 1 (0,8 – 1,1) en seis de 20 set de datos (*i.e.*, cuatro muestreos x cinco sitios) lo que equivale a un 30%; es decir, durante estos muestreos las hembras dominaron sobre los machos (Tabla 4.2.4.4).

Tabla 4.2.4.4. Proporción sexual de los ejemplares de *Samastacus spinifrons* recolectados en el área de estudio durante el otoño y la primavera de los años 2015 y 2016. M: machos, H: hembras.

Estaciones	campana	N° total	M (%)	H (%)	M/H
Eje central río del río Cruces (sector límnic)					
sector Ciruelos	otoño 2015	106	57,1	42,9	1,3
	primavera 2015	54	50,0	50,0	1,0
	otoño 2016	91	61,5	38,5	1,6
	primavera 2016	8	62,5	37,5	1,7
sector Rucaco	otoño 2015	37	50,0	50,0	1,0
	primavera 2015	32	31,3	68,7	0,5
	otoño 2016	79	45,6	51,9	0,9
	primavera 2016	0	0	0	0
Eje central del río Cruces (sector estuarial)					
sector Punucapa	otoño 2015	34	52,9	47,1	1,1
	primavera 2015	33	45,5	54,5	0,8
	otoño 2016	46	58,7	41,3	1,4
	primavera 2016	12	58,3	41,7	1,4
Ríos tributarios del río Cruces					
sector río Pichoy	otoño 2015	21	52,4	47,6	1,1
	primavera 2015	34	41,2	58,8	0,7
	otoño 2016	34	41,2	58,8	0,7
	primavera 2016	8	25,0	75,0	0,3

Fuera del humedal del río

Cruces y sus ríos tributarios

río Calle Calle, sector Chumpullo	otoño 2015	22	68,2	31,8	2,1
	primavera 2015	41	43,9	56,1	0,8
	otoño 2016	196	42,3	51,0	0,8
	primavera 2016	6	66,7	16,7	4,0

Metales pesados en *Samastacus spinifrons*

Las Tablas 4.2.4.5 a 4.2.4.7 y la Figura 4.2.4.11, muestran las concentraciones de metales pesados en ejemplares completos de *S. spinifrons* recolectados en los sectores de Ciruelos, Rucaco y Calle Calle, durante las campañas de otoño y primavera 2014 (Programa de Diagnóstico Ambiental del HRC), otoño 2015 (primer año del Programa de Monitoreo Ambiental del HRC) y otoño 2016 (segundo año del mismo programa de monitoreo).

Durante todas las campañas, los metales pesados más representados (*i.e.*, mayores concentraciones) fueron Hierro, Aluminio y Manganeso, respectivamente (Tabla 4.2.4.5 y Fig. 4.2.4.11). El análisis de las concentraciones de estos elementos evidencia algunas tendencias de variabilidad en el tiempo:

- i) Las concentraciones de Hierro en los camarones del sector Ciruelos, fueron más bajas durante el otoño de los años 2014 y 2016, que durante la primavera del año 2014 y el otoño del año 2015. Las concentraciones del mismo elemento en los especímenes del sector Rucaco, mostraron una tendencia a la disminución en el tiempo, a la vez que las de los camarones del sector río Calle Calle se han mantenido en concentraciones similares y sin mostrar una tendencia definida en el tiempo (Tabla 4.2.4.5 y Fig. 4.2.4.11).
- ii) Las concentraciones de Aluminio medidas en los camarones de Ciruelos, tendieron a aumentar hasta la campaña otoñal del año 2015; posteriormente (campaña otoñal 2016), se registró el valor más bajo de este metal. De modo

similar, las concentraciones de Aluminio en los camarones de Rucaco y Calle Calle mostraron una tendencia a la disminución en el tiempo (Tabla 4.2.4.5 y Fig. 4.2.4.11).

- iii) Las concentraciones de Manganeso en los camarones de Rucaco y río Calle Calle, mostraron una tendencia a la baja en el tiempo, a la vez que los del sector Ciruelos no han evidenciado una tendencia clara a aumentar o disminuir en el tiempo (Tabla 4.2.4.5 y Fig. 4.2.4.11).

Las concentraciones de Cobre en los camarones de Ciruelos, Rucaco y río Calle Calle, fueron más altas durante el muestreo otoñal del 2015, *versus* las de las campañas de otoño y primavera del año 2014. Sin embargo, en los camarones de los tres sectores se observó una disminución en las concentraciones de Cobre, durante la última campaña (otoño 2016) (Tabla 4.2.4.6 y Fig. 4.2.4.11).

Con la excepción de lo observado con las concentraciones de Zinc en los camarones de Rucaco (valores más altos durante el otoño del año 2015), las de los especímenes recolectados en Ciruelos y Calle Calle, no mostraron mayor variabilidad temporal; sin embargo en los camarones de estos dos últimos sectores, se registraron los valores más bajos durante la campaña otoñal del año 2016 (Tabla 4.2.4.6 y Fig. 4.2.4.11).

Las concentraciones de Plomo registradas en especímenes recolectados en los sectores Rucaco y Calle Calle, han sido las más altas y especialmente durante la primavera del año 2014 (Tabla 4.2.4.6 y Fig. 4.2.4.11).

Las concentraciones de Cadmio en los camarones de Ciruelos y Rucaco, estuvieron en general bajo el límite de detección del método utilizado; lo mismo rige para las concentraciones de este metal en camarones del río Calle Calle durante la campaña otoñal del año 2016. En términos generales, sólo se detectó Cadmio en los camarones recolectados en el río Calle Calle (Tabla 4.2.4.7 y Fig. 4.2.4.11).

No se detectó Arsénico en los camarones recolectados en los tres sectores de estudio, durante ninguna de las campañas hasta ahora realizadas (Tabla 4.2.4.7 y Fig. 4.2.4.11).

En general, las concentraciones de Mercurio en los camarones de Ciruelos y Rucaco, no mostraron mayor variabilidad inter – campañas; por el contrario, las concentraciones de este metal en los especímenes del río Calle Calle fueron más altas durante la campaña del otoño del año 2014 a partir de la cual disminuyeron de modo notorio (Tabla 4.2.4.7 y Fig. 4.2.4.11).

Tabla 4.2.4.5. Concentraciones de Hierro, Aluminio y Manganeso en tejidos de *Samastacus spinifrons* recolectados durante las campañas de otoño y primavera del 2014 y otoño de 2015 y 2016. Los valores son promedios con desviación estándar en paréntesis y aproximados a un decimal.

estación	campaña	Hierro ($\mu\text{g g}^{-1}$)	Aluminio ($\mu\text{g g}^{-1}$)	Manganeso ($\mu\text{g g}^{-1}$)
Eje central río Cruces (sector límnic)				
sector Ciruelos	otoño 2014	418,6 (14,9)	354,3 (13,9)	283,5 (0,4)
	primavera 2014	530,3 (7,0)	353,4 (3,2)	297,0 (3,4)
	otoño 2015	526,3 (0,7)	441,1 (14,4)	214,5 (4,0)
	otoño 2016	485,4 (11,0)	172,2 (16,9)	234,0 (1,9)
sector Rucaco	otoño 2014	599,4 (30,6)	431,6 (10,5)	378,5 (0,1)
	primavera 2014	537,0 (9,7)	401,8 (34,0)	249,6 (9,3)
	otoño 2015	334,0 (13,9)	410,6(21,6)	148,9 (0,5)
	otoño 2016	327,0 (22,6)	361,1 (28,3)	174,2 (2,5)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios				
río Calle Calle, sector Chumpullo	otoño 2014	619,1 (15,4)	275,5 (3,1)	261,1 (20,9)
	primavera 2014	563,8 (58,3)	375,5 (21,8)	241,6 (11,0)
	otoño 2015	497,6 (3,9)	328,2 (11,5)	230,7 (1,5)
	otoño 2016	593,3 (20,3)	288,0 (7,8)	158,5 (0,4)

Tabla 4.2.4.6. Concentraciones de Cobre, Zinc y Plomo en tejidos de *Samastacus spinifrons* recolectados durante las campañas de otoño y primavera del 2014 y otoño de 2015 y 2016. Los valores son promedios con desviación estándar en paréntesis. * = No detectado, *i.e.*, bajo el límite de detección del método utilizado.

estaciones	campana	Cobre ($\mu\text{g g}^{-1}$)	Zinc ($\mu\text{g g}^{-1}$)	Plomo ($\mu\text{g g}^{-1}$)
Eje central del río Cruces (sector límnic)				
sector Ciruelos	otoño 2014	66,5 (1,5)	95,3 (2,0)	0,03 (0,0)
	primavera 2014	67,5 (0,0)	98,1 (0,0)	0,06 (0,0)
	otoño 2015	73,2 (0,4)	116,4 (1,6)	*
	otoño 2016	50,6 (2,9)	88,3 (5,0)	0,02 (0,0)
sector Rucaco	otoño 2014	54,8 (2,7)	90,9 (3,5)	0,06 (0,0)
	primavera 2014	67,7 (2,9)	99,0 (3,9)	0,64 (0,0)
	otoño 2015	85,0 (1,8)	152,2 (1,9)	0,03
	otoño 2016	62,7 (2,7)	108,4 (2,6)	0,10 (0,0)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios				
río Calle Calle, sector Chumpullo	otoño 2014	128,8 (7,9)	115,0 (3,3)	0,20 (0,0)
	primavera 2014	163,8 (4,5)	121,9 (1,2)	0,58 (0,3)
	otoño 2015	180,5 (0,9)	133,1 (1,5)	0,25 (0,0)
	otoño 2016	107,6 (4,1)	99,5 (3,5)	0,10 (0,0)

Tabla 4.2.4.7. Concentraciones de Cadmio, Arsénico y Mercurio en tejidos de *Samastacus spinifrons* para las campañas otoño y primavera 2014 y otoño de 2015 y 2016. Los valores son promedios con desviación estándar en paréntesis. * = No detectado, *i.e.*, bajo el límite de detección del método utilizado.

estaciones	campañas	Cadmio ($\mu\text{g g}^{-1}$)	Arsénico ($\mu\text{g g}^{-1}$)	Mercurio ($\mu\text{g g}^{-1}$)
Eje central del río Cruces (sector límnico)				
sector Ciruelos	otoño 2014	0,208 (0,0)	*	0,080 (0,0)
	primavera 2014	*	*	0,086 (0,0)
	otoño 2015	*	*	0,107 (0,0)
	otoño 2016	*	*	0,088 (0,0)
sector Rucaco	otoño 2014	*	*	0,083 (0,0)
	primavera 2014	*	*	0,084 (0,0)
	otoño 2015	*	*	0,113 (0,0)
	otoño 2016	*	*	0,102 (0,0)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios				
río Calle Calle, sector	otoño 2014	0,367 (0,0)	*	1,190 (0,0)
Chumpullo	primavera 2014	0,414 (0,0)	*	0,083 (0,0)
	otoño 2015	0,353 (0,0)	*	0,165 (0,0)
	otoño 2016	*	*	0,132 (0,0)

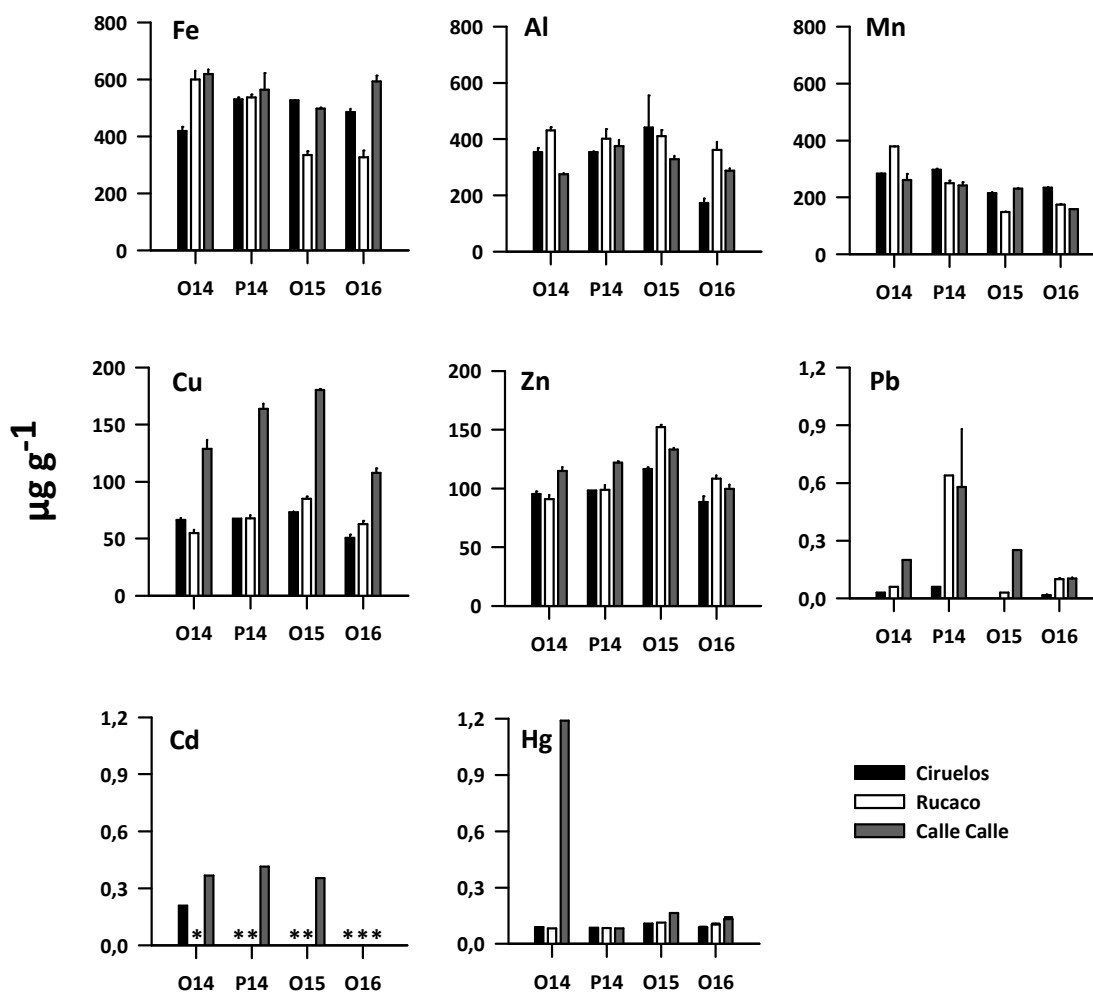


Figura 4.2.4.11. Concentración de metales pesados en *Samastacus spinifrons* en el área de estudio, durante las campañas de otoño 2014 (O14), primavera 2014 (P14) y otoños 2015 y 2016 (O15y 2016, respectivamente). Los valores son promedios con una desviación estándar. * = No detectado, *i.e.*, bajo el límite de detección del método utilizado.

Análisis estadísticos

Los resultados de los análisis de ANDEVA factorial y test *a posteriori* de Tukey, llevados a cabo para comparar el efecto de los factores Año y Sector, en las concentraciones de metales pesados presentes en los tejidos de *Samastacus spinifrons*, se muestran en la Tabla 4.2.4.8.

Las concentraciones de Hierro, Aluminio, Manganeso y Cadmio, fueron significativamente más altas ($p < 0,05$) en los camarones analizados durante el año 2014, que en aquellos estudiados durante el año 2016 (Tabla 4.2.4.8). Las concentraciones de Cobre y Zinc fueron significativamente más altas ($p < 0,05$) durante el año 2015, que aquellas medidas en camarones recolectados durante los años 2014 y 2016 (Tabla 4.2.4.8).

Las concentraciones de Hierro, Cobre, Cadmio y Mercurio medidas en especímenes recolectados en el río Calle Calle, fueron significativamente más altas ($p < 0,05$) que las medidas en camarones de Ciruelos y Rucaco. Las concentraciones de Aluminio obtenidas en especímenes recolectados en el sector Rucaco fueron significativamente más altas que las obtenidas en Ciruelos y Calle Calle (Tabla 4.2.4.8).

Las concentraciones de Zinc fueron significativamente más altas ($p < 0,05$) en camarones del sector Rucaco y río Calle Calle que en especímenes recolectados en el sector Ciruelos (Tabla 4.2.4.8).

Tabla 4.2.4.8. Resumen de ANDEVA Factorial y Prueba *a posteriori* de Tukey para evaluar diferencias en las concentraciones de metales pesados registrados en ejemplares completos de *Samastacus spinifrons*, entre los factores principales. Los factores son Año de muestreo (2014-2015-2016) y Sector (Ciruelos, Rucaco y Calle Calle). Los valores de P en negrilla son significativos (<0,05) para cada prueba. Las comparaciones *a posteriori* deben interpretarse con cautela cuando la interacción AxS es significativa.

Parámetro	Fuente	GL	SC	CM	F	Valor P	Prueba de Tukey
Fe	Año (A)	2	43193,6	21596,8	12,7	<0,001	2014 > 2015 = 2016
	Sector (S)	2	82635,7	41317,8	24,2	<0,001	CC > Ci > Ru
	A × S	4	86863,6	21715,9	12,7	<0,001	
	Error	15	25606,0	1707,1			
	Total	23	214286,6	9316,8			
Al (*)	Año (A)	2	48977,3	24488,6	24,8	<0,001	2014 = 2015 > 2016
	Sector (S)	2	29457,5	14728,8	14,9	<0,001	Ru > Ci = CC
	A × S	4	34411,3	8602,8	8,7	<0,001	
	Error	15	14784,2	985,6			
	Total	23	131136,5	5701,6			
Mn (***)	Año (A)	2	50653,8	25326,9	21,1	<0,001	2014 > 2015 = 2016
	Sector (S)	2	5349,1	2674,6	2,2	0,143	
	A × S	4	17084,5	4271,1	3,6	0,031	
	Error	15	18039,7	1202,7			
	Total	23	90517,5	3935,5			
Cu (*)(**)	Año (A)	2	0,088	0,0438	29,817	<0,001	2015 > 2014 > 2016
	Sector (S)	2	0,524	0,2620	178,47	<0,001	CC > Ru = Ci
	A × S	4	0,020	0,0051	3,461	0,034	
	Error	15	0,022	0,0015			
	Total	23	0,729	0,0317			
Zn	Año (A)	2	4717,1	2358,6	163,28	<0,001	2015 > 2014 = 2016
	Sector (S)	2	1438,8	719,40	49,80	<0,001	CC = Ru > Ci
	A × S	4	1692,9	423,24	29,30	<0,001	
	Error	15	216,7	14,445			
	Total	23	7987,5	347,28			

GL = grados de Libertad; SC = Suma de Cuadrados; CM = Cuadrados medios; F = razón F; P = Valor de Probabilidad de error al rechazar Ho; (*) = Datos transformados a \log_{10} . (**) = Cumple al menos uno de los supuestos de ANDEVA; (***) No cumple supuestos de ANDEVA.

Continuación **Tabla 4.2.4.8**

Parámetro	Fuente	GL	SC	CM	F	Valor P	Prueba de Tukey
Pb (***)	Año (A)	2	0,192	0,096	2,345	0,130	
	Sector (S)	2	0,184	0,092	2,238	0,141	
	A × S	4	0,096	0,024	0,582	0,680	
	Error	15	0,615	0,041			
	Total	23	1,172	0,051			
Cd (***)	Año (A)	2	0,106	0,053	17,303	<0,001	2014 = 2015 > 2016
	Sector (S)	2	0,252	0,126	41,343	<0,001	CC > Ru = Ci
	A × S	4	0,125	0,031	10,268	<0,001	
	Error	15	0,046	0,003			
	Total	23	0,632	0,028			
Hg (***)	Año (A)	2	0,003	0,0015	1,935	0,179	
	Sector (S)	2	0,011	0,0057	7,266	0,006	CC > Ru = Ci
	A × S	4	0,000	0,0001	0,137	0,966	
	Error	15	0,012	0,0008			
	Total	23	0,028	0,0012			

GL = grados de Libertad; SC = Suma de Cuadrados; CM = Cuadrados medios; F = razón F; P = Valor de Probabilidad de error al rechazar Ho; (*) = Datos transformados a \log_{10} . (**) = Cumple al menos uno de los supuestos de ANDEVA; (***) No cumple supuestos de ANDEVA.

Compuestos orgánicos persistentes en *Samastacus spinifrons*

La Tabla 4.2.4.9 y la Figura 4.2.4.12, muestran las concentraciones de Ácidos grasos y compuestos halogenados adsorbibles (AOX) en los especímenes de *S. spinifrons* recolectados en el área de estudio, durante las campañas de otoño y primavera 2014 (Programa de Diagnóstico Ambiental del HRC), otoño 2015 (primer año del Programa de Monitoreo Ambiental del HRC) y otoño 2016 (segundo año del mismo programa de monitoreo). Las concentraciones de Ácidos resínicos en los camarones recolectados en todos los sectores y fechas de muestreo, estuvieron bajo el límite de detección de la técnica utilizada.

Las concentraciones más altas de Ácidos grasos se detectaron en camarones recolectados durante la primavera del año 2014, a la vez que los valores más bajos se

presentaron en las campañas otoñales de los años 2014 y 2016 (Tabla 4.2.4.9 y Fig. 4.2.4.12).

En términos generales, las concentraciones de AOX en los camarones de los sectores Ciruelos y Rucaco, disminuyeron desde la campaña del otoño del año 2014 a la del otoño del año 2016. Por el contrario, las concentraciones medidas en camarones del río Calle Calle fueron disminuyendo desde el otoño del año 2014 al del año 2015; posteriormente a esto las concentraciones de AOX en los camarones de este sector volvieron a aumentar (otoño 2016) (Tabla 4.2.4.9 y Fig. 4.2.4.12).

Tabla 4.2.4.9. Concentraciones de Ácidos Grasos, Ácidos Resínicos y AOX en tejidos de *Samastacus spinifrons* para las campañas otoño y primavera de 2014 y otoño de 2015 y 2016. Los valores son promedios con desviación estándar en paréntesis. * = No detectado, *i.e.*, bajo el límite de detección del método utilizado.

estaciones	campañas	Ácidos grasos ($\mu\text{g g}^{-1}$)	Ácidos resínicos ($\mu\text{g g}^{-1}$)	AOX ($\mu\text{g g}^{-1}$)
Eje central del río Cruces (sector límnico)				
sector Ciruelos	otoño 2014	1393,3 (171,1)	*	170,1 (16,8)
	primavera 2014	3317,1 (295,4)	*	144,9 (9,7)
	otoño 2015	2140,9 (150,6)	*	139,0 (21,7)
	otoño 2016	1426,3 (55,0)	*	126,7 (13,0)
sector Rucaco	otoño 2014	1785,6 (40,0)	*	154,7 (5,2)
	primavera 2014	2901,4 (79,9)	*	152,9 (39,8)
	otoño 2015	2150,6 (75,3)	*	123,1 (14,9)
	otoño 2016	1506,2 (65,6)	*	107,8 (17,5)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios				
río Calle Calle, sector Chumpullo	otoño 2014	1035,8 (67,2)	*	234,0 (23,7)
	primavera 2014	3009,6 (711,4)	*	133,5 (6,9)
	otoño 2015	2220,5 (74,8)	*	123,6 (10,5)
	otoño 2016	1398,6 (190,5)	*	215,8 (1,2)

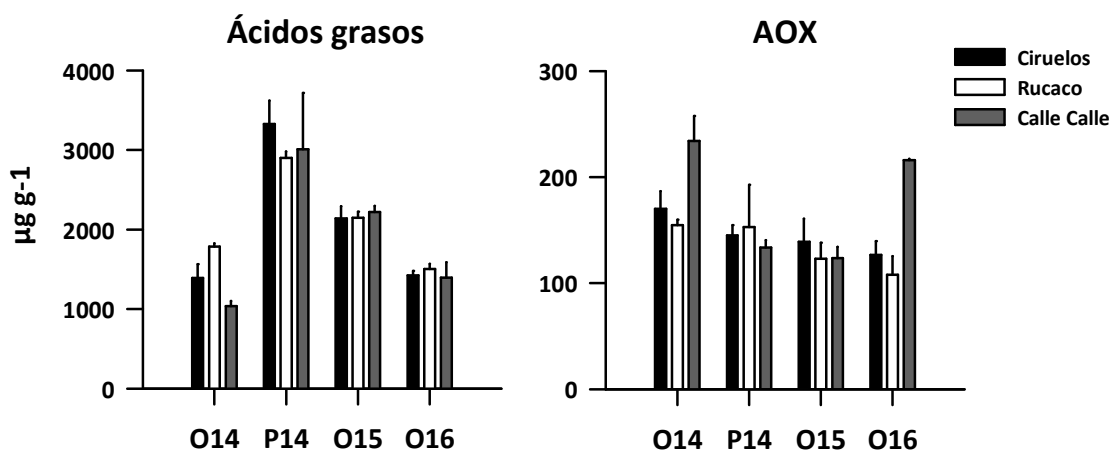


Figura 4.2.4.12. Concentración de Ácidos grasos y compuestos halogenados adsorbibles (AOX) en *Samastacus spinifrons* en el área de estudio, durante las campañas del otoño 2014 (O14), primavera 2014 (P14), otoño 2015 (O15) y otoño 2016 (O16). Los valores son promedios con una desviación estándar.

Análisis estadísticos

Los resultados de los análisis de ANDEVA factorial y test *a posteriori* de Tukey, llevados a cabo para comparar el efecto de los factores Año y Sector, en las concentraciones de Ácidos grasos presentes en los tejidos de *Samastacus spinifrons*, muestran que esas concentraciones no difieren estadísticamente ($p > 0,05$) al comparar años y sectores (Tabla 4.2.4.10). Por otra parte, los resultados de análisis similares pero con las concentraciones de AOX, muestran que las medidas en especímenes capturados en el río Calle Calle (sector Chumpullo), fueron significativamente más altas ($p < 0,05$) que aquellas medidas en camarones del sector Rucaco (Tabla 4.2.4.10).

Tabla 4.2.4.10. Resumen de ANDEVA Factorial y Prueba *a posteriori* de Tukey para evaluar diferencias en las concentraciones de Ácidos grasos y AOX registrados en ejemplares completos de *Samastacus spinifrons*, entre los factores principales. Los factores son Año de muestreo (2014-2015-2016) y Sector (Ciruelos, Rucaco y Calle Calle). Los valores de P en negrilla son significativos (<0,05) para cada prueba. Las comparaciones *a posteriori* deben interpretarse con cautela cuando la interacción AxS es significativa.

Parámetro	Fuente	GL	SC	CM	F	Valor P	Prueba de Tukey
Ácidos grasos (**) (*)	Año (A)	2	0,119	0,059	2,133	0,153	
	Sector (S)	2	0,007	0,004	0,130	0,879	
	A × S	4	0,014	0,003	0,124	0,971	
	Error	15	0,418	0,028			
	Total	23	0,566	0,025			
AOX (*)	Año (A)	2	5348,025	2674,013	2,745	0,096	
	Sector (S)	2	8172,897	4086,448	4,195	0,036	CC > Ru
	A × S	4	8081,902	2020,475	2,074	0,135	
	Error	15	14611,489	974,099			
	Total	23	35720,491	1553,065			

GL = grados de Libertad; SC = Suma de Cuadrados; CM = Cuadrados medios; F = razón F; P = Valor de Probabilidad de error al rechazar Ho; (*) = Datos transformados a \log_{10} . (**) = Cumple al menos uno de los supuestos de ANDEVA; (***) No cumple supuestos de ANDEVA.

Dioxinas, Furanos y Equivalentes Tóxicos en *S. spinifrons*

La Tabla 4.2.4.11 y la Figura 4.2.4.13 muestran las concentraciones de Dioxinas, Furanos y sus Equivalentes Tóxicos (EQTs) en especímenes de *Samastacus spinifrons* recolectados en el área de estudio, durante las campañas de otoño y primavera 2014 (Programa de Diagnóstico Ambiental del HRC), otoño 2015 (primer año del Programa de Monitoreo Ambiental del HRC) y otoño 2016 (segundo año del mismo programa de monitoreo).

Las concentraciones de Dioxinas en los camarones de Ciruelos y Rucaco, evidenciaron un aumento considerable durante la campaña otoñal del año 2016 (no se había observado mayor variación durante las campañas anteriores); por otra parte, las Dioxinas han mostrado concentraciones similares a través del tiempo en los camarones

del río Calle Calle (Tabla 4.2.4.11 y Fig. 4.2.4.13). Las concentraciones más altas de Furanos se han detectado hasta ahora en camarones del sector Rucaco y durante el otoño del año 2016, a la vez que los valores más altos de EQTs se detectaron durante el otoño del 2016 y en los mismos camarones que mostraron las concentraciones más altas de Dioxinas (*i.e.*, especímenes de Ciruelos y Rucaco) (Tabla 4.2.4.11 y Fig. 4.2.4.13).

Se detectó la presencia de la Dioxina TCDD 2,3,7,8 en los tejidos de los camarones capturados de los sectores Ciruelos y Rucaco durante la campaña otoñal del año 2016; la Dioxina PCDD 1,2,3,7,8 se encontró en tejidos de los camarones recolectados en el sector Ciruelos durante las campañas otoñales de los años 2015 y 2016 y en especímenes recolectados en Rucaco durante el otoño del año 2016.

Tabla 4.2.4.11. Concentraciones de Dioxinas, Furanos y EQTs en tejidos de *Samastacus spinifrons* para las campañas otoño y primavera de 2014 y otoño de 2015 y 2016. Los valores son promedios con desviación estándar en paréntesis. * = No detectado, *i.e.*, bajo el límite de detección del método utilizado.

Estaciones	campañas	Dioxinas (ng g ⁻¹)	Furanos (ng g ⁻¹)	EQTs (ng g ⁻¹)
Eje central río del río				
Cruces (sector límnico)				
sector Ciruelos	otoño 2014	0,00050 (0,0001414)	0,00020 (0,0001414)	0,000010 (0,0000007)
	primavera 2014	0,00045 (0,0000707)	0,00035 (0,0000707)	0,000010 (0,0000205)
	otoño 2015	0,00035 (0,0000707)	0,00045 (0,0002121)	0,000093 (0,0000685)
	otoño 2016	0,00385 (0,0024750)	0,001050 (0,000354)	0,000324 (0,0000412)
sector Rucaco	otoño 2014	0,00075 (0,0002121)	0,00055 (0,0006363)	0,000050 (0,0000545)
	primavera 2014	0,00085 (0,0000707)	0,00015 (0,0000707)	0,000004 (0,0000042)
	otoño 2015	0,00085 (0,0004950)	0,00130 (0,0001414)	0,000096 (0,0000233)
	otoño 2016	0,90505 (1,2793680)	0,00300 (0,0011310)	0,009338 (0,0131546)
Fuera del humedal del río				
Cruces y sus ríos tributarios				
río Calle Calle, sector	otoño 2014	0,0003	0,0003	0,00001
Chumpullo	primavera 2014	0,00035 (0,0000707)	*	0,000001 (0,0000007)
	otoño 2015	0,00025 (0,0000707)	0,00090 (0,0001414)	0,000068 (0,0000112)
	otoño 2016	0,00020 (0,0000000)	0,00125 (0,0007780)	0,000036 (0,0000071)

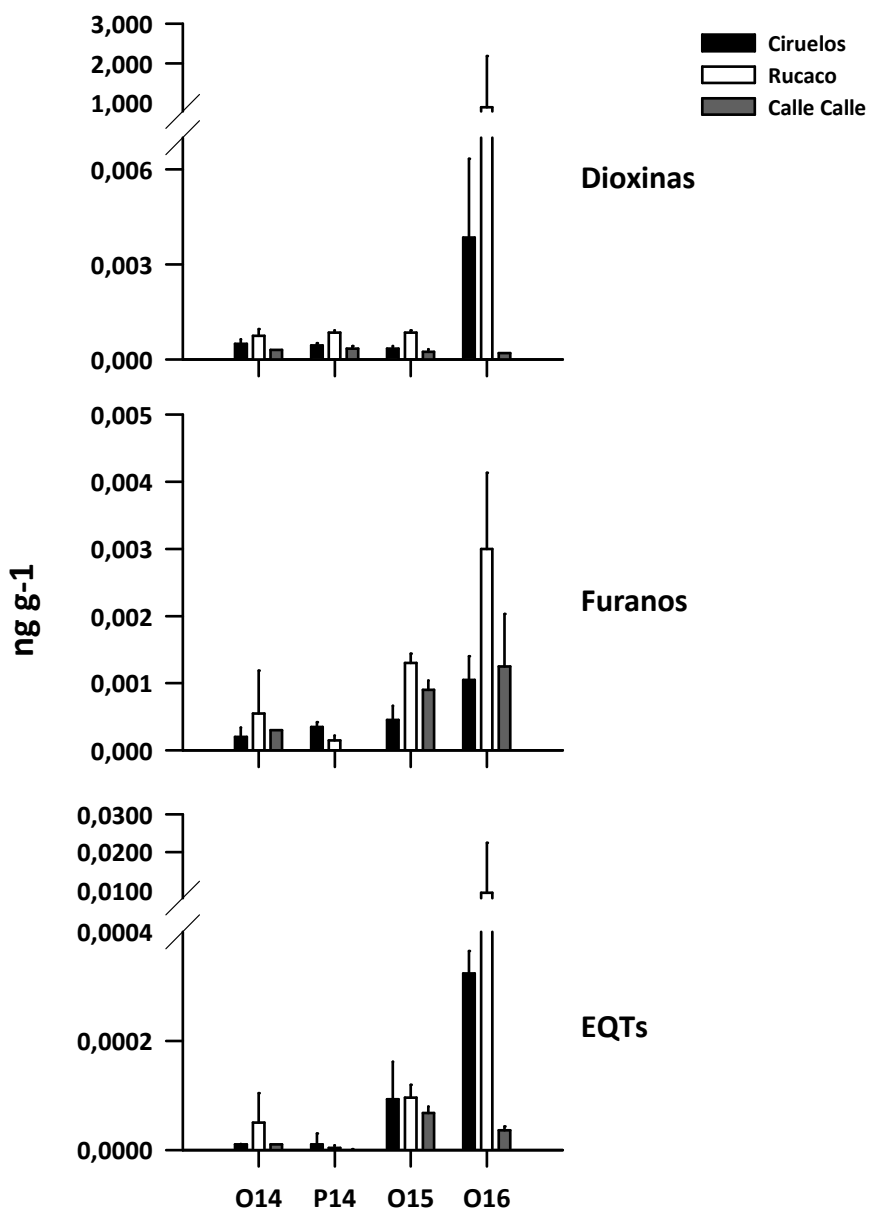


Figura 4.2.4.13. Concentración de Dioxinas, Furanos y Equivalentes Tóxicos (EQTs) en *Samastacus spinifrons* recolectados en el área de estudio, durante las campañas de otoño 2014 (O14), primavera 2014 (P14), otoño 2015 (O15) y otoño 2016 (O16). Los valores son promedios con una desviación estándar. * = No detectado, *i.e.*, bajo el límite de detección del método utilizado. El valor de EQTs para los camarones del río Calle Calle durante la primavera del año 2014 es muy bajo (ver Tabla 4.2.4.11) de ahí que no sea visible en este gráfico.

Análisis estadísticos

Los resultados del ANDEVA factorial y *prueba a posteriori* de Tukey, utilizados para evaluar el efecto de los factores Año y Sector en las concentraciones de Dioxinas, Furanos y EQTs presentes en los tejidos de *Samastacus spinifrons*, se muestran en la Tabla 4.2.4.12. Esta tabla muestra que no se detectaron diferencias significativas en las concentraciones de Dioxinas, Furanos y EQTs entre los años y los sectores comparados ($p > 0,05$).

Tabla 4.2.4.12. Resumen de ANDEVA Factorial y Prueba *a posteriori* de Tukey para evaluar diferencias en las concentraciones de Dioxinas, Furanos y Equivalentes tóxicos, registrados en ejemplares completos de *Samastacus spinifrons*, entre los factores principales. Los factores son Año de muestreo (2014-2015-2016) y Sector (Ciruelos, Rucaco y Calle Calle). Los valores de P en negrilla son significativos ($< 0,05$) para cada prueba.

Parámetro	Fuente	GL	SC	CM	F	Valor P
Dioxinas (***)	Año (A)	2	0,370	0,185	1,63	0,229
	Sector (S)	2	0,402	0,201	1,77	0,204
	A × S	4	0,867	0,217	1,91	0,161
	Error	15	1,704	0,114		
	Total	23	3,177	0,138		
Furanos (**)	Año (A)	2	0,003	0,002	0,38	0,69
	Sector (S)	2	0,003	0,001	0,33	0,73
	A × S	4	0,008	0,002	0,42	0,79
	Error	15	0,068	0,005		
	Total	23	0,086	0,004		
EQTs (***)	Año (A)	2	0,00004	0,00002	1,73	0,211
	Sector (S)	2	0,00004	0,00002	1,73	0,210
	A × S	4	0,00009	0,00002	1,86	0,170
	Error	15	0,00018	0,00001		
	Total	23	0,00033	0,00001		

GL = grados de Libertad; SC = Suma de Cuadrados; CM = Cuadrados medios; F = razón F; P = Valor de Probabilidad de error al rechazar H_0 ; (*) = Datos transformados a \log_{10} . (**) = Cumple al menos uno de los supuestos de ANDEVA; (***) No cumple supuestos de ANDEVA.

4.2.4.5. Conclusiones

- Luego de realizadas seis campañas estacionales de muestreo durante los años 2014, 2015 y 2016, se concluye que las abundancias poblacionales de *S. spinifrons* son muy variables en el área de estudio. Más aún, durante la primavera del año 2016 no se encontraron camarones en los transectos habituales de muestreo.
- El tamaño corporal de *S. spinifrons* ha sido muy variable entre campañas y sitios de muestreo.
- La proporción machos / hembras en *S. spinifrons* fue en general cercana a 1 en seis de 20 set de datos (*i.e.*, cuatro muestreos x cinco sitios); es decir, durante el período de estudio, las hembras han dominado sobre los machos.
- Los análisis de la frecuencia de habitáculos ocupados por *P. nicoleti* llevados a cabo durante el año 2016, muestran que las abundancias de esta especie fueron mayores durante agosto 2016 en el Sector Santa Clara (a la vez que durante la campaña de primavera se registraron las mayores abundancias en Chancoyán).
- Durante las campañas del año 2014, los especímenes de *P. nicoleti* recolectados en Chancoyán, fueron en general los de mayor tamaño, a la vez que durante el año 2015 los camarones de mayor tamaño ocurrieron primariamente en el sector Tralcao, río Pichoy. Durante las campañas del año 2016, los camarones de los sectores San Luis y Chancoyán, fueron los que mostraron las tallas corporales más altas.
- Los metales pesados más representados (*i.e.*, mayores concentraciones) en *S. spinifrons* fueron Hierro, Aluminio y Manganeso, respectivamente.
- Las concentraciones de Hierro, Aluminio, Manganeso y Cadmio en *S. spinifrons*, han sido significativamente más altas ($p < 0,05$) en los camarones analizados durante el año 2014, que en aquellos estudiados durante el año 2016. Las concentraciones de Cobre y Zinc fueron significativamente más altas ($p < 0,05$) durante el año 2015, que aquellas medidas en camarones recolectados durante los años 2014 y 2016.

- Las concentraciones de Hierro, Cobre, Cadmio y Mercurio medidas en especímenes de *S. spinifrons* recolectados en el río Calle Calle, fueron significativamente más altas ($p < 0,05$) que las medidas en camarones de Ciruelos y Rucaco. Las concentraciones de Aluminio obtenidas en especímenes recolectados en el sector Rucaco fueron significativamente más altas que las obtenidas en Ciruelos y Calle Calle. Las concentraciones de Zinc fueron significativamente más altas ($p < 0,05$) en camarones del sector Rucaco y río Calle Calle que en especímenes recolectados en el sector Ciruelos.
- No se ha detectado Arsénico en los especímenes de *S. spinifrons* recolectados ni en los tres sectores de estudio como en ninguna de las campañas realizadas.
- Las concentraciones de Ácidos grasos presentes en los tejidos de *S. spinifrons*, no difieren estadísticamente ($p > 0,05$) al comparar años y sectores.
- No se han detectado Ácidos resínicos en los especímenes de *S. spinifrons* hasta ahora analizados.
- Las concentraciones de AOX medidas en *S. spinifrons* en el río Calle Calle, fueron significativamente más altas ($p < 0,05$) que aquellas medidas en camarones del sector Rucaco.
- Las concentraciones de Dioxinas, Furanos y EQTs presentes en los tejidos de *S. spinifrons*, no difirieron significativamente al comparar datos de años y sectores.
- Se detectó la presencia de la Dioxina TCDD 2,3,7,8 en los tejidos de *S. spinifrons* de Ciruelos y Rucaco durante la campaña otoñal del año 2016; la Dioxina PCDD 1,2,3,7,8 se encontró en tejidos de los camarones recolectados en el sector Ciruelos durante las campañas otoñales de los años 2015 y 2016 y en especímenes recolectados en Rucaco durante el otoño del año 2016.

4.2.4.6. Referencias

Corales, E.S., R.A. Figueroa. 1999. Observaciones sobre la dieta del huairavo (*Nycticorax nycticorax*) en el sur de Chile. IV Congreso Nacional de Ornitología y VI Encuentro Nacional de Ornólogos. Antofagasta.

Dalannais, R. 1984. Contribución al conocimiento de la biología y ecología del camarón de vega *Parastacus pugnax* (Poëppig) (Crustacea, Parastacidae) en la zona de Talcahuano. Seminario de título, Pontificia Universidad Católica de Chile, Sede Talcahuano, 37 pp.

Figueroa, R., E. Corales. 1997. Dieta de la garza grande (*Casmerodius albus*) durante el período de crianza en agroecosistemas del sur de Chile. III Congreso Chileno de Ornitología. Santiago.

Franco, M., G. Guevara, L. Correa, M. Soto-Gamboa. 2013. Trophic interactions of the endangered Southern river otter (*Lontra provocax*) in a Chilean Ramsar wetland inferred from prey sampling, fecal analysis, and stable isotopes. *Naturwissenschaften*, 100: 299-310.

Medina, G. 1997. A comparison of the diet and distribution of southern river otter (*Lutra provocax*) and mink (*Mustela vison*) in southern Chile. *Journal of Zoology* 242:291-297.

Rudolph, E. 1984. Perspectivas del cultivo de camarones de agua dulce en Chile. *Memorias de la Asociación Latinoamericana Acuicultura* 5: 769-773.

Rudolph, E.H. 2002. New records of intersexuality in the freshwater crayfish *Samastacus spinifrons* (Decapoda, Parastacidae). *Journal of Crustacean Biology* 22: 377-389.

Rudolph, E. 2010. Sobre la distribución geográfica de las especies chilenas de Parastacidae (Crustacea: Decapoda: Astacidea). *Boletín de Biodiversidad de Chile* 3: 32-46.

Sharma, M.P., S. Sharma, V. Goel, P. Sharma, A. Kumar. 2006. Water quality assessment of Behta River using benthic macroinvertebrates. *Life Science Journal* 3: 68-74.

Suárez-Serrano, A., C. Alcaraz, C. Ibanez, R. Trobajo, C. Barata. 2010. *Procambarus clarkii* as a bioindicator of heavy metal pollution sources in the lower Ebro River and Delta. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 73: 280-286.

Webb, D. 2011. Freshwater shrimp (*Palaemonetes australis*) as a potential bioindicator of crustacean health. *Environmental Monitoring and Assessment* 178:537-544.

4.2.5. ICTIOFAUNA

4.2.5.1. Antecedentes

La ictiofauna chilena se caracteriza por estar constituida de una riqueza moderada de especies en relación a otras áreas de Sudamérica y por un alto grado de endemismo (Vila *et al.*, 1999; Dyer, 2000; Habit *et al.*, 2006), mostrando los peces de aguas continentales un claro patrón de incremento en el número de especies presentes desde los extremos norte y sur hacia la zona centro sur (Vila *et al.*, 1999). De acuerdo a la fauna de peces de agua dulce que habita en Chile, Dyer (2000) definió tres provincias biogeográficas: Atacameña, Chilena y Patagónica, siendo la segunda la que contiene mayor diversidad, de manera que las cuencas hidrográficas con mayor número de especies nativas son aquellas ubicadas entre los ríos Itata (Región del Bio Bío) y Bueno (Región de los Ríos), tramo en el que se ubica el área de estudio incluida en este Programa de Monitoreo Ambiental.

El humedal del río Cruces (HRC) y sus ríos tributarios, posee un número importante de especies de peces nativas e introducidas (Arismendi & Penaluna, 2009; Habit *et al.*, 2006; <http://ceachile.cl/Cruces/Fauna.htm#peces>). Estas especies requieren de hábitats como los presentes en este humedal para su desarrollo temprano, dado que allí encuentran abundante material orgánico particulado el cual es arrastrado por el río y termina por depositarse en los fondos del mismo. Los juveniles de esas especies encuentran en ese material, el alimento imprescindible para su desarrollo pues éste contiene proteínas, grasas, minerales, hidratos de carbono y otras sustancias básicas para la nutrición, crecimiento y desarrollo de los mismos. Alguno de estos peces son habitantes permanentes del HRC, mientras que otros son transitorios; debido a lo mismo, estos vertebrados acuáticos constituyen bioindicadores apropiados para evaluar el estado ambiental de este tipo de ambiente acuático, ya que interactúan con todos los elementos abióticos y bióticos del ecosistema.

Los peces han sido utilizados como indicadores de la calidad del agua en diversos países (Aguilar, 2005; Velázquez-Velázquez & Vega-Candejas, 2004) y han sido considerados como un vector de comunicación útil para sensibilizar al público y a las autoridades sobre la necesidad de preservar la calidad de ríos y lagos (Cowx & Collares Pereira, 2002). Debido a lo anterior, la caracterización de la ictiofauna de cualquier cuerpo acuático es importante, porque la misma es una buena herramienta de ayuda para la toma de decisiones en materia ambiental (Boulton, 1999) y puede ser utilizada en la confección de índices de la calidad del medio acuático (*e.g.*, Soto Galera *et al.*, 1998; Kestemont *et al.*, 2000; McDowall & Taylor, 2000; Oberdorff *et al.*, 2002), para identificar diversos niveles de degradación ambiental (Faush *et al.*, 1990; Scott & Hall, 1997; Wichert & Rapport, 1998), así como para definir el éxito de restauración de los ecosistemas acuáticos (Paller *et al.*, 2000).

La ventaja de utilizar a los peces para evaluar la calidad ambiental de un cuerpo acuático, radica en el hecho de que estos vertebrados acuáticos son organismos relativamente fáciles de identificar y manipular (Aguilar, 2005); más aún, la respuesta societaria a conceptos como integridad biótica o estado ambiental de un ecosistema, es más rápida o fluida cuando se mencionan los peces como sujetos de estudio que cuando se utilizan por ejemplo, organismos del plancton o invertebrados acuáticos (Davis, 1995).

Una forma de evaluar cómo los cambios en la calidad de agua, afectan la estructura comunitaria de la ictiofauna, es a través de estudios de índices que entregan información sobre la riqueza de especies, diversidad y abundancias poblacionales de la misma. Esto permite conocer el comportamiento de una comunidad íctica (qué especies están presentes y en qué abundancias) y la "calidad" de un hábitat; asimismo, el efecto de diversos fenómenos ambientales (*e.g.*, sequías, inundaciones) pueden explicarse a través de la evaluación de la presencia o ausencia de especies indicadoras de peces (Chediack, 2009). Por consiguiente, un monitoreo espacio - temporal de la ictiofauna es una aproximación adecuada para analizar la dinámica de los ecosistemas, ya que por ejemplo,

el efecto de las fluctuaciones de los componentes abióticos de los mismos, resulta en disminución en las abundancias de especies sensibles a cambios en calidad de agua (Wang *et al.*, 2000; Vila-Gispert *et al.*, 2002).

Por otra parte, los cambios en la calidad del agua pueden resultar en consecuencias significativas para el estado sanitario de la ictiofauna; consecuentemente, el análisis de la salud de la misma es de importancia relevante, ya que permite evaluar la eventual presencia de agentes patógenos asociados a cambios en la estructura macro y microscópica de órganos y tejidos de los peces. Esto último permite establecer el estado de salud o enfermedad en las poblaciones naturales, como también deformaciones y trastornos de la reproducción. Del mismo modo, los cambios microscópicos de los tejidos pueden asociarse a la presencia de sustancias tóxicas, resultantes de productos exógenos introducidos en la columna de agua. Adicionalmente, estos productos impactan la capacidad de los peces para responder defensivamente a los patógenos, por lo que la medición de la respuesta defensiva, se constituye en una herramienta para determinar su estado de salud.

Algunos productos exógenos pueden ser transportados a grandes distancias por las corrientes atmosféricas y el agua, afectando la calidad de los ambientes acuáticos impactados. Tales productos tienden a acumularse en los tejidos grasos de los animales, ya que por lo general son sustancias lipofílicas (Spacie *et al.*, 1979). Esto resulta particularmente importante en los organismos bentónicos de los ecosistemas acuáticos, los que pueden absorber las partículas en suspensión de la columna del agua, bioacumulando ese tipo de productos. Posteriormente, depredadores como peces bentófagos podrían biomagnificar las concentraciones de estos compuestos. Tal es así, que los análisis de concentraciones de metales en especies de peces especialmente seleccionadas, compuestos orgánicos persistentes y evaluación de la eventual presencia de Dioxinas y Furanos, son relevantes, ya que permiten evaluar la eventual biomagnificación de tales elementos y compuestos en los mismos.

Con el objetivo de analizar la variabilidad espacio temporal de la ictiofauna de las riberas del HRC y sus ríos tributarios, se realizaron muestreos durante el otoño del año 2016; el actual informe corresponde al segundo año del Programa de Monitoreo Ambiental (abril 2016 - marzo 2017). Los resultados de estos muestreos se comparan con los resultados de estudios realizados durante el primer año de ese programa (abril 2015 - marzo 2016) y durante el Programa de Diagnóstico Ambiental del HRC y sus ríos tributarios (abril 2014 - marzo 2015). Se analizaron además las concentraciones de elementos y compuestos químicos seleccionados y el estado sanitario de *Galaxias maculatus* (Puye), el pez más común o representativo de las riberas del HRC. Los resultados de tales análisis también se comparan con resultados de estudios anteriores realizados en el mismo humedal.

4.2.5.2. Objetivos

- Estimar la diversidad y abundancia de los peces de las riberas del HRC.
- Analizar los tamaños corporales del Puye.
- Analizar las concentraciones de metales pesados (Hierro, Aluminio, Manganeso, Cobre, Zinc, Plomo, Cadmio, Arsénico y Mercurio) en tejidos corporales de Puye.
- Analizar las concentraciones de compuestos orgánicos persistentes, incluyendo Ácidos grasos, Ácidos resínicos, AOX, Dioxinas y Furanos en tejidos corporales de Puye.
- Evaluar la presencia de eventuales enfermedades infecto-contagiosas (de origen bacteriano, viral, parasitario o micótico) y de agentes patógenos y/o potencialmente patógenos en Puye.
- Obtener preparaciones histológicas de tejidos de Puyes para estudios histopatológicos en diferentes órganos de esta especie.
- Comparar los resultados obtenidos durante el segundo año del Programa de Monitoreo Ambiental del HRC (otoño 2016), con los de estudios realizados durante

el primer año de ese programa (abril 2015 - marzo 2016) y durante el Programa de Diagnóstico Ambiental del HRC y sus ríos tributarios (abril 2014 -marzo 2015).

4.2.5.3. Material y métodos

Obtención de las muestras en las riberas de los sitios de estudio

Durante mayo y junio (campaña de otoño) y octubre (campaña de primavera) del año 2016 se procedió a realizar muestreos para recolectar la ictiofauna presente en sectores ribereños de los siguientes seis sitios de muestreo: Ciruelos, Rucaco y Punucapa en el eje central del río Cruces, ríos Pichoy y Cayumapu (sector interior) y río Calle Calle (sector Chumpullo) ver Fig. 4.2.5.1.

La captura de peces se realizó con un equipo de pesca eléctrica EFKO-Elektrofischfangergeräte GMBH, Typ FEG 1500 el que se utilizó a lo largo de cuatro secciones de aproximadamente 15 m y ubicadas aleatoriamente en las riberas de cada sitio de muestreo. Durante el año 2015 también se muestreó en cuatro secciones, a la vez que durante el año 2014 el número de secciones estudiadas fueron tres. El tiempo de trabajo en cada sección fue de aproximadamente 10 minutos, a la vez que la profundidad de captura no excedió el metro de profundidad. Los peces recolectados se guardaron en bolsas ziploc, para la posterior identificación taxonómica y recuento de especímenes en el laboratorio.

Análisis taxonómicos

La identificación taxonómica de los peces capturados se realizó en base a su morfología externa, considerando los estudios de Arratia (1981, 1987), Campos (1982, 1984), Campos & Gavilán (1996), Campos *et al.*, (1993), Dyer (1997), Pequeño (1981), Ruiz & Marchant (2004) y Arismendi & Penaluna (2009).

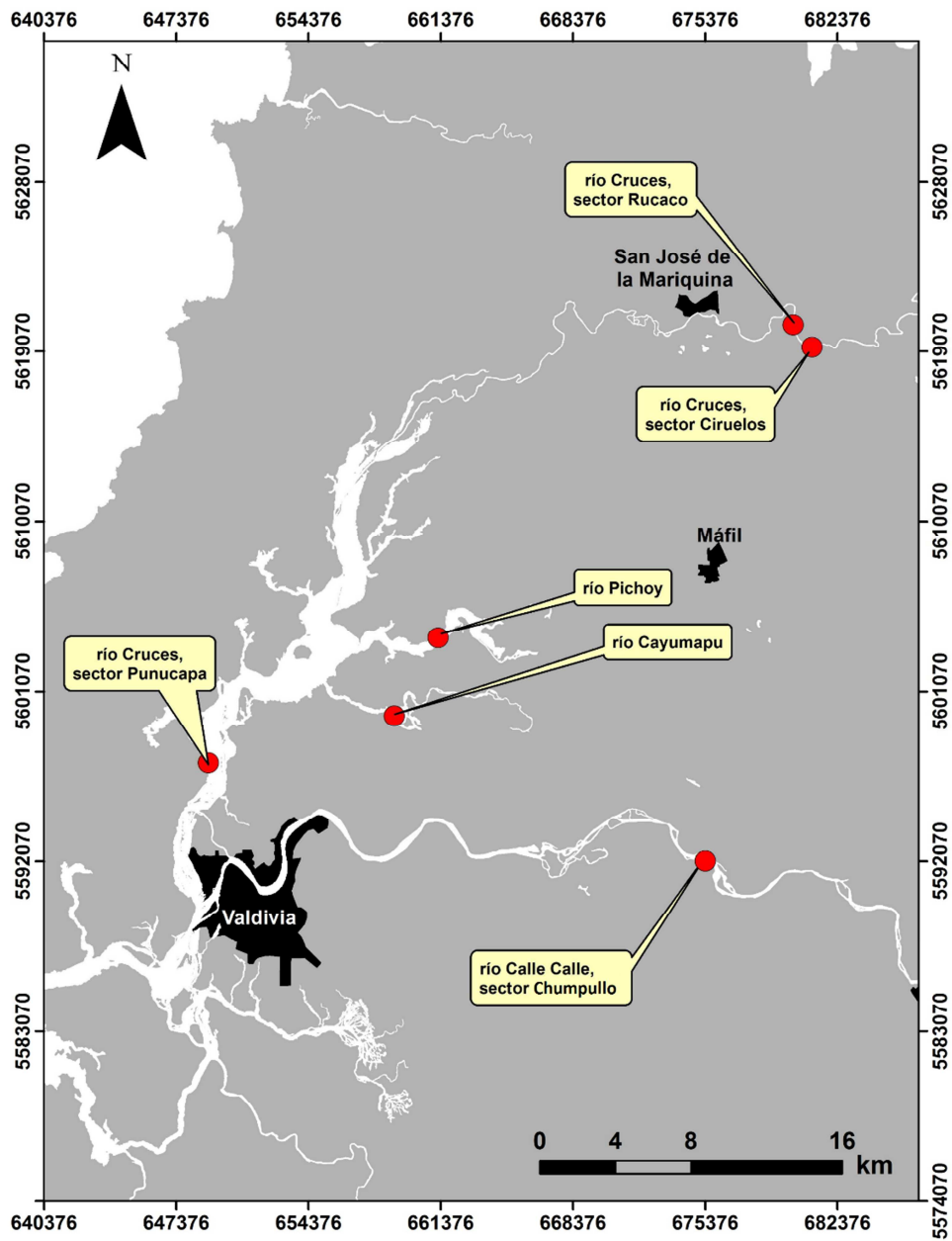


Figura 4.2.5.1. Ubicación de los sitios de muestreo seleccionados para los estudios de la ictiofauna ribereña del área de estudio.

Abundancias e índices comunitarios de la ictiofauna

Los datos de abundancia de las secciones estudiadas en las riberas de los sitios de estudio, fueron promediados para los análisis de estructura comunitaria de la ictiofauna. Se estimaron además, las abundancias de las dos especies más representativas de las riberas del área de estudio: el Puye y la Gambusia (ver resultados del Programa de Diagnóstico Ambiental del HRC).

Los datos de abundancia de los peces recolectados se utilizaron para cálculos de índices de diversidad mediante el uso del paquete estadístico PRIMER 6.0 (Clarke & Gorley, 2001). En particular, se efectuaron los siguientes cálculos utilizándose el menú DIVERSE de este “software”:

- Índice de diversidad de Shannon-Wiener: $H' = - \sum p_i (\log p_i)$, en donde p_i es la proporción del número total de individuos que aparece representada en la especie i . El índice permite obtener un indicador (H') de la relación entre el número de especies y sus respectivas abundancias numéricas dentro de la comunidad (Magurran & Magurran, 1988). Para todos los cálculos efectuados en este estudio, se utilizó Log en base 10.
- Índice de uniformidad de Pielou: $J = H' (\text{observado}) / H' (\text{máxima})$, en donde $H' (\text{máxima})$ es la diversidad máxima posible, que se podría obtener si todas las especies tuvieran los mismos valores de abundancia. El índice representa la uniformidad (equitatividad) en la distribución numérica entre las diferentes especies del conjunto estudiado en cada período de muestreo.

Estimaciones de tamaño corporal del Puye (*Galaxias maculatus*)

Se midieron especímenes de la especie numéricamente dominante *Galaxias maculatus*, en los muestreos realizados con pesca eléctrica en las riberas de los sitios de

estudio anteriormente mencionados. Se midió la longitud total (distancia entre el extremo del hocico y el extremo distal de la aleta caudal) ver Fig. 4.2.5.2.

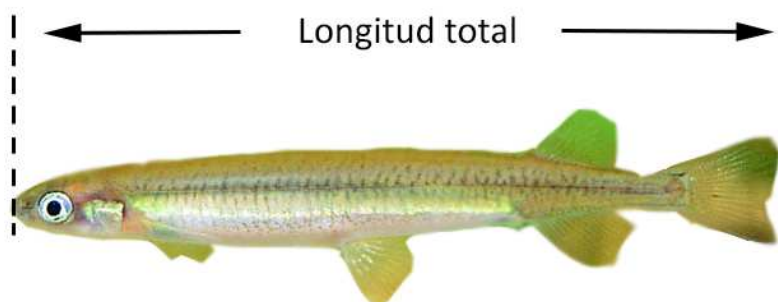


Figura 4.2.5.2. Mediciones de longitud realizadas en los especímenes de peces recolectados en este estudio. Estas se indican sobre el esquema del Puye (*Galaxias maculatus*).

Análisis de elementos y compuestos químicos

Debido a la necesidad de contar con una biomasa adecuada para realizar los análisis químicos, se trabajó con ejemplares completos de Puye. Los tejidos obtenidos se lavaron con abundante agua desionizada, se sonicaron para eliminar los restos de sedimento que pudieran haber quedado adheridos a los mismos y luego se secaron por liofilización; posteriormente, se pulverizaron los tejidos así tratados.

Las muestras así preparadas para análisis de metales pesados, se atacaron mediante digestión ácida en microonda para posteriormente ser analizadas por Espectroscopía de Absorción Atómica de Llama. Debido a la conocida baja concentración de Plomo en esta matriz, los análisis para cuantificar la concentración de este elemento en particular, se realizaron con ICP-MS y/o Espectroscopía de Absorción Atómica con horno de grafito. Las muestras para análisis de AOX se analizaron mediante titulación microcoulombimétrica (Norma Europea EN ISO 9562 y EN 1485, respectivamente), luego

de la adsorción de los compuestos halogenados en carbón activado y extracción con un solvente, respectivamente.

Las muestras para análisis de Dioxinas y Furanos se analizaron en el laboratorio Marschwood Scientific Service en Inglaterra, mediante Cromatografía Gaseosa de Alta Resolución-Espectrometría de Masa de Alta Resolución (HRGC-HRMS), de acuerdo al método EPA 1613.

Evaluación del estado sanitario

Los puyes capturados se estudiaron en el Laboratorio de Biotecnología y Patología Acuática, Laboratorio de Anatomía Patológica y Laboratorio de Parasitología del Instituto de Patología Animal de la Facultad de Ciencias Veterinarias de la Universidad Austral de Chile.

A cada grupo de peces muestreado e ingresado al Laboratorio, se le asignó un n° de caso, con fecha de ingreso, identificación de la especie y número de especímenes recolectados. Se realizó un examen clínico y necropsia de cada pez, con determinación del peso húmedo y longitud, condición gonádica y toma de muestras de tejidos para análisis de laboratorio (bacteriología, virología y parasitología) por grupo de muestreo y tomando nota de toda anormalidad clínica en una ficha de necropsia. Aparte de lo anterior, se obtuvieron muestras de tejidos para análisis histopatológicos. Todos los procedimientos e instructivos están normalizados y forman parte del SOP (“Standard Operational Procedures”) del Laboratorio de Biotecnología y Patología Acuática del Instituto de Patología Animal y están basados en el Manual of “Diagnostic Tests for Aquatic Animals” de la OIE (Organización Mundial de Salud Animal (OIE 2012). Más detalles se encuentran en el Informe Final del Programa de Diagnóstico Ambiental del humedal del HRC y sus ríos tributarios.

Análisis histopatológicos

Los exámenes histológicos se realizaron en peces completos, posterior a la fijación de los especímenes en formalina al 10%. Las muestras se procesaron en el Laboratorio de Anatomía Patológica del Instituto de Patología Animal de la Facultad de Ciencias Veterinarias de la Universidad Austral de Chile, donde se les asignó un número de laboratorio. Los puyes completos fueron introducidos en casetes plásticos, los que se procesaron de acuerdo a lo descrito por Luna (1968), en un equipo con frascos conteniendo alcoholes graduados en forma ascendente, pasando por solventes y terminando en parafina líquida, con el fin de deshidratar e impregnar en parafina los tejidos. Finalmente, los Puyes se incluyeron en parafina sólida, para luego ser cortados mediante micrótopo a cinco micras de grosor, obteniéndose láminas muy delgadas. Estas se montaron en portaobjetos para ser teñidas con hematoxilina eosina y ser cubiertas con un cubreobjetos, para posteriormente ser analizadas mediante el uso de microscopio óptico.

Mediante la observación microscópica y en base a Ferguson (2006), Roberts (2012) y Bruno *et al.* (2013), se evaluaron las características histopatológicas del sistema nervioso central (SNC), hígado, riñón, páncreas, corazón, branquias, estómago, intestino, gónadas y piel. Dado el grosor de las láminas cortadas y el pequeño tamaño de los peces estudiados, no siempre se obtuvieron muestras de todos los tejidos.

Este examen permite evaluar las características microscópicas de los tejidos, estableciéndose evidencias de normalidad o alteraciones patológicas (*e.g.*, inflamaciones, degeneraciones, alteraciones circulatorias, necrosis, malformaciones o neoplasias). Por otra parte, en peces tan pequeños como los Puyes, la histopatología es una forma apropiada para observar la presencia de parásitos en los tejidos (Gardiner & Poynton, 1999), metodología utilizada en este estudio para identificar los parásitos presentes en los peces analizados.

4.2.5.4. Resultados

4.2.5.4.1. Estudios comunitarios y poblacionales

Composición taxonómica de la ictiofauna de las riberas

La Tabla 4.2.5.1 muestra que en general, se ha recolectado un número mayor de especies de peces durante las campañas de otoño (7, 10 y 10 especies durante los años 2014, 2015 y 2016, respectivamente) que durante los muestreos de primavera de cada año (5, 7 y 8 especies durante los años 2014, 2015 y 2016, respectivamente). Tales diferencias no pueden ser atribuibles por ejemplo a diferencias en esfuerzo de muestreo (3 vs 4), ya que los valores más altos en la riqueza de especies han ocurrido durante la misma estación del año (otoño).

La Tabla 4.2.5.1 muestra también que durante los años 2014, 2015 y 2016, la fauna de peces de las riberas del área de estudio ha estado primariamente representada por especies nativas (ca. 71, 80, 70, 71, 70 y 75 % durante el otoño 2014, primavera 2014, otoño 2015, primavera 2015, otoño 2016 y primavera 2016, respectivamente).

Tabla 4.2.5.1. Nombre científico, nombre común y origen (**N** = especie nativa; **I** = especie introducida) de las especies recolectadas en las riberas de los sitios de muestreo, durante las campañas de otoño y primavera de los años 2014 (O14 y P14, respectivamente), 2015 (O15 y P15, respectivamente) y 2016 (O16 y P16, respectivamente). X = presencia.

nombre científico	nombre común	origen	campañas					
			O14	P14	O15	P15	O16	P16
<i>Galaxias maculatus</i> (Jenyns, 1842)	Puye, Puye chico	N	X	X	X	X	X	X
<i>Gambusia affinis</i> (Baird & Girard, 1853)	Gambusia, Pez mosquito	I	X	X	X	X	X	X
<i>Percichthys trucha</i> (Valenciennes, 1833)	Perca trucha	N		X	X		X	X
<i>Percilia gillissi</i> (Girard, 1855)	Carmelita, Carmelia común, Coloradita	N		X	X	X	X	X
<i>Cheirodon</i> sp.	Pocha, Pocha del sur	N	X		X	X	X	X
<i>Geotria australis</i> (Gray, 1851)	Lamprea de bolsa, Anguila blanca, Lamprea agua dulce	N	X	X	X	X	X	X
<i>Trichomycterus areolatus</i> (Valenciennes, 1848)	Bagre de agua dulce	N	X		X	X	X	X
<i>Oncorhynchus mykiss</i> (Walbaum, 1792)	Trucha arcoíris	I	X		X		X	
<i>Basilichthys australis</i> (Eigenmann, 1928)	Pejerrey, Pejerrey Chileno	N	X		X		X	
<i>Tinca</i> sp.	Tenca	I			X			
<i>Salmo trutta</i>	Trucha café	I				X		X
<i>Cyprinus carpio</i>	Carpa	I					X	

Abundancia de la ictiofauna de las riberas

La Tabla 4.2.5.2 y Figura 4.2.5.3 muestran la abundancia total de las especies de peces recolectados en las riberas del río Cruces (sectores Ciruelos, Rucaco, y Punucapa), ríos tributarios del humedal (Pichoy y Cayumapu) y río Calle Calle (sector Chumpullo) (cf. Fig. 4.2.5.1), durante las campañas de otoño y primavera de los años 2014, 2015 y 2016. Se muestra también las abundancias de los dos peces más comunes en las riberas del área

de estudio: el Puye (*Galaxias maculatus*) y la Gambusia (*Gambusia affinis*). Antes de cualquier comparación, se hace hincapié en la gran variabilidad en los valores de abundancia intra sitio *i.e.*, entre muestras o secciones (Fig. 4.2.5.3).

Los peces de las riberas del río Pichoy fueron más abundantes durante los muestreos otoñales (2014, 2015 y 2016); esta tendencia fue similar a la mostrada por las abundancias promedio de la ictiofauna del sector Ciruelos (2015 y 2016), Rucaco (2014 y 2016) y río Cayumapu (2014 y 2016). La comparación interanual de la ictiofauna de estos sectores, muestra que los valores más altos de abundancia fueron similares al comparar diferentes años de muestreo (Tabla 4.2.5.2). Por el contrario, los valores promedio de abundancia total de la ictiofauna en el sector Punucapa y en el río Calle Calle, no mostraron tendencias definidas de variabilidad estacional o inter anual (Tabla 4.2.5.2).

Las tendencias anteriormente descritas, fueron similares a las mostradas por la variabilidad temporal en las abundancias de *Galaxia maculatus* (Tabla 4.2.5.2 y Fig. 4.2.5.4). Las abundancias temporales de *Gambusia affinis* mostraron tendencias disímiles acorde a los sitios de muestreo: en Ciruelos y Rucaco, sólo se detectó a esta especie durante el muestreo de otoño del año 2014; en las riberas de los sectores de Punucapa y Calle Calle apareció en más de un muestreo pero en abundancias muy bajas, a la vez que en los ríos Pichoy y Cayumapu, *G. affinis* ocurrió en prácticamente todos los muestreos y en algunos casos con valores más altos que el mismo Puye (Tabla 4.2.5.2).

Tabla 4.2.5.2. Abundancia total de la ictiofauna, abundancia de *Galaxias maculatus* y *Gambusia affinis* en el área de estudio, durante las campañas de otoño y primavera de los años 2014, 2015 y 2016. Los valores son promedios con desviación estándar en paréntesis.

río Cruces	fecha	abundancia total	<i>G. maculatus</i>	<i>G. affinis</i>
Eje central del río Cruces				
(sector límnic)				
sector Ciruelos	otoño 2014	22,3 (12,7)	9,7 (4,9)	7,7 (4,6)
	primavera 2014	71,0 (56,2)	61,3 (50,5)	0,0 (0,0)
	otoño 2015	55,8 (22,6)	48,8 (21,2)	0,0 (0,0)
	primavera 2015	28,3 (14,1)	22,0 (15,2)	0,0 (0,0)
	otoño 2016	75,8 (21,9)	63,8 (22,2)	0,0 (0,0)
	primavera 2016	29,8 (19,4)	21,3 (16,4)	0,0 (0,0)
sector Rucaco	otoño 2014	18,0 (8,9)	14,3 (8,1)	2,7 (0,6)
	primavera 2014	10,0 (4,4)	9,0 (4,4)	0,0 (0,0)
	otoño 2015	24,3 (10,1)	17,3 (11,9)	0,0 (0,0)
	primavera 2015	29,6 (21,3)	16,8 (16,7)	0,0 (0,0)
	otoño 2016	45,5 (13,0)	23,5 (11,0)	0,0 (0,0)
	primavera 2016	19,5 (19,1)	16,3 (19,5)	0,0 (0,0)
Eje central del río Cruces				
(sector estuarial)				
sector Punucapa	otoño 2014	21,7 (2,5)	20,7 (2,3)	0,3 (0,6)
	primavera 2014	21,7 (6,4)	17,0 (10,5)	2,0 (3,5)
	otoño 2015	3,3 (2,5)	2,3 (1,5)	0,0 (0,0)
	primavera 2015	5,3 (4,6)	4,5 (4,0)	0,3 (0,5)
	otoño 2016	11,0 (10,9)	3,0 (2,4)	7,3 (11,4)
	primavera 2016	35,3 (40,9)	12,8 (5,0)	0,0 (0,0)
Ríos tributarios del humedal				
río Pichoy , sector interior	otoño 2014	31,0 (4,0)	11,3 (3,8)	19,0 (2,0)
	primavera 2014	10,0 (6,1)	10,0 (6,1)	0,0 (0,0)
	otoño 2015	28,3 (24,9)	5,8 (4,1)	17,8 (26,3)
	primavera 2015	11,8 (6,8)	2,5 (5,0)	1,5 (3,0)
	otoño 2016	32,5 (16,8)	3,5 (7,0)	24,8 (13,3)
	primavera 2016	13,8 (23,6)	0,0 (0,0)	2,5 (4,4)

Continuación **Tabla 4.2.5.2.**

río Cruces	fecha	abundancia total	<i>G. maculatus</i>	<i>G. affinis</i>
río Cayumapu, sector interior	otoño 2014	44,3 (5,9)	10,0 (1,7)	34,3 (7,6)
	primavera 2014	4,3 (5,1)	1,7 (1,5)	1,3 (2,3)
	otoño 2015	9,3 (11,6)	1,8 (1,7)	7,0 (12,7)
	primavera 2015	22,5 (12,0)	5,3 (6,2)	13,8 (9,9)
	otoño 2016	44,0 (32,7)	6,0 (4,2)	37,0 (36,2)
	primavera 2016	23,5 (9,5)	4,5 (2,4)	10,8 (6,2)
Fuera del humedal del río y sus ríos tributarios				
río Calle Calle, sector Chumpullo	otoño 2014	7,0 (7,9)	4,7 (4,7)	0,3 (0,6)
	primavera 2014	22,0 (9,2)	22,0 (9,2)	0,0 (0,0)
	otoño 2015	12,5 (11,6)	8,3 (9,7)	2,0 (3,4)
	primavera 2015	8,3 (4,1)	7,5 (4,7)	0,0 (0,0)
	otoño 2016	19,0 (12,6)	13,8 (8,6)	0,0 (0,0)
	primavera 2016	15,8 (6,9)	9,5 (6,7)	0,0 (0,0)

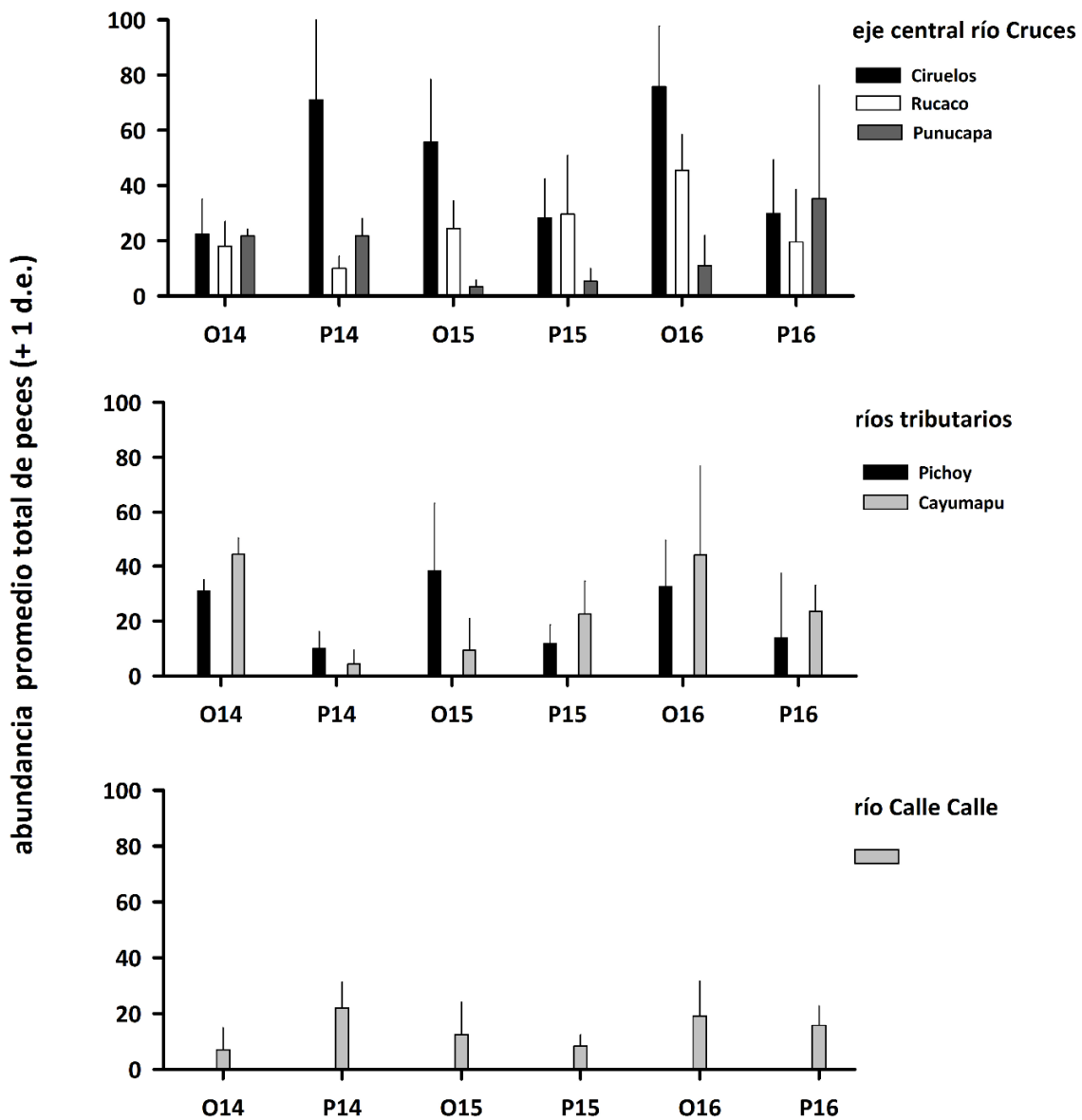


Figura 4.2.5.3. Abundancia promedio total de la ictiofauna, durante las campañas de otoño y primavera de los años 2014, 2015 y 2016. O = otoño, P = primavera. Los valores son promedios con una desviación estándar.

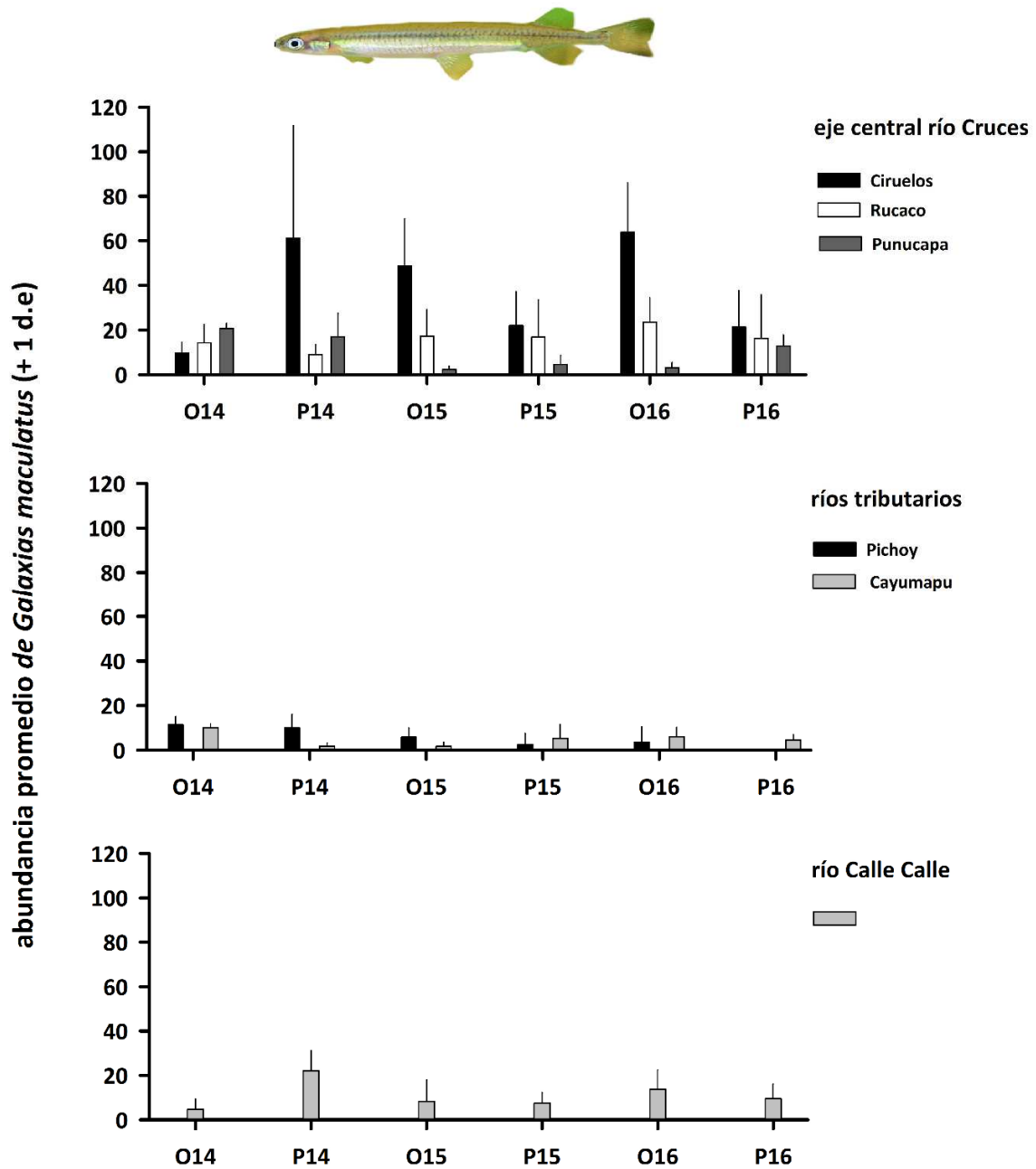


Figura 4.2.5.4. Abundancia promedio total del Puye, durante las campañas de otoño y primavera de los años 2014, 2015 y 2016. O = otoño, P = primavera. Los valores son promedios con una desviación estándar.

Diversidad de la ictiofauna en las riberas

La Tabla 4.2.5.3 muestra los valores de los índices univariados estimados para evaluar la diversidad de la ictiofauna recolectada en las riberas del área de estudio, durante otoño y primavera de los años 2014, 2015 y 2016. La Figura 4.2.5.5 muestra la variabilidad espacio - temporal en la riqueza de especies de la ictiofauna de las riberas.

En general, el número promedio más alto de especies ocurrió en los sitios de Ciruelos y Rucaco (hasta 5,0 y 6,0 especies, respectivamente); similarmente, los valores más altos del Índice de Shannon & Wiener se estimaron para estos sitios (hasta 0,50 y 0,38, respectivamente) (Tabla 4.2.5.3). No se detectaron tendencias claras de variabilidad temporal en ninguno de esos sitios; es decir, los valores más altos o más bajos no mostraron relación con la estacionalidad. Por el contrario, valores altos de uniformidad ($> 0,60$ se detectaron en todos los sitios de muestreo de ictiofauna) (Tabla 4.2.5.3).

Tabla 4.2.5.3. Valores promedio del número de especies (n), Índice de Shannon & Wiener y Uniformidad estimados para la ictiofauna de las riberas del área de estudio (cf. Fig. 4.2.5.1 para ubicación de los sectores). Los valores son promedios con desviación estándar en paréntesis. n= número de especie.

río Cruces	fecha	n	Shannon & Wiener	Uniformidad
Eje central del río Cruces				
(sector límnico)				
sector Ciruelos	otoño 2014	5,0 (1,7)	0,50 (0,2)	0,71 (0,1)
	primavera 2014	3,0 (0,5)	0,29 (0,1)	0,83(0,1)
	otoño 2015	3,0 (1,7)	0,14 (0,2)	0,22 (0,2)
	primavera 2015	2,5 (0,6)	0,25 (0,2)	0,61 (0,3)
	otoño 2016	3,8 (0,5)	0,22 (0,1)	0,38 (0,1)
	primavera 2016	3,0 (0,8)	0,31 (0,1)	0,67 (0,2)
sector Rucaco	otoño 2014	4,0 (0,6)	0,29(0,1)	0,48 (0,3)
	primavera 2014	2,0 (0,0)	0,25 (0,0)	0,82 (0,1)
	otoño 2015	4,0 (1,0)	0,29 (0,1)	0,55 (0,1)
	primavera 2015	6,0 (4,7)	0,38 (0,1)	0,70 (0,1)
	otoño 2016	4,3 (1,0)	0,35 (0,1)	0,55 (0,1)
	primavera 2016	2,8 (1,0)	0,29 (0,2)	0,67 (0,3)
Eje central del río Cruces				
(sector estuarial)				
sector Punucapa	otoño 2014	3,0 (1,0)	0,09 (0,1)	0,20 (0,0)
	primavera 2014	3,0 (1,0)	0,23 (0,2)	0,58 (0,5)
	otoño 2015	2,0 (0,6)	0,15 (0,2)	0,50 (0,6)
	primavera 2015	1,5 (0,6)	0,10 (0,1)	0,33 (0,4)
	otoño 2016	2,0 (0,8)	0,17 (0,1)	0,61 (0,1)
	primavera 2016	1,8 (0,5)	0,14 (0,1)	0,46 (0,4)
Río tributario del humedal				
(sector estuarial)				
río Pichoy, interior	otoño 2014	3,0 (0,6)	0,32 (0,0)	0,68 (0,2)
sector interior	primavera 2014	1,0 (0,0)	0,00 (0,0)	0,00 (0,0)
	otoño 2015	3,0 (0,5)	0,34 (0,1)	0,67 (0,2)
	primavera 2015	2,0 (0,0)	0,26 (0,0)	0,87 (0,1)
	otoño 2016	2,5 (0,6)	0,27 (0,1)	0,67 (0,2)
	primavera 2016	1,5 (1,3)	0,12 (0,1)	0,33 (0,4)

Continuación **Tabla 4.2.5.3**

río Cruces	fecha	N	Shannon & Wiener	uniformidad
río Cayumapu, sector interior	otoño 2014	2,0 (1,5)	0,23 (0,0)	0,77 (0,1)
	primavera 2014	3,0 (1,5)	0,16 (0,3)	0,33 (0,6)
	otoño 2015	2,0 (1,0)	0,11 (0,2)	0,24 (0,5)
	primavera	2,0 (0,8)	0,20 (0,2)	0,42 (0,5)
	otoño 2016	2,5 (0,6)	0,21 (0,1)	0,56 (0,4)
	primavera 2016	3,0 (0,0)	0,41 (0,0)	0,86 (0,1)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios				
río Calle Calle, sector Chumpullo	otoño 2014	3,0 (0,6)	0,34 (0,2)	0,70 (0,1)
	primavera 2014	1,0 (0,0)	0,00 (0,0)	0,00 (0,0)
	otoño 2015	2,0 (0,5)	0,30 (0,1)	0,80 (0,1)
	primavera 2015	1,5 (0,6)	0,10 (0,1)	0,33 (0,4)
	otoño 2016	2,5 (0,6)	0,27 (0,1)	0,70 (0,1)
	primavera 2016	2,0 (0,8)	0,19 (0,1)	0,55 (0,4)

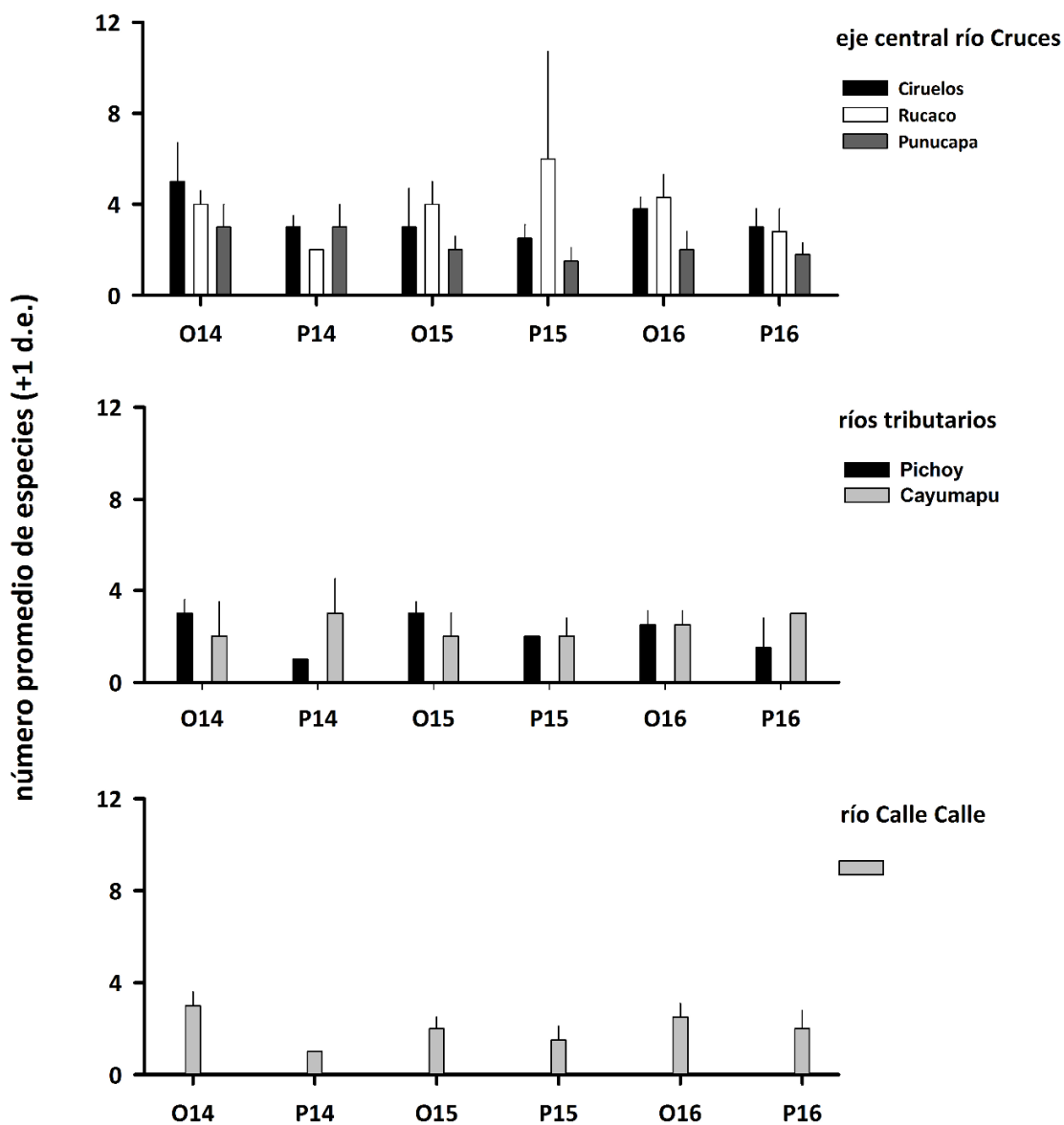


Tabla 4.2.5.5. Valores promedio del número de especies, durante las campañas de otoño y primavera de los años 2014, 2015 y 2016. O = otoño, P = primavera. Los valores son promedios con una desviación estándar.

Tamaño corporal del Puye

La Tabla 4.2.5.4 muestra el número de individuos (n), media, moda y rangos de tallas corporales (mínimos y máximos) de los puyes recolectados en las riberas del río Cruces (sectores Ciruelos, Rucaco, y Punucapa), ríos tributarios del humedal (ríos Pichoy y Cayumapu) y río Calle Calle (sector Chumpullo), durante las campañas de otoño y primavera de los años 2014, 2015 y 2016.

El tamaño corporal del Puye durante el otoño del año 2014 varió entre 2,4 y 7,8 cm (Rucaco y Calle Calle, respectivamente); los especímenes con mayor longitud (> 5 cm, considerando la media, moda y rangos de tamaños) se recolectaron en el sector río Calle Calle (media=5,0 cm) (Tabla 4.2.5.4).

Durante la campaña primaveral del año 2014, el tamaño corporal de *G. maculatus* varió entre 2,4 y 12,5 cm (Calle Calle y Pichoy, respectivamente); al igual que durante la campaña de otoño del 2014, los puyes más grandes se recolectaron en el río Calle Calle, (media=6,3 cm) (Tabla 4.2.5.4).

El tamaño corporal del Puye durante el otoño del año 2015 varió entre 2,9 y 8,6 cm (Ciruelos & Rucaco y Pichoy, respectivamente); los especímenes más grandes (considerando la media, moda y rango de tamaños) se recolectaron en el río Cayumapu (media=5,9 cm) (Tabla 4.2.5.4 y Fig. 4.2.5.10). Los sectores Ciruelos y Rucaco fueron los que presentaron el mayor porcentaje de individuos pequeños (tamaño corporal < 5 cm) (Fig. 4.2.5.6 y 4.2.5.7).

Durante la campaña primaveral del año 2015, el tamaño corporal del Puye fluctuó entre 2,2 y 7,8 cm (Ciruelos y Pichoy, respectivamente); los individuos de mayor tamaño se recolectaron en el río Pichoy (media=6,7 cm) (Tabla 4.2.5.4 y Fig. 4.2.5.9), mientras que los más pequeños se recolectaron en el sector Ciruelos (media=5,3 cm) (Tabla 4.2.5.4 y Fig. 4.2.5.6).

Durante la campaña otoñal del año 2016, el tamaño corporal del Puye varió entre 2,6-2,7 y 9,4 cm (Calle Calle & Rucaco y Cayumapu & Calle Calle, respectivamente); los especímenes más grandes (considerando la media, moda y rango de tamaños) se recolectaron en el sector Punucapa (media=6,0 cm) (Tabla 4.2.5.4 y Fig. 4.2.5.8).

Durante la campaña primaveral del año 2016, el tamaño corporal del Puye fluctuó entre 1,5-1,6 y 8,1 cm (Punucapa & Calle y Calle Calle, respectivamente); los individuos de mayor tamaño se recolectaron en los ríos Cayumapu y Calle Calle (media=6,4 y 6,2, cm, respectivamente) (Tabla 4.2.5.4 y Fig. 4.2.5.10 y 4.2.5.11).

Los resultados presentados en la Tabla 4.2.5.4 y Figuras 4.2.5.6 a 4.2.5.11, muestran que en general los tamaños corporales de *Galaxias maculatus*, aumentan desde las campañas de otoño a primavera; esto es especialmente evidente en los sitios Ciruelos, Rucaco, Pichoy (no se recolectaron puyes durante la primavera del año 2016) y Cayumapu.

Tabla 4.2.5.4. Campaña, número de peces recolectados, media, moda y rangos de tallas corporales (valores en cm) de *Galaxias maculatus*. n= número de especímenes recolectados.

sectores	campañas	n	media	moda	rango
Eje central río Cruces (sector límnico)					
sector Ciruelos	otoño 2014	543	4,6	5,0	2,8- 7,6
	primavera 2014	184	5,4	4,5	3,8 - 8,1
	otoño 2015	399	4,6	4,8	2,9 - 8,1
	primavera 2015	88	5,3	5,3	2,2 - 7,6
	otoño 2016	337	4,5	4,3	3,1 - 7,0
	primavera 2016	85	5,4	5,2	2,2 - 7,5
sector Rucaco	otoño 2014	71	4,8	4,5	2,4 - 7,5
	primavera 2014	140	5,7	5,6	4,1 - 8,6
	otoño 2015	497	4,5	4,6	2,9 - 7,5
	primavera 2015	77	5,7	5,7	4,6 - 7,6
	otoño 2016	511	4,9	5,0	2,7 - 7,8
	primavera 2016	67	5,4	5,6	3,5 - 7,2
Eje central del río Cruces (sector estuarial)					
sector Punucapa	otoño 2014	66	4,8	5,0	3,5 - 6,5
	primavera 2014	218	5,7	6,0	3,9 - 8,3
	otoño 2015	32	5,1	4,9	4,0 - 7,6
	primavera 2015	22	5,8	5,6	4,5 - 7,1
	otoño 2016	47	6,0	6,2	4,5 - 7,3
	primavera 2016	51	5,8	6,0	1,5 - 7,6
Ríos tributarios del río Cruces (sector estuarial)					
río Pichoy, sector interior	otoño 2014	46	4,1	4,0	3,4 - 6,4
	primavera 2014	154	5,8	5,5	4,0 - 12,5
	otoño 2015	49	5,4	5,0	3,9 - 8,6
	primavera 2015	10	6,7	6,2	5,8 - 7,8
	otoño 2016	14	5	5,0	3,9 - 5,8
	primavera 2016	0	-	-	-

Continuación **Tabla 4.2.5.4**

sectores	campañas	n	media	moda	rango
río Cayumapu, sector interior	otoño 2014	30	4,7	4,5	3,3 - 6,6
	primavera 2014	158	5,5	5,0	4,2 - 7,6
	otoño 2015	28	5,9	5,5	4,2 - 8,5
	primavera 2015	21	5,8	5,6	5,3 - 6,5
	otoño 2016	47	5,9	4,6	3,9 - 9,4
	primavera 2016	18	6,4	6,0	5,7 - 7,4
Fuera del humedal del río					
Cruces y sus ríos tributarios					
sector río Calle Calle	otoño 2014	28	5,0	4,6	3,4 - 7,8
	primavera 2014	148	6,3	6,0	2,4 - 9,5
	otoño 2015	398	5,2	4,9	3,4 - 7,9
	primavera 2015	30	6,0	6,2	3,5 - 7,6
	otoño 2016	279	6,0	5,4	2,6 - 9,4
	primavera 2016	38	6,2	5,9	1,6 - 8,1

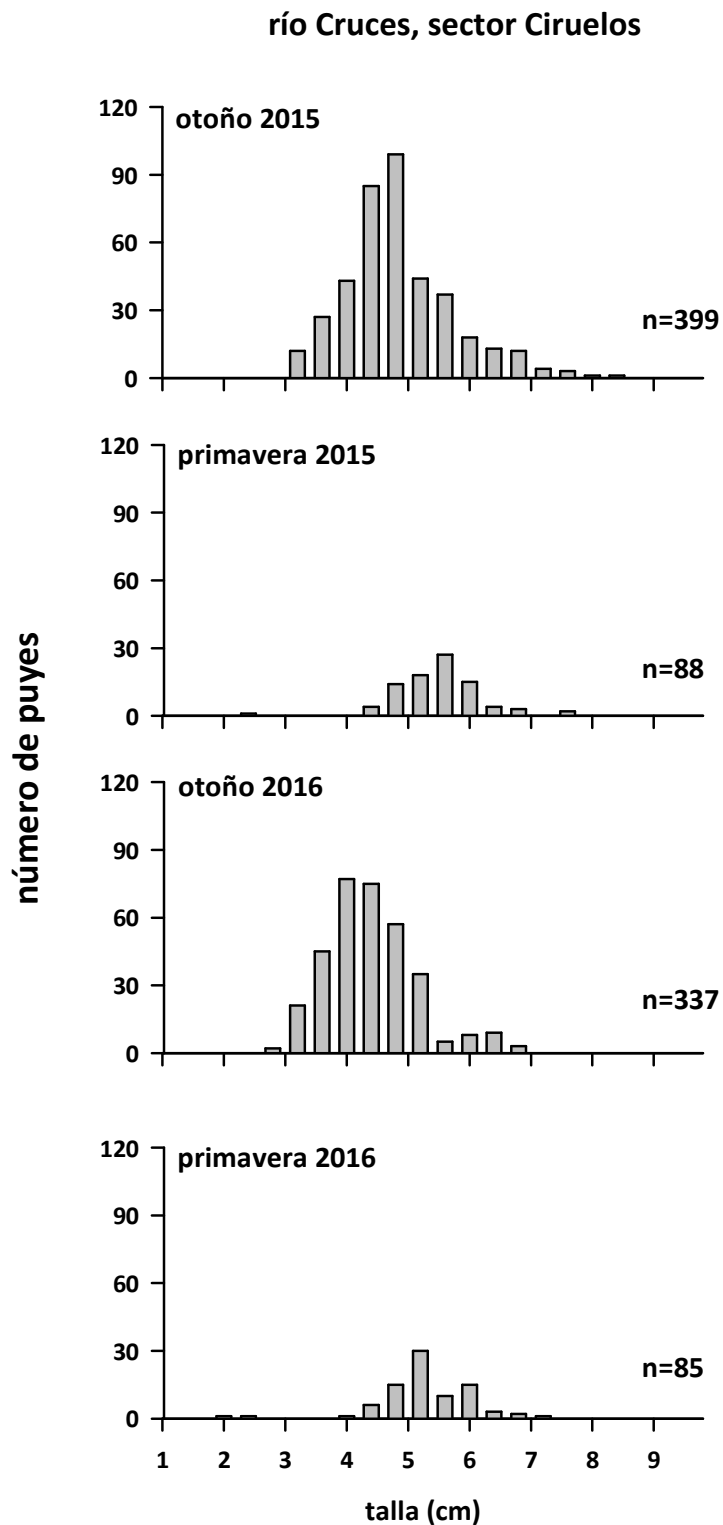


Figura 4.2.5.6. Distribución de tallas corporales del Puye en el río Cruces, sector Ciruelos, durante las campañas de otoño y primavera de los años 2015 y 2016.

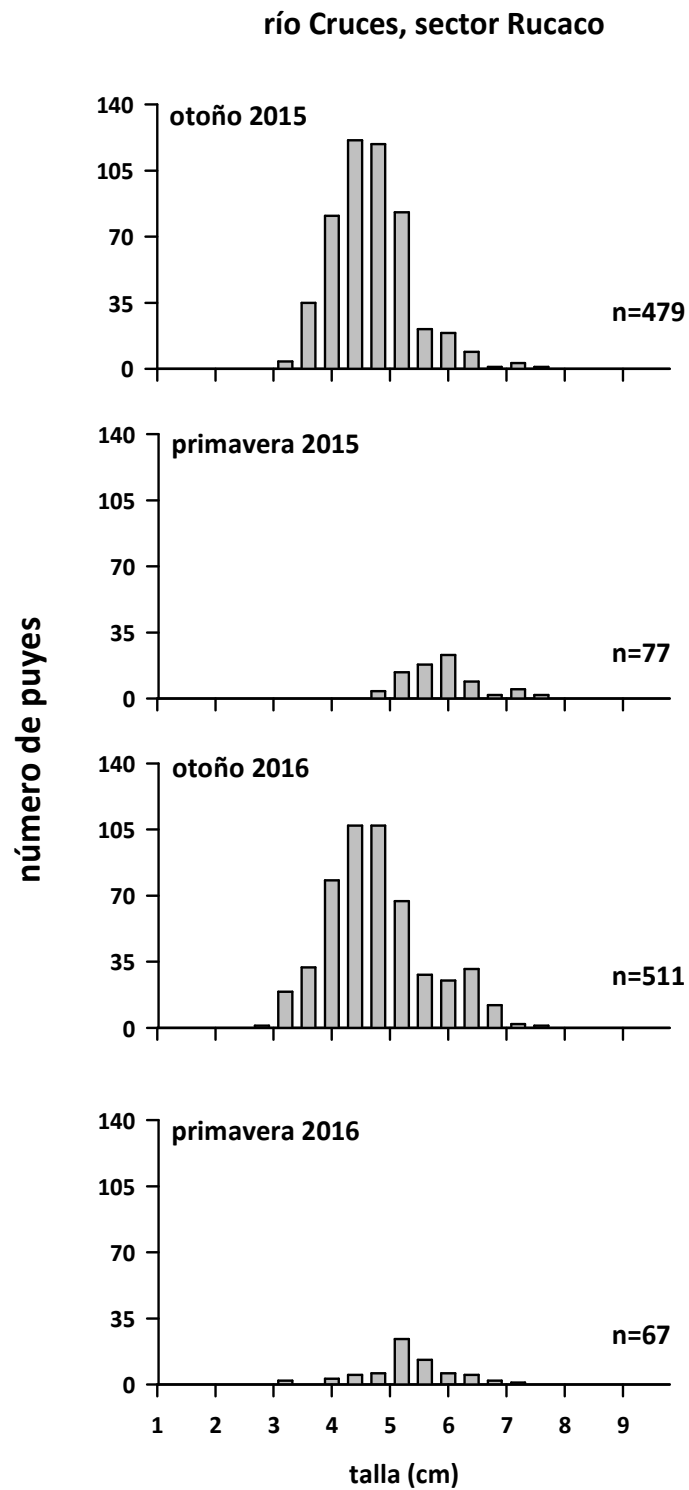


Figura 4.2.5.7. Distribución de tallas corporales del Puye en el río Cruces, sector Rucaco, durante las campañas de otoño y primavera de los años 2015 y 2016.

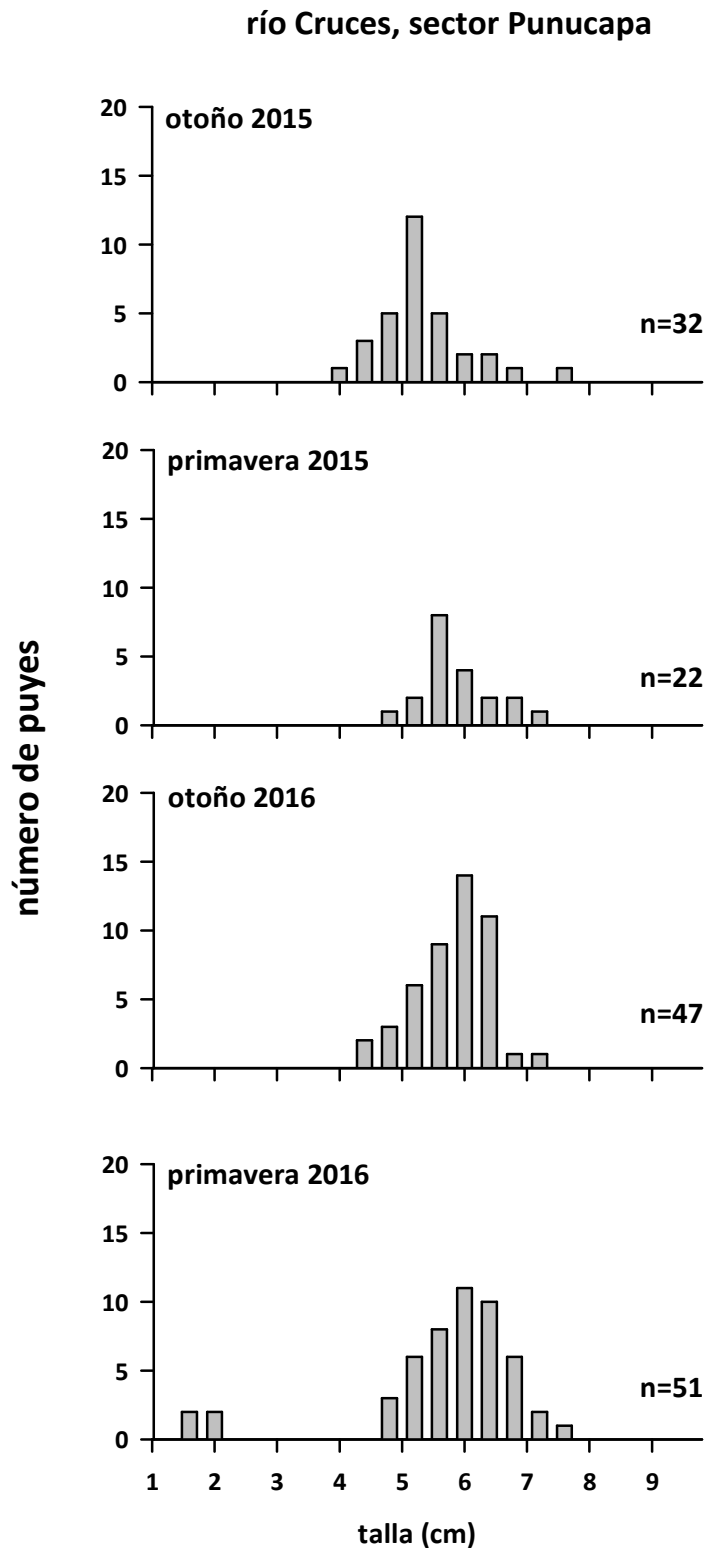


Figura 4.2.5.8. Distribución de tallas corporales del Puye en el río Cruces, sector Punucapa, durante las campañas de otoño y primavera de los años 2015 y 2016.

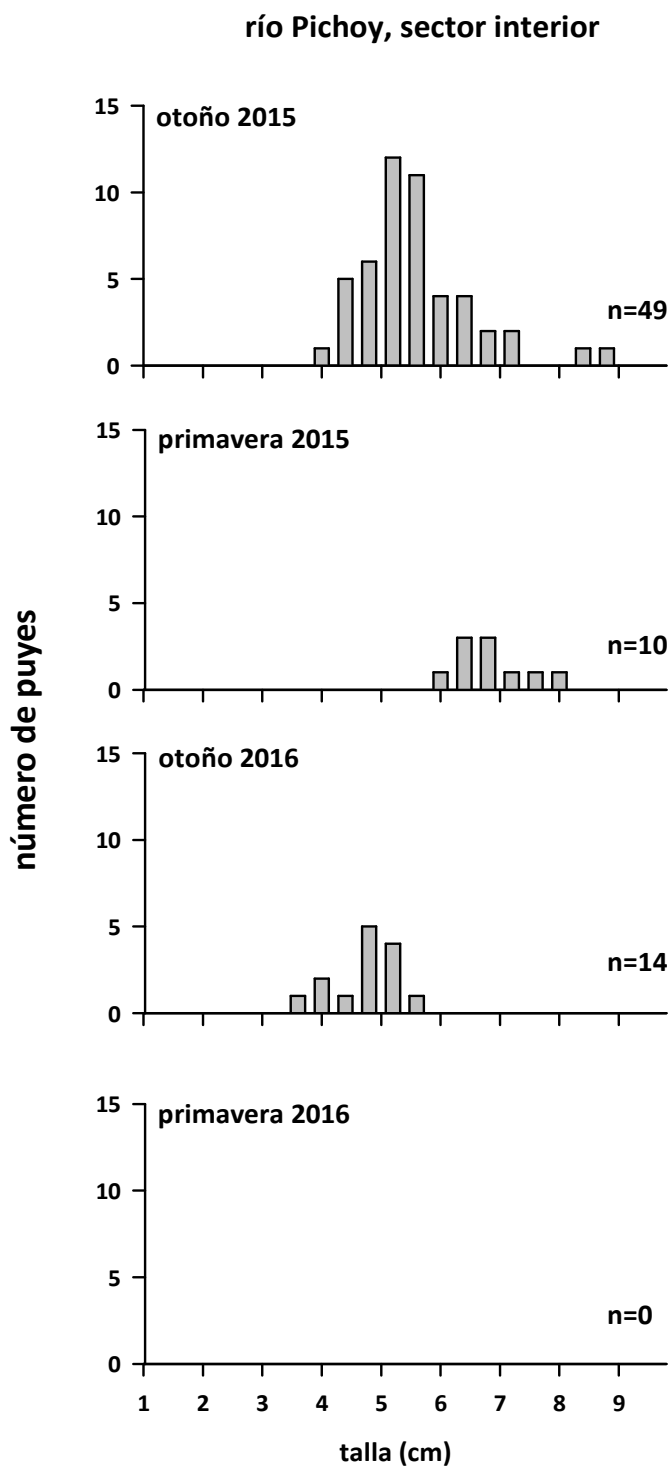


Figura 4.2.5.9. Distribución de tallas corporales del Puye en el río Pichoy, durante las campañas de otoño y primavera de los años 2015 y 2016.

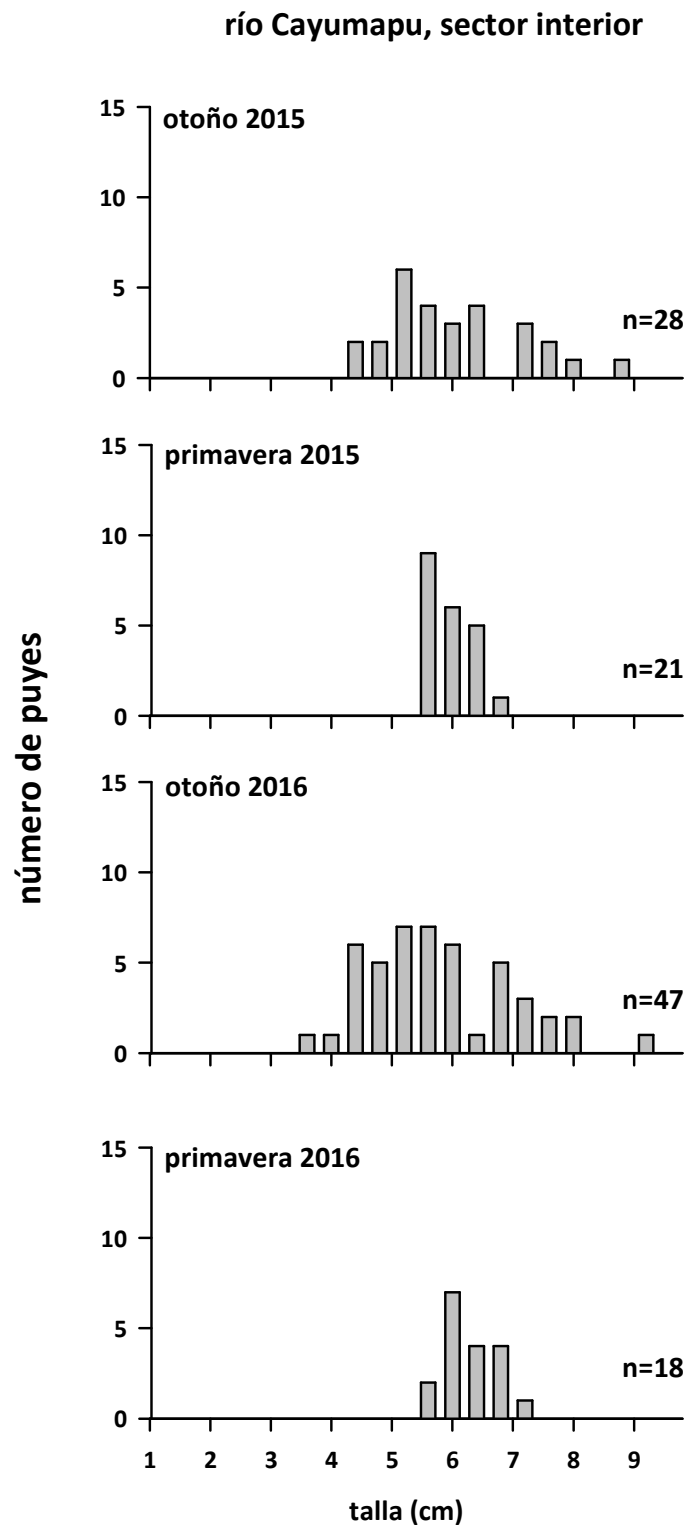


Figura 4.2.5.10. Distribución de tallas corporales del Puye en el río Cayumapu, durante las campañas de otoño y primavera de los años 2015 y 2016.

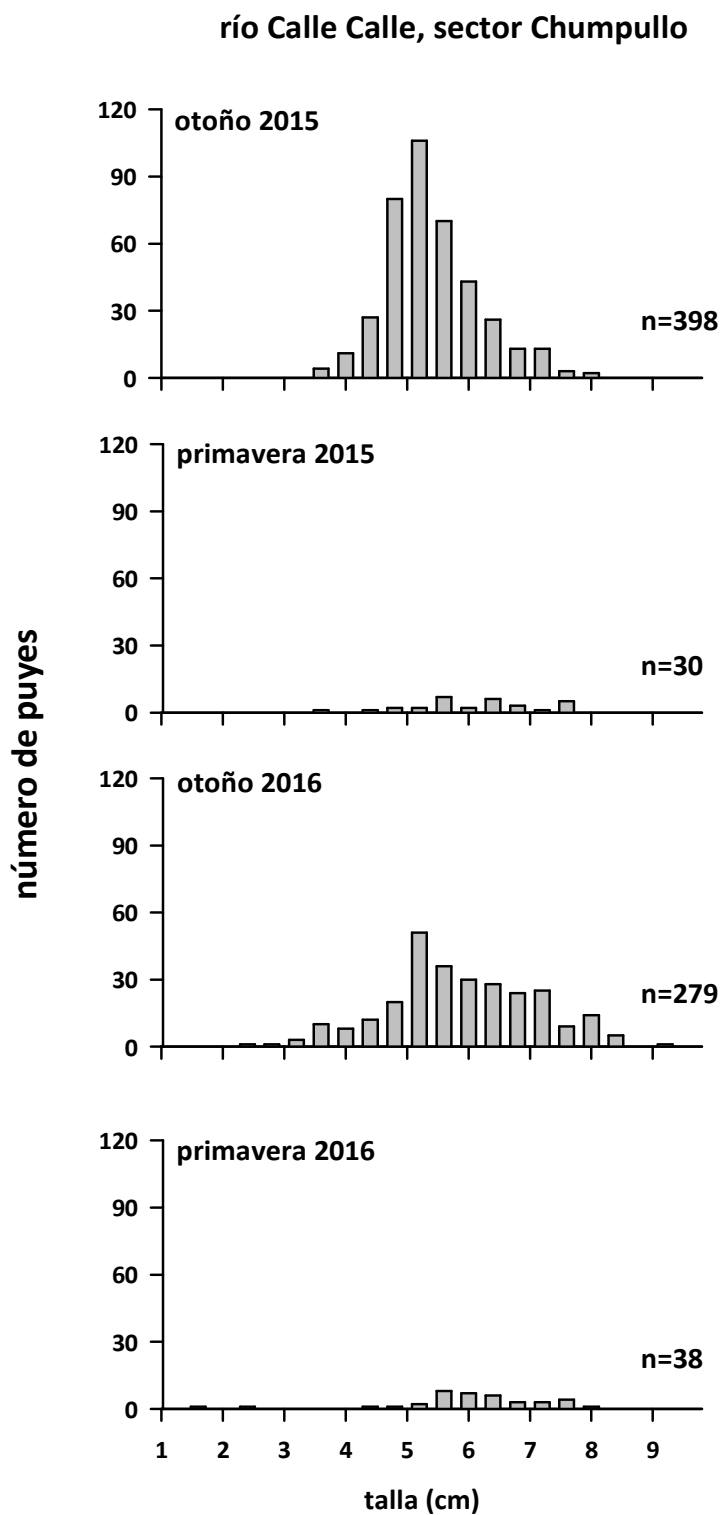


Figura 4.2.5.11. Distribución de tallas corporales del Puye en el río Calle Calle, sector Chumpullo durante las campañas de otoño y primavera de los años 2015 y 2016.

4.2.5.4.2. Elementos y compuestos químicos en *Galaxias maculatus*

Metales pesados

Las Tablas 4.2.5.5 a la 4.2.5.7 y la Figura 4.2.5.12, muestran la concentración de metales pesados en ejemplares completos de *Galaxias maculatus* recolectados durante las campañas de otoño y primavera 2014 y otoños 2015 y 2016.

Los metales pesados más representativos (*i.e.*, mayores concentraciones) encontrados en los tejidos de peces fueron Hierro, Aluminio y Zinc (Tablas 4.2.5.5 y 4.2.5.6 y Fig. 4.2.5.12). Las concentraciones de Hierro más altas, se registraron en el sector Rucaco durante otoño y primavera 2014 y en el río Calle Calle durante primavera 2014. Las concentraciones de Aluminio más altas se detectaron en el río Calle Calle durante primavera 2014 y otoño 2015 respectivamente, mientras que las más bajas se detectaron durante la última campaña (otoño 2016) en los sectores Rucaco y río Calle Calle. El Manganeso, mostró escasa variabilidad en el sector Ciruelos. En el sector Rucaco, el valor más bajo detectado en los puyes fue durante otoño 2016, mientras que en el río Calle Calle (sector Chumpullo), el valor más alto se detectó durante esta última campaña (Tablas 4.2.5.5).

Las concentraciones más altas de Cobre se han registrado en el río Calle Calle durante las campañas de otoño y primavera 2014. En tanto, las más bajas (no detectadas, *i.e.*, bajo el límite de detección del límite utilizado) fueron en los sectores Ciruelos y Rucaco durante las campañas de otoño de 2014 y 2015 y en el río Calle Calle (sector Chumpullo) durante la campaña de otoño 2015. (Tabla 4.2.5.6 y Fig. 4.2.5.12). Las concentraciones de Zinc en los ejemplares de *Galaxias maculatus* en los sectores del HRC, por lo general se han mantenido homogéneas. Los valores más altos y bajos se han registrado en el sector Rucaco, durante otoño 2015 y 2016, respectivamente. En los peces del río Calle Calle, por su parte, en la campaña de otoño 2016 se registró la concentración más alta de Zinc (Tabla 4.2.5.6 y Fig. 4.2.5.12). En general, las concentraciones de Plomo

en los peces dentro del HRC han sido más bajas que fuera de éste, siendo la concentración más alta la registrada durante la primavera de 2014 (río Calle Calle, sector Chumpullo), mientras que la concentración más baja se detectó durante otoño de 2015 (sector Ciruelos) (Tabla 4.2.5.6 y Fig. 4.2.5.12).

No se detectó Cadmio y Arsénico en las muestras de puyes recolectadas en el área de estudio. Durante otoño de 2016, se detectaron las concentraciones más altas de Mercurio en los peces recolectados, mientras que las más bajas se detectaron en otoño 2015 en ambos sectores dentro del HRC (sector Ciruelos y Rucaco) (Tabla 4.2.5.7 y Fig. 4.2.5.12).

Tabla 4.2.5.5. Concentraciones de Hierro, Aluminio y Manganeso en ejemplares completos de puyes recolectados durante las campañas de otoño y primavera del año 2014 y de las campañas otoñales de los años 2015 y 2016. O = otoño, P = primavera. Los valores son promedios con una desviación estándar.

estación	campanña	Hierro ($\mu\text{g g}^{-1}$)	Aluminio ($\mu\text{g g}^{-1}$)	Manganeso ($\mu\text{g g}^{-1}$)
Eje central río Cruces (sector límnico)				
sector Ciruelos	otoño 2014	266,1 (1,5)	186,8 (10,3)	89,9 (1,3)
	primavera 2014	270,6 (5,6)	218,1 (7,5)	42,2 (0,4)
	otoño 2015	329,1 (5,5)	444,3 (25,4)	55,2 (0,2)
	otoño 2016	321,3 (2,8)	246,2 (0,9)	74,9 (2,2)
sector Rucaco	otoño 2014	410,8 (5,8)	383,5 (2,0)	57,2 (1,4)
	primavera 2014	409,7 (9,0)	414,6 (17,3)	50,8 (0,7)
	otoño 2015	215, 1 (3,9)	234,2 (2,3)	88,5 (0,4)
	otoño 2016	177,1 (14,5)	165,1 (14,6)	15,2 (1,0)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios				
río Calle Calle, sector Chumpullo	otoño 2014	254,0 (20,5)	209,9 (6,1)	21,1 (0,5)
	primavera 2014	523,1 (9,7)	458,6 (9,7)	27,7 (0,2)
	otoño 2015	305,2 (30,7)	535,4 (10,6)	23,7 (0,8)
	otoño 2016	228,0 (11,0)	184,9 (19,4)	53,1 (0,4)

Tabla 4.2.5.6. Concentraciones de Cobre, Zinc y Plomo en ejemplares completos de puyes recolectados durante las campañas de otoño y primavera del año 2014 y de las campañas otoñales de los años 2015 y 2016. O = otoño, P = primavera. Los valores son promedios con una desviación estándar. * = no detectado, *i.e.*, bajo el límite de detección del método utilizado.

estaciones	campanias	Cobre ($\mu\text{g g}^{-1}$)	Zinc ($\mu\text{g g}^{-1}$)	Plomo ($\mu\text{g g}^{-1}$)
Eje central río Cruces (sector límnico)				
sector Ciruelos	otoño 2014	*	254,16 (5,3)	0,05 (0,0)
	primavera 2014	3,41 (0,0)	208,63 (3,1)	0,04 (0,0)
	otoño 2015	*	203,46 (0,4)	0,01 (0,0)
	otoño 2016	2,95 (0,1)	296,14 (3,1)	0,07 (0,0)
sector Rucaco	otoño 2014	*	225,99 (4,7)	0,06 (0,0)
	primavera 2014	3,31 (0,0)	213,25 (7,8)	0,13 (0,0)
	otoño 2015	*	339,90 (7,9)	0,07 (0,0)
	otoño 2016	2,60 (0,0)	138,14 (2,3)	0,09 (0,0)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios				
río Calle Calle, sector	otoño 2014	3,54 (0,0)	140,69 (4,7)	0,11 (0,0)
Chumpullo	primavera 2014	5,95 (0,0)	193,61 (1,1)	0,96 (0,2)
	otoño 2015	*	168,35 (0,8)	0,17 (0,0)
	otoño 2016	2,77 (0,2)	270,94 (3,9)	0,06 (0,0)

Tabla 4.2.5.7. Concentraciones de Cadmio, Arsénico y Mercurio en ejemplares completos de puyes recolectados durante las campañas de otoño y primavera del año 2014 y de las campañas otoñales de los años 2015 y 2016. O = otoño, P = Primavera. Los valores son promedios con una desviación estándar. * = no detectado, *i.e.*, bajo el límite de detección del método utilizado.

estaciones	campañas	Cadmio ($\mu\text{g g}^{-1}$)	Arsénico ($\mu\text{g g}^{-1}$)	Mercurio ($\mu\text{g g}^{-1}$)
Eje central río Cruces (sector límnico)				
sector Ciruelos	otoño 2014	*	*	0,270 (0,0)
	primavera 2014	*	*	0,281 (0,0)
	otoño 2015	*	*	0,090 (0,0)
	otoño 2016	*	*	0,427 (0,0)
sector Rucaco	otoño 2014	*	*	0,226 (0,0)
	primavera 2014	*	*	0,261 (0,0)
	otoño 2015	*	*	0,139 (0,0)
	otoño 2016	*	*	0,285 (0,0)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios				
río Calle Calle, sector Chumpullo	otoño 2014	*	*	0,198 (0,0)
	primavera 2014	*	*	0,272 (0,0)
	otoño 2015	*	*	0,223 (0,0)
	otoño 2016	*	*	0,394 (0,0)

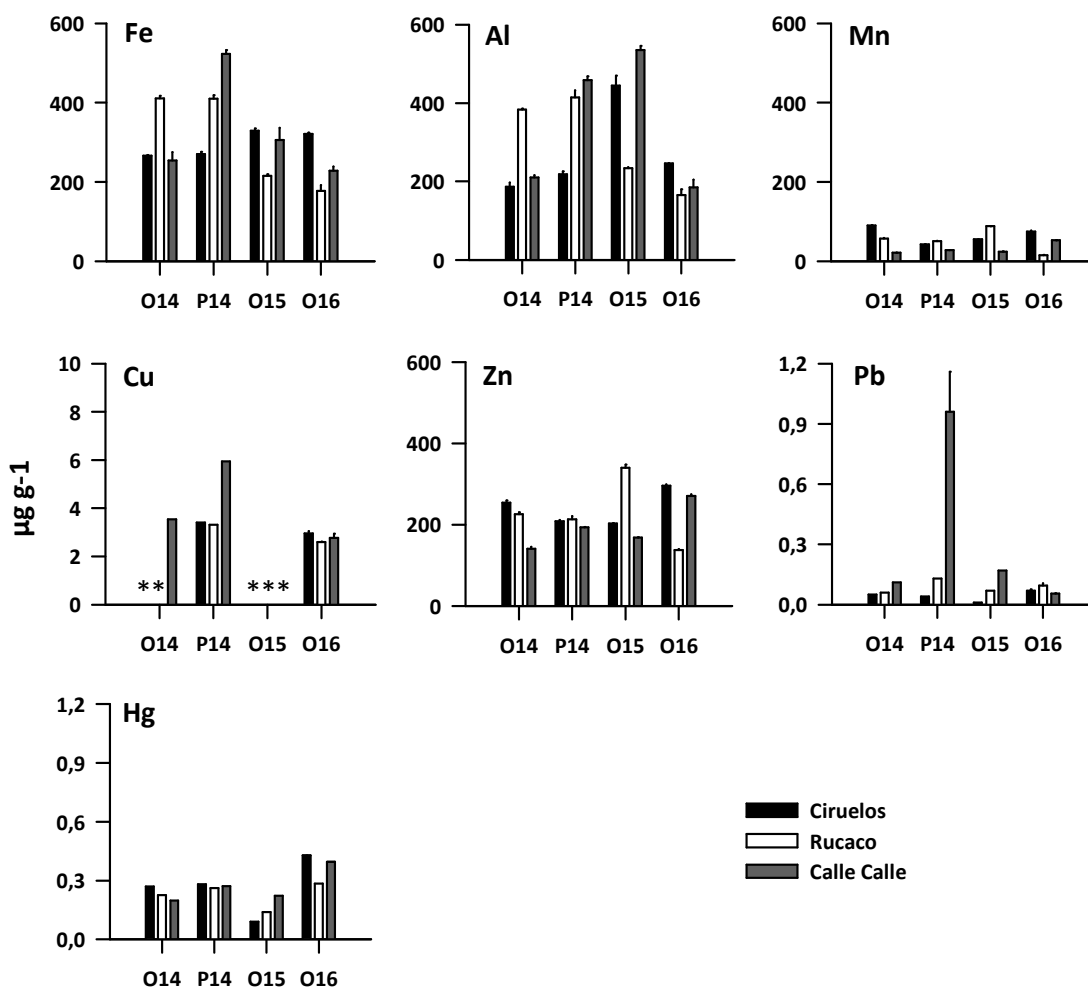


Figura 4.2.5.12. Concentración de metales pesados en ejemplares completos de puyes recolectados durante las campañas de otoño y primavera del año 2014 y de las campañas otoñales de los años 2015 y 2016. O = otoño, P = primavera. Los valores son promedios con una desviación estándar. * = no detectado, *i.e.* bajo el límite de detección del método utilizado.

Análisis estadísticos

Los resultados de los análisis de ANDEVA factorial y prueba *a posteriori* de Tukey, efectuados para evaluar eventuales diferencias en las concentraciones de metales pesados entre los años y sitios estudiados, se muestran en la Tabla 4.2.5.8. Las concentraciones de Hierro y Aluminio encontradas en especímenes de *Galaxias maculatus* durante el año 2016 fueron significativamente más bajas ($p < 0,05$) que las encontradas durante el año 2014. El Cobre encontrado durante el año 2015 fue significativamente más bajo ($p < 0,05$) que el encontrado durante el 2014 y 2016. Mientras que las concentraciones de Mercurio más altas y bajas significativamente ($p < 0,05$) se encontraron durante el 2016 y 2015 respectivamente. Las concentraciones de Manganeso y Zinc de puyes capturados en los sectores Ciruelos y Rucaco, fueron significativamente más altas ($p < 0,05$) que las detectadas en peces recolectados en el río Calle Calle (sector Chumpullo). Mientras que las concentraciones de Mercurio en Calle Calle y Ciruelos fueron significativamente más altas ($p < 0,05$) que en Rucaco (Tabla 4.2.5.8).

Tabla 4.2.5.8. Resumen de ANDEVA Factorial y Prueba *a posteriori* de Tukey para evaluar diferencias en las concentraciones de metales pesados registradas en ejemplares completos de *Galaxias maculatus*, entre los factores principales. Los factores son Año de muestreo (2014-2015-2016) y Sector (Ciruelos, Rucaco y Calle Calle). Los valores de P en negrilla son significativos (<0,05) para cada prueba. Las comparaciones *a posteriori* deben interpretarse con cautela cuando la interacción AxS es significativa.

Parámetro	Fuente	GL	SC	CM	F	Valor P	Prueba de Tukey
Fe (***)	Año (A)	2	57032,3	28516,1	5,748	0,014	2014 > 2016
	Sector (S)	2	7400,8	3700,4	0,746	0,491	
	A × S	4	78355,1	19588,8	3,948	0,022	
	Error	15	74418,2	4961,2			
	Total	23	214035,6	9305,9			
Al (***)	Año (A)	2	127793,0	63896,5	14,606	<0,001	2015 > 2014 > 2016
	Sector (S)	2	28867,7	13433,8	3,071	0,076	
	A × S	4	160723,1	40180,8	9,185	<0,001	
	Error	15	65620,8	4374,7			
	Total	23	376350,8	16363,1			
Mn (***)	Año (A)	2	275,7	137,9	0,871	0,438	
	Sector (S)	2	3655,5	1827,8	11,55	<0,001	CC < Ru = Ci
	A × S	4	6757,5	1689,4	10,68	<0,001	
	Error	15	2372,7	158,2			
	Total	23	114185,1	616,7			
Cu (***)	Año (A)	2	32,502	16,251	8,783	0,003	2014 = 2016 > 2015
	Sector (S)	2	5,000	2,500	1,351	0,289	
	A × S	4	12,412	3,103	1,677	0,207	
	Error	15	27,754	1,850			
	Total	23	85,055	3,698			

GL = grados de Libertad; SC = Suma de Cuadrados; CM = Cuadrados medios; F = razón F; P = Valor de Probabilidad de error al rechazar Ho; (*) = Datos transformados a log₁₀. (**) = Cumple al menos uno de los supuestos de ANDEVA; (***) No cumple supuestos de ANDEVA.

Continuación **Tabla 4.2.5.8.**

Parámetro	Fuente	GL	SC	CM	F	Valor P	Prueba de Tukey
Zn (***)	Año (A)	2	5449,1	2724,6	7,743	0,005	2015 = 2016 > 2014
	Sector (S)	2	6652,6	3326,3	9,453	0,002	CC < Ru = Ci
	A × S	4	61312,8	15328,2	43,562	<0,01	
	Error	15	5278,0	351,9			
	Total	23	81761,2	3354,8			
Pb (***)	Año (A)	2	0,131	0,065	1,246	0,316	
	Sector (S)	2	0,176	0,088	1,678	0,220	
	A × S	4	0,245	0,061	1,170	0,363	
	Error	15	0,786	0,052			
	Total	23	1,522	0,066			
Hg (***)	Año (A)	2	0,143	0,071	151,04	<0,001	2016 > 2014 > 2015
	Sector (S)	2	0,014	0,007	14,98	<0,001	CC = Ci > Ru
	A × S	4	0,034	0,009	18,15	<0,001	
	Error	15	0,007	0,0004			
	Total	23	0,194	0,008			

GL = grados de Libertad; SC = Suma de Cuadrados; CM = Cuadrados medios; F = razón F; P = Valor de Probabilidad de error al rechazar Ho; (*) = Datos transformados a \log_{10} . (**) = Cumple al menos uno de los supuestos de ANDEVA; (***) No cumple supuestos de ANDEVA.

Compuestos orgánicos persistentes

La Tabla 4.2.5.9 y la Figura 4.2.5.13 muestran las concentraciones de Ácidos Grasos y AOX, en ejemplares completos de *Galaxias maculatus*, recolectados durante las campañas de otoño y primavera 2014 y otoño 2015 y 2016.

En general, las concentraciones más altas de Ácidos grasos se encontraron en los ejemplares recolectados durante la campaña de otoño 2014 y especialmente en los puyes recolectados en el río Calle Calle, sector Chumpullo (Tabla 4.2.5.9); la concentración de estos compuestos mostró una leve tendencia a disminuir en el tiempo (Tabla 4.2.5.9 y Fig. 4.2.5.13).

No se detectaron Ácidos resínicos en ninguna de las muestras analizadas durante las cuatro campañas (Tabla 4.2.5.9).

Las concentraciones de AOX fueron más altas durante las campañas del año 2014; durante el otoño de ese año el valor más alto se detectó en los puyes de Rucaco, a la vez que durante la primavera del mismo año las concentraciones más altas ocurrieron en los peces del río Calle Calle (Tabla 4.2.5.9 y Fig. 4.2.5.13). Similarmente, durante el otoño del año 2015 y 2016, los peces recolectados en este último río fueron los que tuvieron las concentraciones más altas de AOX en sus tejidos (Tabla 4.2.5.9 y Fig. 4.2.5.13).

Tabla 4.2.5.9. Concentración de ácidos grasos, ácidos resínicos y compuestos halogenados adsorbibles (AOX) en ejemplares completos de puyes recolectados durante las campañas de otoño y primavera del año 2014 y de las campañas otoñales de los años 2015 y 2016. O = otoño, P = primavera. Los valores son promedios con una desviación estándar. * = no detectado, *i.e.*, bajo el límite de detección del método utilizado.

estaciones	campañas	Ác. grasos ($\mu\text{g g}^{-1}$)	Ác. Resínicos ($\mu\text{g g}^{-1}$)	AOX ($\mu\text{g g}^{-1}$)
Eje central río Cruces (sector límnico)				
sector Ciruelos	otoño 2014	2.685,6 (347,3)	*	19,9 (2,6)
	primavera 2014	3.486,3 (533,5)	*	24,4 (1,4)
	otoño 2015	2.330,9 (161,9)	*	12,1 (1,8)
	otoño 2016	1.733,7 (218,8)	*	12,6 (0,8)
sector Rucaco	otoño 2014	4.101,9 (115,1)	*	31,3 (4,2)
	primavera 2014	2.733,8 (37,9)	*	13,9 (0,5)
	otoño 2015	869,3 (163,7)	*	8,2 (0,3)
	otoño 2016	1.763,8 (412,1)	*	13,2 (0,0)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios				
río Calle Calle, sector Chumpullo	otoño 2014	6.692,6 (188,9)	*	22,7 (3,4)
	primavera 2014	3.968,1 (866,6)	*	38,1 (3,3)
	otoño 2015	2.682,6 (18,7)	*	17,7 (3,6)
	otoño 2016	1.757,5 (14,9)	*	13,5 (0,3)

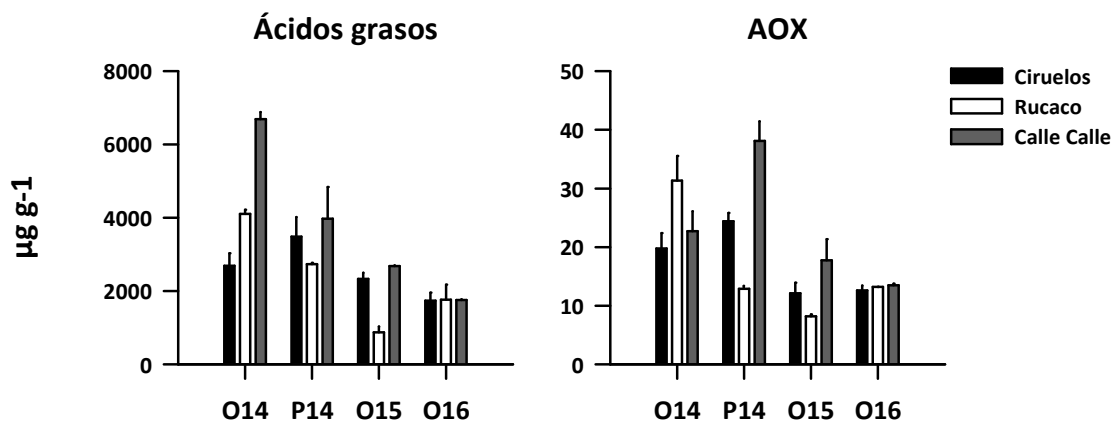


Figura 4.2.5.13. Concentración de ácidos grasos y compuestos halogenados adsorbibles (AOX) en ejemplares completos de puyes recolectados durante las campañas de otoño y primavera del año 2014 y de las campañas otoñales de los años 2015 y 2016. O = otoño, P = primavera. Los valores son promedios con una desviación estándar.

Análisis estadísticos

Los análisis de ANDEVA factorial y prueba *a posteriori* de Tukey, efectuados para evaluar eventuales diferencias en las concentraciones de Ácidos grasos y AOX entre los años y sitios estudiados, se muestran en la Tabla 4.2.5.10. Las concentraciones de Ácidos grasos y AOX fueron significativamente más altas ($p < 0,05$) durante el año 2014, a la vez que las concentraciones de Ácidos grasos encontradas en individuos de los sectores río Calle Calle, fueron significativamente más altas ($p < 0,05$) que las de individuos provenientes del sector Rucaco (Tabla 4.2.5.10).

Tabla 4.2.5.10. Resumen de ANDEVA Factorial y Prueba *a posteriori* de Tukey para evaluar diferencias en las concentraciones de Ácidos grasos y AOX registrados en ejemplares completos de *Galaxias maculatus*, entre los factores principales. Los factores son Año de muestreo (2014-2015-2016) y Sector (Ciruelos, Rucaco y Calle Calle). Los valores de P en negrilla son significativos (<0,05) para cada prueba. Las comparaciones *a posteriori* deben interpretarse con cautela cuando la interacción AxS es significativa.

Parámetro	Fuente	GL	SC	CM	F	Valor P	Prueba de Tukey
Ácidos grasos (**)(*)	Año (A)	2	0,654	0,327	36,13	<0,001	2014 > 2015 = 2016
	Sector (S)	2	0,187	0,094	10,33	0,002	CC > Ru
	A × S	4	0,214	0,054	5,91	0,005	
	Error	15	0,136	0,009			
	Total	23	1,194	0,005			
AOX (*)	Año (A)	2	883,9	441,9	10,53	0,001	2014 > 2015 = 2016
	Sector (S)	2	143,2	71,6	1,71	0,215	
	A × S	4	68,6	17,2	0,41	0,799	
	Error	15	629,5	42,0			
	Total	23	1779,6	77,4			

GL = grados de Libertad; SC = Suma de Cuadrados; CM = Cuadrados medios; F = razón F; P = Valor de Probabilidad de error al rechazar Ho; (*) = Datos transformados a \log_{10} . (**) = Cumple al menos uno de los supuestos de ANDEVA; (***) No cumple supuestos de ANDEVA.

Dioxinas, Furanos y Equivalentes Tóxicos

La Tabla 4.2.5.11 y la Figura 4.2.5.14 muestran las concentraciones de Dioxinas, Furanos y sus Equivalentes Tóxicos (EQTs) en ejemplares completos de puyes durante las campañas de otoño y primavera 2014 y las campañas otoñales de los años 2015 y 2016.

Durante las dos campañas del año 2014, las concentraciones más altas de Dioxinas se detectaron en peces del río Calle Calle (primavera). Durante el otoño del año 2015, los puyes del sector Rucaco fueron los de concentraciones más altas, a la vez que durante la campaña otoñal del año 2016, las concentraciones más altas se detectaron en especímenes recolectados en el río Cruces, sector Ciruelos (Tabla 4.2.5.11 y Fig. 4.2.5.14).

Durante las campañas de otoño y primavera del año 2014, las concentraciones de Furanos fueron más altas en puyes del río Calle Calle; durante la campaña otoñal del año

2015 los puyes recolectados en Ciruelos y Rucaco tuvieron las concentraciones más altas y similares, a la vez que durante el otoño del año 2016, los Furanos estuvieron más concentrados en los puyes de Rucaco y Calle Calle Calle (Tabla 4.2.5.11 y Fig. 4.2.5.14).

Las concentraciones de Equivalentes Tóxicos más altos se detectaron durante el otoño y la primavera del año 2014 en los peces del río Calle Calle (Tabla 4.2.5.11 y Fig. 4.2.5.14).

Hasta ahora no se ha detectado la presencia de la Dioxina 2378-TCDD, en los tejidos corporales de puyes recolectados en el área de estudio, por el contrario, la Dioxina 12378-PCDD se ha detectado en puyes recolectados en los tres sectores de estudio: en peces de Ciruelos durante los otoños de los años 2014 y 2016, en especímenes de Rucaco durante el otoño del año 2016 y en puyes del río Calle Calle durante la campaña otoñal del año 2014).

Tabla 2.4.5.11. Concentración de Dioxinas, Furanos y Equivalentes Tóxicos (ETQs) en ejemplares completos de puyes recolectados durante las campañas de otoño y primavera del año 2014 y de las campañas otoñales de los años 2015 y 2016. O = otoño, P = primavera. Los valores son promedios con una desviación estándar.

estaciones	Campañas	Dioxinas (ng g ⁻¹)	Furanos (ng g ⁻¹)	EQTs (ng g ⁻¹)
Eje central río Cruces (sector límnico)				
sector Ciruelos	otoño 2014	0,00055 (0,00007)	0,00080 (0,00014)	0,00010 (0,00008)
	primavera 2014	0,00060 (0,00014)	0,00040 (0,00014)	0,00002 (0,00000)
	otoño 2015	0,00080 (0,00000)	0,00240 (0,00014)	0,00009 (0,00001)
	otoño 2016	0,00060 (0,00014)	0,00040 (0,00014)	0,00007 (0,00006)
sector Rucaco	otoño 2014	0,00085 (0,00021)	0,00110 (0,00000)	0,00006 (0,00000)
	primavera 2014	0,00075 (0,00007)	0,00020 (0,00014)	0,00001 (0,00001)
	otoño 2015	0,00175 (0,00007)	0,00215 (0,00092)	0,00009 (0,00009)
	otoño 2016	0,00034 (0,00009)	0,00055 (0,00021)	0,00005 (0,00005)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos Tributarios				
río Calle Calle, sector Chumpullo	otoño 2014	0,00155 (0,00035)	0,00165 (0,00007)	0,00015 (0,00013)
	primavera 2014	0,00475 (0,00021)	0,00090 (0,00014)	0,00013 (0,00009)
	otoño 2015	0,00055 (0,00007)	0,00070 (0,00000)	0,00004 (0,00007)
	otoño 2016	0,00035 (0,00007)	0,00055 (0,00021)	0,00005 (0,00005)

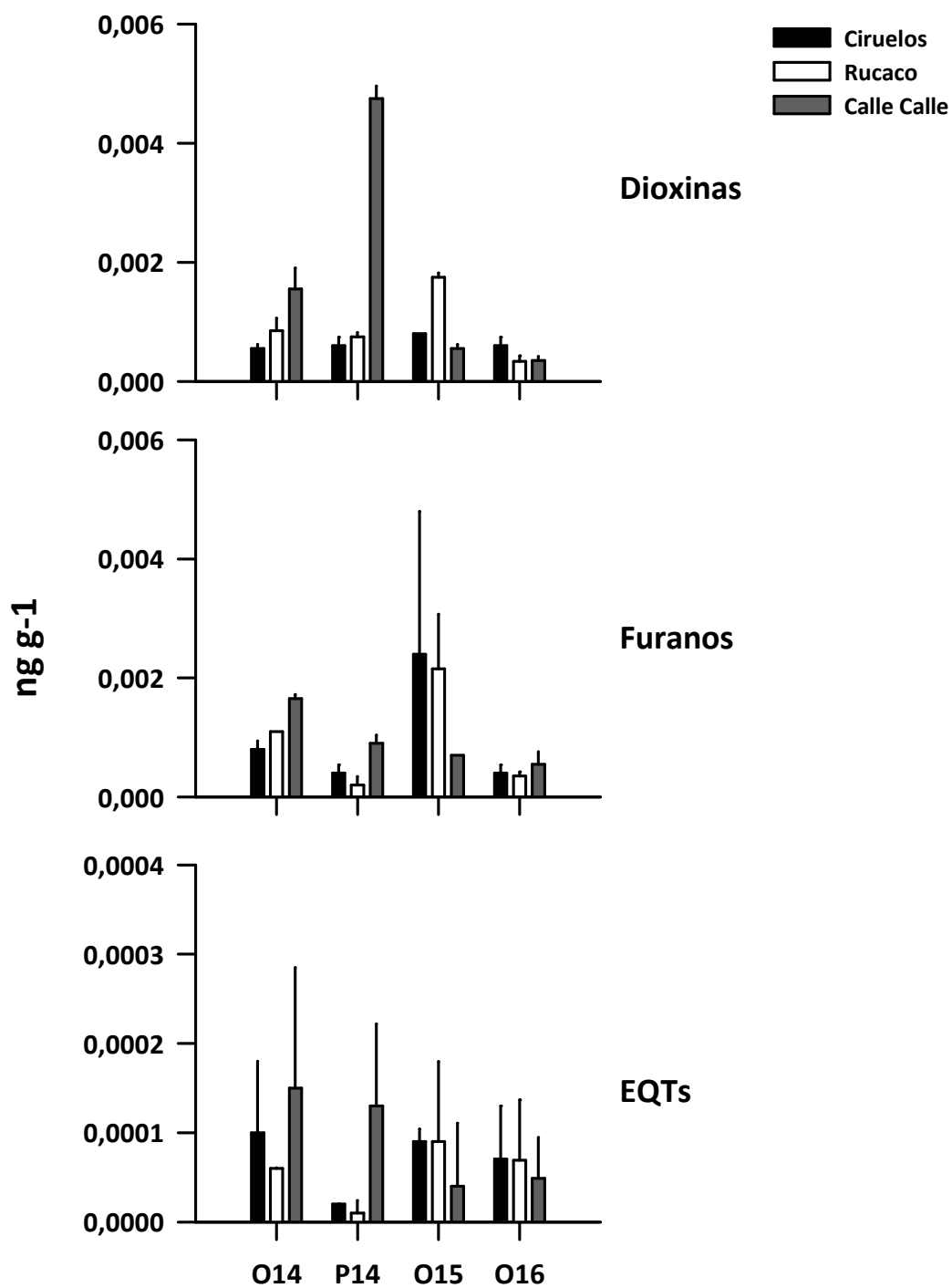


Figura 4.2.5.14. Concentración de Dioxinas, Furanos y Equivalentes Tóxicos (ETQs) en ejemplares completos de puyes recolectados durante las campañas de otoño y primavera del año 2014 y de las campañas otoñales de los años 2015 y 2016. O = otoño, P = primavera. Los valores son promedios con una desviación estándar.

Análisis estadísticos

Los análisis de ANDEVA factorial y prueba *a posteriori* de Tukey, efectuados para evaluar eventuales diferencias en las concentraciones de Dioxinas, Furanos y EQTs entre los años y sitios estudiados, no muestran diferencias significativas entre años o sectores (Tabla 4.2.5.12).

Tabla 4.2.5.12. Resumen de ANDEVA Factorial y Prueba *a posteriori* de Tukey para evaluar diferencias en las concentraciones de Dioxinas, Furanos y Equivalentes tóxicos, registrados en ejemplares completos de *Galaxias maculatus*, entre los factores principales. Los factores son Año de muestreo (2014-2015-2016) y Sector (Ciruelos, Rucaco y Calle Calle). Los valores de P en negrilla son significativos (<0,05) para cada prueba. Las comparaciones a posteriori deben interpretarse con cautela cuando la interacción A x S es significativa.

Parámetro	Fuente	GL	SC	CM	F	Valor P
Dioxinas (***)	Año (A)	2	0,370	0,185	1,63	0,229
	Sector (S)	2	0,402	0,201	1,77	0,204
	A x S	4	0,867	0,217	1,91	0,161
	Error	15	1,704	0,114		
	Total	23	3,177	0,138		
Furanos (**)	Año (A)	2	0,0034	0,0017	0,38	0,690
	Sector (S)	2	0,0029	0,0015	0,325	0,730
	A x S	4	0,0075	0,0019	0,419	0,790
	Error	15	0,0675	0,0045		
	Total	23	0,0858	0,0037		
EQTs (***)	Año (A)	2	0,00004	0,000021	1,73	0,211
	Sector (S)	2	0,00004	0,000021	1,73	0,210
	A x S	4	0,00009	0,000022	1,86	0,170
	Error	15	0,00018	0,000001		
	Total	23	0,00033	0,000015		

GL = grados de Libertad; SC = Suma de Cuadrados; CM = Cuadrados medios; F = razón F; P = Valor de Probabilidad de error al rechazar H_0 ; (*) = Datos transformados a \log_{10} . (**) = Cumple al menos uno de los supuestos de ANDEVA; (***) No cumple supuestos de ANDEVA.

4.2.5.4.3. Evaluación del estado sanitario y análisis histopatológicos

Estado sanitario

La Tabla 4.2.5.13 muestra las fechas de recolección de puyes (*Galaxias maculatus*), durante la campaña otoñal del año 2016; en la Tabla 4.2.5.14 se resumen los análisis bacteriológicos y virológicos efectuados en las muestras de puyes analizadas y se describen los resultados de estos análisis según sector y fecha de muestreo.

Tabla 4.2.5.13. Fechas de recepción de los puyes (*Galaxias maculatus*) analizados durante la campaña del otoño 2016. A cada fecha de ingreso le fue asignado un n° de caso; se indica la cantidad de peces recepcionados según el sector de muestreo. Para ubicación de los sectores ver Figura 4.2.5.1.

sectores	n° caso	fecha	especie	n° peces
Eje central del río Cruces (sector límnic)				
sector Ciruelos	08	20-mayo-2016	<i>G. maculatus</i>	27
sector Rucaco	12	25-mayo-2016	<i>G. maculatus</i>	22
Eje central del río Cruces (sector estuarial)				
sector Punucapa	16	03-junio-2016	<i>G. maculatus</i>	26
Ríos tributarios del río Cruces (sector estuarial)				
río Pichoy interior	14	02-junio-2016	<i>G. maculatus</i>	14
río Cayumapu interior	15	03-junio -2016	<i>G. maculatus</i>	24
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios				
río Calle Calle	10	24-mayo-2016	<i>G. maculatus</i>	28

Tabla 4.2.5.14. Resumen de resultados de análisis sanitarios de *Galaxias maculatus* durante la campaña del otoño 2016. Se indican sectores, número de casos, fechas de muestreo y número de peces analizados (nº) (cf. Fig. 4.2.5.1 para ubicación de los sectores). TSA= agar de soya tripticasa; TYES= agar triptona, extracto de levadura y sales.

sectores	nº caso	fechas	especie	nº	bacteriología	resultados	PCR IPNV	resultados
Ciruelos	08	20-mayo-16	<i>G. maculatus</i>	27	TSA: hígado (4) TYES: hígado (4)	desarrollo bacteriano negativo	1 pool: corazón, riñón, bazo (5)	negativo 1/1
Rucaco	12	25-mayo-16	<i>G. maculatus</i>	22	TSA: hígado (4) TYES: hígado (4)	desarrollo bacteriano negativo	1 pool: corazón, riñón, bazo (5)	negativo 1/1
Punucapa	16	03-junio-16	<i>G. maculatus</i>	26	TSA: hígado (4) TYES: hígado (4)	desarrollo bacteriano negativo	1 pool: corazón, riñón, bazo (5)	negativo 1/1
Pichoy	14	02-junio-16	<i>G. maculatus</i>	14	TSA: hígado (4) TYES: hígado (4)	desarrollo bacteriano negativo	1 pool: corazón, riñón, bazo (5)	negativo 1/1
Cayumapu	15	03-junio-16	<i>G. maculatus</i>	24	TSA: hígado (4) TYES: hígado (4)	desarrollo bacteriano negativo	1 pool: corazón, riñón, bazo (5)	negativo 1/1
Calle Calle	10	24-mayo-16	<i>G. maculatus</i>	28	TSA: hígado (4) TYES: hígado (4)	desarrollo bacteriano negativo	1 pool: corazón, riñón, bazo (5)	negativo 1/1

No se detectó presencia del virus IPN (Necrosis Pancreática Infecciosa).

A continuación, se mencionan los tipos de parásitos observados en piel y branquias en fresco de los peces recolectados durante la campaña del otoño 2016, según sector y número de caso:

sector Ciruelos: Caso 08.16

Branquias (5): Abundante presencia del protozoo *Trichodina* y del trematodo monogéneo *Dactylogyrus* 5/5 (En los 5 peces examinados).

sector Rucaco : Caso 12.16

Branquias (5): Abundante presencia de *Dactylogyrus* 4/5 y escasa presencia 1/5 (En 1 de los 5 peces), abundante presencia de *Trichodina* 4/5, y escasa del protozoo *Epistilus* 1/5.

sector Punucapa : Caso 16.16

Branquias (5): Abundante presencia de *Trichodina* 5/5.

sector Pichoy : Caso 14.16

Branquias (5): Abundante presencia de *Trichodina* y *Dactylogyrus* 2/5.

sector Cayumapu:Caso 15.16

Branquias (5): Abundante presencia de *Dactylogyrus* 2/5, abundante presencia de *Trichodina* 1/5 y escasa presencia del protozoo *Ichthyophthirius multifiliis* 1/5.

sector Calle Calle:Caso 10.16

Branquias (5): Abundante presencia de *Dactylogyrus* 5/5, *Epistilus* 5/5.

En la Tabla 4.2.5.15 se presenta la identificación de las nodulaciones encontradas en hígado y de los parásitos localizados en branquias de los peces examinados.

Tabla 4.2.5.15. Identificación parasitaria en hígado y branquias de Puyes (*Galaxias maculatus*) durante la campaña del otoño 2016. Se indican sectores, número de casos y fechas de muestreo y número de peces analizados. (cf. Fig. 4.2.5.1 para ubicación de los sectores).

sectores	n° caso	Fechas	especie	n°	órgano	identificación
Ciruelos	08	20-mayo-16	<i>G. maculatus</i>	27	Hígado	4 metacercarias de <i>Echinoparyphium</i> sp. (Digenea)
					Branquias	No se evidenciaron formas parasitarias
Rucaco	12	25-mayo-16	<i>G. maculatus</i>	22	Hígado	5 metacercarias de <i>Echinoparyphium</i> sp. (Digenea)
					Branquias	No se evidenciaron formas parasitarias
Punucapa	16	03-junio-16	<i>G. maculatus</i>	26	Branquias	No se evidenciaron formas parasitarias
Pichoy	14	02-junio-16	<i>G. maculatus</i>	14	Hígado	1 metacercaria de <i>Echinoparyphium</i> sp. (Digenea)
					Branquias	1 Ancyrocephalidae gen. sp. (Monogenea)
Cayumapu	15	03-junio-16	<i>G. maculatus</i>	24	Hígado	1 metacercaria Trematoda
					Branquias	1 quiste compatible con Myxosporea
Calle Calle	10	24-mayo-16	<i>G. maculatus</i>	28	Hígado	4 metacercarias de <i>Echinoparyphium</i> sp. (Digenea)
					Branquias	4 metacercarias de Trematoda

No se detectaron peces con signos clínicos de enfermedad, como tampoco bacterias o el virus IPN; sin embargo, la presencia de parásitos fue un hallazgo constante. Durante las observaciones en fresco se observó daño branquial y nódulos parasitarios en hígado, asociadas a la presencia de esos parásitos; sin embargo, las cantidades de parásitos no reflejan una parasitosis clínica. Entre estos organismos; predominaron protozoos como *Trichodina* sp. y trematodos monogéneos como *Dactylogirus* sp, los cuales pueden causar mortalidad de los peces si las condiciones ambientales provocan un estrés crónico.

En síntesis, los hallazgos más remarcables sobre el estado sanitario de la ictiofauna, fueron la importante carga parasitaria encontrada en individuos juveniles y adultos del Puye (*Galaxias maculatus*), tanto en abundancia como número de especies de parásitos. Se destacó la presencia del trematodo *Gyrodactylus* sp. y de los protozoos *Ichthyophthirius* sp., *Trichodina* sp., en branquias y piel. En hígado se encontraron nódulos parasitarios con metacercarias de *Echinoparyphium* sp. (Digenea). Ninguno de los parásitos encontrados en la ictiofauna analizada representa riesgo de salud para las personas.

No se detectó en las muestras de peces analizadas - tanto macroscópica como microscópicamente - presencia de hongos externos e internos. Adicionalmente, no se detectaron bacterias ni el virus de la Necrosis Pancreática Infecciosa (IPN).

Análisis histopatológicos

En la Tabla 4.2.5.16 se detallan los hallazgos histopatológicos en los Puyes (*Galaxias maculatus*) recolectados durante la campaña del otoño 2016. En los seis sectores examinados durante la campaña de otoño 2016. De cada estación se examinaron cinco ejemplares.

En la Tabla 4.2.5.16 se detallan los hallazgos histopatológicos en los Puyes pertenecientes a los seis sectores examinados durante la campaña de otoño 2016. De cada estación se examinaron cinco ejemplares.

Tabla 4.2.5.16. Resumen con el detalle de los hallazgos histopatológicos en los Puyes (*Galaxias maculatus*) recolectados durante la campaña de otoño 2016. Se indican sectores y fechas de muestreo (cinco peces por estación). Los números entre paréntesis indican la frecuencia para cada hallazgo. (cf. Fig. 4.2.5.1 para ubicación de los sectores). SNC = Sistema Nervioso Central, **S/A** = sin alteraciones, **OND** = órgano no observado por no estar disponible en la muestra.

sectores	fecha	SNC	cavidad abdominal	hígado	riñón	páncreas	corazón	branquias	estómago	ciegos pilóricos / intestino	bazo	musculatura	gónadas
Ciruelos	20-may-16	S/A (5)	parásitos (2) S/A (3)	congestión (5)	S/A (5)	S/A (3) OND (2)	Parásitos (1) S/A (2) OND (2)	hiperplasia epitelial con parásitos (5)	S/A (5)	S/A (5)	OND (5)	S/A (5)	testículo (1) ovario (4)
Rucaco	25-may-16	parásitos en meninges (1) S/A (4)	parásitos (1) S/A (4)	parásitos (1) Congestión (4)	Parásitos (1) S/A (3) OND (1)	S/A (4) OND (1)	S/A (4) OND (1)	hiperplasia epitelial con parásitos (5)	S/A (5)	parásitos (2) S/A (3)	hiperplasia pulpa roja (1) OND (4)	S/A (5)	testículo (3) ovario (1) OND (1)
Punucapa	03-jun-16	parásitos en meninges (1) S/A (4)	parásitos (4) S/A (1)	Congestión (5)	Congestión (2) S/A (3)	parásitos (1) S/A (3) OND (1)	S/A (2) OND (3)	hiperplasia epitelial con parásitos (5)	S/A (5)	S/A (5)	hiperplasia pulpa roja (2) OND (3)	S/A (5)	testículo activo (4) OND (1)
Pichoy	02-jun-16	S/A (5)	parásitos (4) S/A (1)	congestión (5)	S/A (4) OND (1)	S/A (3) OND (2)	S/A (3) OND (2)	hiperplasia epitelial con parásitos (5)	S/A (5)	S/A (5)	hiperplasia pulpa roja (1) OND (4)	S/A (5)	testículo activo (2) testículo (2) ovario (1)
Cayumapu	03-jun-16	parásitos en meninges (2) S/A (3)	parásitos (5)	colestasis (1) congestión (3) S/A (1)	Congestión (2) S/A (3)	parásitos (1) S/A (3) OND (1)	parásitos (2) S/A (2) OND (1)	hiperplasia epitelial con parásitos (2) S/A (3)	S/A (5)	S/A (5)	hiperplasia pulpa roja (1) OND (4)	parásitos (1) S/A (4)	testículo activo (3) ovario (2)
Calle Calle	24-may-16	parásitos en meninges (3) S/A (2)	parásitos (2) S/A (3)	congestión (4) S/A (1)	S/A (5)	S/A (3) OND (2)	S/A (4) OND (1)	hiperplasia epitelial con parásitos (5)	S/A (5)	S/A (5)	hiperplasia pulpa roja (1) S/A (1) OND (3)	S/A (5)	testículo activo (3) ovario (2)

El análisis histopatológico realizado en cinco ejemplares de Puye recolectados en cada uno de los sectores, se efectuó mediante cortes sagitales de cada uno de los peces, lo que permitió observar la mayoría de los tejidos.

En ninguno de los especímenes analizados se observó evidencia de características compatibles con un cuadro infeccioso bacteriano o viral específico, así como tampoco se encontraron indicios de daño de origen tóxico o carencial. Sin embargo, al igual que durante las campañas de los años 2014 y 2015, llama la atención el marcado parasitismo encontrado (ver Tabla 4.2.5.17), lo que es interpretado como habitual para el Puye (*Galaxias maculatus*) al ser un pez presa que actúa principalmente como hospedador intermediario (Fernández *et al.*, 2015).

A continuación se efectúa un análisis de los tejidos analizados en los treinta peces examinados durante la campaña del otoño 2016:

Sistema nervioso central

El único hallazgo de importancia, lo constituyó la presencia de parásitos en las meninges. Los sectores en los cuales los peces no presentaron este parasitismo fueron Ciruelos y Pichoy. El parasitismo estuvo presente en 7 ejemplares, de los cuales tres fueron recolectados en el sector Calle Calle. La identificación parasitológica permitió reconocer a Trematoda de la Familia Diplostomidae.

Cavidad abdominal

El único hallazgo de importancia, lo constituyó la presencia de parásitos en la cavidad abdominal en peces de todos los sectores. El parasitismo estuvo presente en 22 ejemplares; la totalidad de los peces del sector Cayumapu presentó parásitos en la cavidad abdominal. La identificación parasitológica permitió reconocer a Trematoda de la Clase Digenea, Nematoda de la Familia Anisakidae y parásitos compatibles con el Phylum Acantocephala.

Hígado

De los 30 peces examinados microscópicamente, 26 ejemplares evidenciaron congestión, en un pez se encontró parásitos, un ejemplar presentó colestasis (acumulación de bilis intrahepática) y dos peces no presentaron ninguna alteración. La congestión hepática es un hallazgo inespecífico, pudiendo ser fisiológica o estar asociada a una mayor exigencia del órgano. La presencia de colestasis en un pez, es un hallazgo individual y su origen estaría probablemente en una compresión de vías biliares por acción de parásitos en la cavidad abdominal. Los parásitos encontrados en un puye no pudieron ser identificados; sin embargo, aparentemente eran trematodos. Ninguno de los hígados examinados evidenció hallazgos compatibles con la acción de elementos o compuestos tóxicos.

Riñón

De los 30 peces examinados microscópicamente, 23 no presentaron alteraciones, en un pez se encontraron parásitos, cuatro peces evidenciaron congestión y en dos ejemplares no se observó tejido renal por no estar disponible en las muestras. La congestión renal es un hallazgo inespecífico, pudiendo ser fisiológica o estar asociada a una mayor exigencia del órgano. Se identificó un parásito trematodo de la Clase Digenea. Al igual que en el caso del hígado, ninguna muestra de riñón presentó hallazgos compatibles con la acción de elementos o compuestos tóxicos.

Páncreas

De los 30 peces examinados microscópicamente, 19 no presentaron alteraciones pancreáticas, dos peces evidenciaron parásitos y en nueve peces no se obtuvo tejido pancreático en los cortes realizados. Los parásitos observados en el páncreas correspondieron a un Trematoda de la Clase Digenea y un Nematoda de la Familia Anisakidae.

Corazón

De los 30 peces examinados microscópicamente, 17 no presentaron alteraciones cardíacas, en tres peces se encontraron parásitos (sectores Ciruelos y Cayumapu), dos correspondieron a un Trematoda de la Familia Heterophyidae, género *Acocotyle* y otro no logró ser identificado. Por otra parte, en 10 peces no salió incluido tejido cardíaco en los cortes realizados.

Branquias

De los 30 peces examinados microscópicamente, tres no presentaron alteraciones y 27 presentaron hiperplasia de lamelas secundarias con presencia de parásitos. Los parásitos identificados fueron el protozoo *Ichtyophthirius multifiliis*, el protozoo *Trichodina* sp., un Trematodo de la Clase Digenea y otro de la Clase Monogenea, Familia Ancyrocephalidea.

Estómago

Los estómagos de los 30 peces examinados microscópicamente, no presentaron alteraciones histopatológicas.

Ciegos pilóricos/intestino

En 28 de los 30 peces examinados microscópicamente, no se encontraron lesiones histopatológicas; dos ejemplares presentaron parásitos, los que correspondieron a Trematoda de la Clase Digenea.

Bazo

De los 30 peces examinados microscópicamente, un ejemplar no evidenció lesiones, seis peces presentaron hiperplasia de la pulpa roja y en 23 puyes no se encontró tejido esplénico en los cortes histológicos realizados. La hiperplasia de la pulpa roja esplénica, puede estar dada por una mayor congestión o una reacción de este órgano

frente a un estímulo infeccioso agudo. Al respecto, en ninguno de los peces con esta reacción se encontraron signos de una infección, salvo la presencia de parásitos.

Musculatura

De los 30 peces examinados microscópicamente, 29 ejemplares no evidenciaron lesiones y en un pez se encontraron ejemplares de Trematoda de la Clase Digenea.

Gónadas

En 28 de los 30 peces examinados microscópicamente, se logró observar gónadas, encontrándose 18 testículos y 10 ovarios; en dos peces no se encontró tejido gonadal en las láminas histológicas. En 12 peces se encontraron testículos activos (con espermatozoides) los que correspondieron a:

- sector Calle Calle: muestreo 24 de mayo 2016
- sector Pichoy: muestreo 2 de junio 2016
- sector Punucapa: muestreo 3 de junio 2016
- sector Cayumapu: muestreo 3 de junio 2016

Tabla 4.2.5.17. Identificación parasitaria histopatológica en Puyes durante la campaña del otoño 2016, según sector y tejido afectado. SNC = Sistema Nervioso Central. (cf. Fig. 4.2.5.1 para ubicación de los sectores).

Sectores	Tejido	identificación
Ciruelos	Branquia	Protozoos ciliados <i>Ichthyophthirius multifiliis</i> y <i>Trichodina</i> sp.
Ciruelos	Corazón	Trematodo, Clase Digenea, metacercaria
Ciruelos	Branquia	Protozoo ciliado <i>Ichthyophthirius multifiliis</i> Trematodo, Clase Digenea, metacercaria Trematodo, Clase Monogenea, Familia Ancyrocephalidea
Ciruelos	Branquia	Protozoo ciliado <i>Trichodina</i> sp. Trematodo, Subclase Monogenea, Familia Ancyrocephalidea
Ciruelos	Branquia	Trematodo, Subclase Monogenea, Familia Ancyrocephalidea
Ciruelos	cavidad abdominal	Trematodo, Clase Digenea, metacercaria
Rucaco	SNC	Trematodo, Clase Digenea, metacercaria
Rucaco	Hígado	Estructura parasitaria no identificable
Rucaco	Intestino	Trematodo adulto, Clase Digenea
Rucaco	Riñón	Trematodo, Clase Digenea, metacercaria
Rucaco	branquia	Trematodo, Subclase Monogenea, Familia Ancyrocephalidea Trematodo, Clase Digenea, metacercaria
Rucaco	intestino	Trematodo, Clase Digenea, metacercaria
Rucaco	cavidad abdominal	Trematodo, Clase Digenea, metacercaria
Rucaco	SNC	Trematodo, Clase Digenea, familia Diplostomidae, metacercaria
Punucapa	cavidad abdominal	Trematodo, Clase Digenea, metacercaria
Punucapa	SNC	Trematodo, Clase Digenea, familia Diplostomidae, metacercaria
Punucapa	Branquia	Trematodo, Clase Digenea, metacercaria
Punucapa	cavidad abdominal	parásito compatible con el Phylum Acanthocephala

Continuación **Tabla 4.2.5.17**

Sectores	Tejido	identificación
Punucapa	cavidad abdominal	parásito compatible con el Phylum Acanthocephala
Punucapa	cavidad Abdominal	Nematodo, Familia Anisakidae, estadios larvarios enquistados
Pichoy	Branquia	Protozoo ciliado <i>Trichodina</i> sp.
Pichoy	cavidad abdominal	Trematodo, Clase Digenea, metacercaria
Pichoy	Branquia	Protozoo ciliado <i>Ichthyophthirius multifiliis</i> Protozoo ciliado <i>Trichodina</i> sp. Trematodo, Clase Monogenea, Familia Ancyrocephalidea
Cayumapu	cavidad abdominal	Nematodo, Familia Anisakidae Trematodo, Clase Digenea, metacercaria
Cayumapu	Músculo	Trematodo, Clase Digenea, metacercaria
Cayumapu	Páncreas	Nematodo, Familia Anisakidae, estadios larvarios enquistados
Cayumapu	SNC	Trematodo, Clase Digenea, Familia Diplostomidae, metacercaria
Cayumapu	Branquia	Trematodo, Clase Monogenea, Familia Ancyrocephalidea
Cayumapu	Corazón	Trematodo, Clase Digenea, Familia Heterophyidae, género <i>Ascocotyle</i> , metacercaria
Cayumapu	branquia	Trematodo, Clase Digenea, metacercaria
Calle Calle	Branquia	Trematodo, Clase Monogenea
Calle Calle	SNC	Trematodo, Clase Digenea, Familia Diplostomidae, metacercaria
Calle Calle	cavidad abdominal	Trematodo, Clase Digenea, metacercaria
Calle Calle	SNC	Trematodo, Clase Digenea, Familia Diplostomidae, metacercaria
Calle Calle	cavidad abdominal	Trematodo, Clase Digenea, metacercaria
Calle Calle	SNC	Trematodo, Clase Digenea, Familia Diplostomidae, metacercaria

Comparaciones interanuales

La Tabla 4.2.5.18 muestra que considerando los diferentes tejidos analizados en los puyes de cada sector de muestreo, existen leves variaciones en la presencia de parásitos al comparar las tres campañas otoñales hasta ahora realizadas. Lo realmente importante es que se han mantenido los mismos parásitos en los diferentes tejidos, siendo la mayoría de ellos estados larvarios que corresponden a etapas del desarrollo dentro del Puye. Este pez actúa como un hospedador intermediario en el ciclo de los parásitos trematodos, siendo presa para otros peces y aves piscívoras, los cuales son los hospedadores definitivos de dichos parásitos (Fernández *et al.*, 2015).

La Tabla 4.2.5.19 muestra que en las tres campañas otoñales no se han detectado agentes virales tipo IPN (virus de la necrosis pancreática infecciosa), como tampoco agentes micóticos (hongos). Durante la campaña del año 2014 se detectaron agentes bacterianos como *Aeromonas hydrophila* en Puyes de sector Ciruelos y *Pseudomonas aeruginosa* y *Alcaligenes faecalis* en Puyes de sector Calle-Calle. En ambos casos sin signos de enfermedad. Estas especies bacterianas corresponden a la flora microbiana de los Puyes y no se detectaron en las campañas otoñales de los años 2015 y 2016. Respecto de alteraciones histopatológicas en las tres campañas otoñales no se detectó lesiones indicativas de cuadro infeccioso o tóxico en los tejidos analizados. El desarrollo gonadal corresponde al estado reproductivo de la especie.

La carga parasitaria visualizada no es importante del punto de vista de enfermedad parasitaria, debido posiblemente a que los factores ambientales, los parásitos y los Puyes mantienen un equilibrio, lo que se ve refrendado por el desarrollo gonadal con testículos activos, siendo la actividad reproductiva de la especie, junto a la ausencia de agentes virales citopatógenicos, bacterianos y fúngicos, indicadores de un estado sanitario en equilibrio.

Tabla 4.2.5.18. Comparación de la presencia parasitaria en Puyes (*Galaxias maculatus*) durante las campañas otoñales de los años 2014, 2015 y 2016, según sitios de muestreo y tejidos afectados. (cf. Fig. 4.2.5.1 para ubicación de los sectores). SNC = Sistema Nervioso Central.

sectores	SNC			cavidad abdominal			hígado			riñón			páncreas		
	2014	2015	2016	2014	2015	2016	2014	2015	2016	2014	2015	2016	2014	2015	2016
Ciruelos	Si	Si	No	No	Si	Si	No	No	No	Si	Si	No	Si	No	No
Rucaco	No	Si	Si	Si	Si	Si	No	No	Si	No	No	Si	No	No	No
Punucapa	No	No	Si	No	Si	Si	No	No	No	No	No	No	No	Si	Si
Pichoy	Si	Si	No	No	Si	Si	Si	No	No	Si	No	No	No	Si	No
Cayumapu	Si	Si	Si	No	Si	Si	No	Si	No	No	Si	No	No	Si	Si
Calle Calle	No	Si	Si	Si	Si	Si	No	No	No	No	No	No	No	Si	No

sectores	Corazón			Branquias			estómago			ciegos pilóricos intestino			musculatura		
	2014	2015	2016	2014	2015	2016	2014	2015	2016	2014	2015	2016	2014	2015	2016
Ciruelos	No	No	Si	No	Si	Si	Si	No	No	Si	Si	No	No	No	No
Rucaco	No	No	No	Si	Si	Si	No	No	No	Si	No	Si	No	No	No
Punucapa	No	Si	No	Si	Si	Si	No	Si	No	Si	Si	No	No	No	No
Pichoy	No	Si	No	No	Si	Si	No	No	No	Si	Si	No	No	No	No
Cayumapu	No	No	Si	Si	Si	Si	Si	No	No	Si	No	No	No	Si	Si
Calle Calle	No	Si	No	No	Si	Si	No	No	No	No	Si	No	No	No	No

Tabla 4.2.5.19. Comparación de los hallazgos virológicos, bacteriológicos, micóticos, parasitarios, histopatológicos y gonadales en Puyes (*Galaxias maculatus*) recolectados durante las campañas otoñales de los años 2014, 2015 y 2016.

hallazgo de:	2014	2015	2016
virus IPN	negativo	negativo	negativo
Bacterias	<i>Aeromonas hydrophila</i> en Puyes de sector Ciruelos y <i>Pseudomonas aeruginosa</i> y <i>Alcaligenes faecalis</i> en Puyes de sector Calle-Calle. En ambos casos sin signos de enfermedad	negativo	negativo
Hongos (micosis)	negativo	negativo	negativo
Parásitos	positivo en peces de todos los sectores, sin signos de enfermedad parasitaria	positivo en peces de todos los sectores, sin signos de enfermedad parasitaria	positivo en peces de todos los sectores, sin signos de enfermedad parasitaria
alteraciones histopatológicas	negativo para lesiones indicativas de cuadro infeccioso o tóxico en los tejidos	negativo para lesiones indicativas de cuadro infeccioso o tóxico en los tejidos	negativo para lesiones indicativas de cuadro infeccioso o tóxico en los tejidos
desarrollo gonadal	actividad reproductiva normal	actividad reproductiva normal	actividad reproductiva normal

4.2.5.5. Conclusiones

- En general, se ha recolectado un número mayor de especies de peces durante las campañas de otoño (7, 10 y 10 especies durante los años 2014, 2015 y 2016) que durante los muestreos de primavera de cada año (5, 7 y 8 especies durante los años 2014, 2015 y 2016).
- Durante los años 2014, 2015 y 2016, la fauna de peces de las riberas del área de estudio ha estado primariamente representada por especies nativas (ca. 71, 80, 70, 71, 70 y 75 % durante el otoño 2014, primavera 2014, otoño 2015, primavera 2015, otoño 2016 y primavera 2016 respectivamente).
- *Galaxias maculatus* (Puye) ha sido la especie más representativa de la ictiofauna ribereña durante las campañas de los años 2014, 2015 y 2016. No se detectó la presencia de *Gambusia affinis* (la especie más abundante luego del Puye), en varias estaciones durante las campañas de la primavera 2014, otoño y primavera 2015 y otoño y primavera 2016.
- *Galaxias maculatus* presentó un claro patrón de incremento en su longitud desde la campaña de otoño hacia la de primavera de los años 2014, 2015 y 2016, con excepción de la campaña de primavera 2016 en el río Pichoy donde no se recolectaron Puyes.
- El número promedio de especies fue más alto en los sitios de Ciruelos y Rucaco; similarmente, los valores más altos del Índice de Shannon & Wiener se estimaron para estos sitios. No se detectaron tendencias claras de variabilidad temporal en ninguno de esos sitios; es decir, los valores más altos o más bajos no mostraron relación con la estacionalidad o año de muestreo.
- Los metales pesados más representativos (*i.e.*, mayores concentraciones) en los tejidos corporales del Puye fueron Hierro, Aluminio y Zinc. Las concentraciones de Hierro y Aluminio encontradas en especímenes de *Galaxias maculatus* durante el año 2016 fueron significativamente más bajas que las encontradas durante el año 2014.

- No se ha detectado Cadmio y Arsénico en las muestras de puyes recolectadas en el área de estudio, a la vez que el Mercurio mostró en general, concentraciones más bajas en los peces recolectados durante el otoño del año 2015 y más altas en el otoño 2016, en el sector de Ciruelos.
- Las concentraciones de Ácidos grasos han mostrado una tendencia a disminuir en el tiempo.
- No se han detectado Ácidos resínicos en ninguna de las muestras analizadas durante las cuatro campañas hasta ahora realizadas (otoño y primavera 2014, otoño 2015 y otoño 2016).
- Las concentraciones de AOX fueron más bajas durante las campañas del otoño 2015 y 2016; hasta ahora, las concentraciones más altas de AOX se han detectado en puyes de los sectores Rucaco y Calle Calle (otoño y primavera del año 2014, respectivamente).
- Durante las dos campañas del año 2014, las concentraciones más altas de Dioxinas se detectaron en peces del río Calle Calle, a la vez que durante la campaña otoñal del año 2015, los puyes del sector Rucaco fueron los de mayores concentraciones. Las concentraciones más bajas de Dioxinas se registraron en la campaña otoñal del 2016.
- Los análisis de ANDEVA factorial y prueba *a posteriori* de Tukey, efectuados para evaluar eventuales diferencias en las concentraciones de Dioxinas, Furanos y EQTs entre los años y sitios estudiados, no muestran diferencias significativas entre años o sectores.
- No se ha detectado la presencia de la Dioxina 2378-TCDD, en los tejidos corporales de puyes recolectados en el área de estudio, durante las campañas otoño y primavera 2014 y las campañas otoñales del 2015 y 2016, por el contrario la Dioxina 12378-PCDD se ha detectado en puyes recolectados en los tres sectores de estudio: en peces de Ciruelos durante los otoños de los años 2014 y 2016, en especímenes de Rucaco durante el otoño del año 2016 y en puyes del río Calle Calle durante la campaña otoñal del año 2014.

- Las comparaciones de los puyes recolectados durante las campañas otoñales de los años 2014, 2015 y 2016, muestran leves variaciones en la presencia de parásitos en especímenes aparentemente sanos.
- En las tres campañas otoñales hasta ahora realizadas, las parasitosis evidenciadas a nivel branquial por *Gyrodactylus* sp. (trematodo monogéneo), *Ichthyophthirius* sp. (protozoo ciliado) y *Trichodina* sp. (protozoo ciliado) son las de mayor presencia en los puyes, tanto dentro como fuera del humedal.
- No se observaron lesiones macro ni microscópicas indicativas de un cuadro infeccioso bacteriano o viral específico en los peces examinados.
- No se detectó micosis en los peces examinados.
- No se observaron lesiones microscópicas indicativas de un cuadro tóxico o carencial en los peces examinados.
- Los puyes examinados se encuentran en un estado sanitario en equilibrio.

4.2.5.6. Referencias

Aguilar, I. 2005. Estimación y monitoreo de los peces como indicadores del uso sostenible del agua en cuencas hidrológicas. Revista Digital Universitaria 6. 14 pp.

Arismendi, I., B. Penaluna. 2009. Peces nativos en aguas continentales del sur de Chile, Iniciativa Científica Milenio (ICM).53 pp.

Arratia, G. 1981. Géneros de peces de aguas continentales de Chile. Museo Nacional de Historia Natural, Chile 34: 1-108.

Arratia, G. 1987. Description of the primitive family Diplomystidae (siluriformes, Teleostei, Pisces): morphology, taxonomy and phylogenetic implications. Bonner Zoologische Monographien N° 24. Zoologisches Forschungsinstitut und Museum Alexander Koenig Bonn.

Boulton, A. 1999. An overview of river health assessment: philosophies, practice, problems and prognosis. Freshwater Biology 41: 469-479.

Bruno, D., P. Noguera, T. Poppe. 2013. A colour atlas of salmonid diseases. Second edition. Springer. London, UK. 211 pp.

Campos, H. 1982. Sistemática del género *Cheirodon* (Pisces: Characidae) en Chile, con descripción de una nueva especie. Análisis de multivarianza. *Studies in Neotropical Fauna and Environment* 17: 129-162.

Campos, H. 1984. Los géneros de *Atherinidos* (Pises: Atherinidae) del sur de Sudamerica. *Revista Museo Argentino de Ciencias Naturales "Bernardino Rivadavia", Zoología* 13: 71-84.

Campos, H., V. Ruiz., J. Gavilan, F. Alay. 1993. Peces del río Bio Bio. Programa de Interuniversitario de Investigación Científica Aplicada y Formación (EULA), Universidad de Concepción, Gestión de los Recursos Hídricos de la Cuenca del Río y del Área Marina Costera Adyacente 5: 1-100.

Campos, H., J. Gavilan. 1996. Diferenciación morfológica entre *Percichthys trucha* y *Percichthys melanops* (Perciformes: Percichthyidae) entre 36° y 41° L.S. (Chile-Argentina), a través de análisis multivariados. *Gayana, Zoología* 60: 99-120.

Chediack, S. 2009. Monitoreo de biodiversidad y recursos naturales: ¿Para qué?. Corredor Biológico Mesoamericano México. 90 pp.

Clarke, K., R. Gorley. 2001. PRIMER v6 PRIMER-E Ltd. Plymouth, UK. Available in <http://www.primer-e.com/>

Cowx, I., M. Collares-Pereira. 2002. Freshwater fish conservation: options for the future. *Conservation of Freshwater Fishes: Options for the Future* 443-452.

Davis, W., T. Simon. 1995. Biological assessment and criteria: tools for water resource planning and decision making. CRC Press. Florida, USA. 432 pp.

Dyer, B. 1997. Phylogenetic revision of *Atherinopsinae* (Teleostei: Atherinopsidae), with comments on the systematics of the South American freshwater fish genus *Basilichthys* Girard. *Museum of Zoology University of Michigan, Miscellaneous Publications* 185: 1-64.

Dyer, B. 2000. Systematic review and biogeography of the freshwater fishes of Chile. *Estudios Oceanológicos* 19: 77-98.

Faush, K., J. Lyons, J. Karr, P. Angermeier. 1990. Fish communities as indicators of environmental degradation. *American Fisheries Society Symposium* 8: 123-144.

Ferguson, H. 2006. Systemic Pathology of Fish. A text and atlas of normal tissues in teleosts and their responses in disease. Second edition. Scotian Press. London, UK. 368 pp.

- Fernández, M.V., L. Semenas, G. Viozzi. 2015. La estructura de las comunidades de helmintos de *Galaxias maculatus* (Osmeriformes: Galaxiidae) en diferentes sitios de un lago de la Patagonia argentina. *Ecología Austral* 25: 212-220.
- Gardiner, C., S. Poynton. 1999. An atlas of metazoan parasites in animal tissues. Armed Forces Institute of Pathology. Washington, DC, USA. 64 pp.
- Habit, E., B. Dyer, I. Vila. 2006. Estado de conocimiento de los peces dulceacuícolas de Chile. *Gayana, Concepción* 70: 100-113.
- Kestemont, P., J. Dider, E. Depiereux, J. Micha. 2000. Selecting ichthyological metrics to assess river basin ecological quality. *Archives für Hydrobiologie Supplement* 121: 321-348.
- Luna, L. 1968. Manual of histologic staining methods of the Armed Forces Institute of Pathology. Third edition. Mc Graw-Hill Book Company, New York, USA. 258 pp.
- Magurran, A., A. Magurran. 1988. Ecological diversity and its measurement. Princeton, Princeton university press. 192 pp.
- Mcdowall, R., M. Taylor. 2000. Environmental indicators of habitat quality in a migratory freshwater fish fauna. *Environmental Management* 25: 357-374.
- Oberdorff, T., D. Pont, B. Hugueny, J. Porcher. 2002. Development and validation of a fish-based index for the assessment of 'river health' in France. *Freshwater Biology* 47: 1720-1734.
- Paller, M., M. Reichert, J. Dean, J. Seigle. 2000. Use of fish community data to evaluate restoration success of a riparian stream. *Ecological Engineering* 15: 171-187.
- Pequeño, G. 1981. Peces de las riberas estuariales del Río Lingue, Chile. *Cahiers de Biologie Marines Roscoff* 22: 141-163.
- Roberts, R. 2012. Fish pathology. Fourth edition. Wiley-Blackwell. Chichester West Sussex, UK. 8 pp.
- Ruiz, V., M. Marchant. 2004. Ictiofauna de aguas continentales de Chile. Facultad de Ciencias Naturales y Oceanográficas, Universidad de Concepción. 356 pp.
- Scott, M., L. Hall. 1997. Fish assemblages as indicators of environmental degradation in Maryland coastal plain streams". *Transactions of the American Fisheries Society* 126: 349-360.
- Soto-Galera, E., E. Díaz-Pardo, E. López-López, J. Lyons. 1998. Fish as indicators of environmental quality in the Río Lerma Basin, México. *Aquatic Ecosystem Health & Management*, 1: 267-276.

Spacie, A., J. Hamelink. 1979. Dynamics of Trifluralin Accumulation in Rivers Fishes. *Environmental Science and Technology* 13: 817-822.

Velázquez-Velázquez, E., and M. Vega-Cendejas. 2004. Los peces como indicadores del estado de salud de los ecosistemas acuáticos. *Biodiversitas* 57: 12-15.

Vila, I., L. Fuentes, M. Contreras. 1999. Peces límnicos de Chile. *Boletín del Museo Nacional de Historia Natural* 48: 61-75.

Vila-Gispert, A., E. García-Berthou, R. Moreno-Amich. 2002. Fish zonation in a Mediterranean stream: Effects of human disturbances. *Aquatic Sciences* 64: 163-170.

Wang, L., J. Lyons, P. Kanehi, R. Bannerman, E. Emmons. 2000. Watershed urbanization and changes in fish communities in southeastern Wisconsin streams. *Journal of the American Water Research* 36: 1173-1175.

Wichert, G., D. Rapport. 1998. Fish community structure as a measure of degradation and rehabilitation of riparian systems in an agricultural drainage basin. *Environmental Management* 22: 425-443.

4.2.6. HERPETOFAUNA

4.2.6.1. Antecedentes

El grupo de los anfibios (ranas y sapos) de Chile está compuesto por siete familias: Alsodidae, Batrachylidae, Bufonidae, Calyptocephalellidae, Leiuperidae, Telmatobiidae y Pipidae (Frost, 2014). A su vez, de los 14 géneros reconocidos, seis son endémicos, tres de ellos monotípicos (*Calyptocephalella*, *Hylorina* e *Insuetophrynus*), siendo la única especie de anfibio de Chile introducida, la *Xenopus laevis*.

Los datos sobre distribución geográfica de los taxa son en la mayoría, incompletos y fragmentados y con abundantes situaciones de avistamientos fortuitos por aficionados, que no siempre logran determinar taxonómicamente los especímenes. Por último, la distribución de muchas de las especies está limitada a las localidades tipo, sin que estos datos permitan conocer los límites de distribución altitudinal y latitudinal de las mismas.

Por su parte, la diversidad de reptiles de Chile (serpientes, lagartos y tortugas) da cuenta de aproximadamente 123 especies (Pincheira-Donoso *et al.*, 2008) más dos tortugas introducidas. La mayor riqueza específica se concentra en el norte y centro del país, entre las regiones de Antofagasta y del Bio Bío. En este escenario, es posible encontrar especies de distribución exclusiva para el norte (*e.g.*, *Liolaemus atacamensis* y *Microlophus quadrivittatus*) o sur (*e.g.*, *Diplolaemus darwinii* y *Liolaemus magellanicus*), y otras con rangos de distribución muy extensas (*e.g.*, *Liolaemus lemniscatus* y *L. tenuis*). Además, se encuentran cuatro especies de tortugas marinas (*Dermochelys coriacea*, *Lepidochelys olivacea*, *Caretta caretta* y *Chelonia mydas*), más dos tortugas introducidas: una terrestre desde Argentina, *Chelonoidis chilensis* y una dulceacuícola proveniente de Estados Unidos, *Trachemys scripta*.

Desde el punto de vista ecosistémico, los anfibios y reptiles son de especial interés debido a su gran sensibilidad a pequeños cambios ambientales. Esta particularidad los convierte en una herramienta de primer orden, a la hora de valorar la dimensión de estas transformaciones y perturbaciones ambientales. En efecto, la contaminación ambiental, la destrucción de hábitats, la introducción de especies exóticas y enfermedades emergentes asociadas al cambio global, están dando cuenta de una gran regresión poblacional a nivel mundial de estos animales. De este modo, las evidencias de lo nocivo que para este grupo animal representan las modificaciones físico-químicas y ambientales asociadas a actividades de origen antrópico (sobre todo del medio acuático), justifican su uso como herramienta de gran utilidad para sensibilizar a la población en general sobre problemáticas ambientales.

El presente Capítulo hace referencia a los resultados obtenidos en la caracterización de la fauna de anfibios y reptiles del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios (en adelante HRC), en el contexto del Segundo Año del Programa de Monitoreo Ambiental de este humedal, considerando campañas otoñales y primaverales llevadas a cabo durante el año 2016.

4.2.6.2. Objetivos

- Determinar, sobre la base de dos campañas de terreno realizada durante el otoño y primavera del año 2016, índices de riqueza específica y abundancia de anfibios y reptiles en el HRC.
- Analizar el estado de conservación de las especies de anfibios y reptiles presentes en el área de estudio.
- Evaluar la eventual presencia de la especie exótica *Trachemys scripta elegans* (Tortuga Californiana) en el HRC.

- Comparar los resultados de la campaña de otoño y primavera del año 2016, con aquellos obtenidos durante el Programa de Diagnóstico Ambiental (año 2014) y durante el Primer Año del Programa de Monitoreo Ambiental del HRC (año 2015).

4.2.6.3. Material y métodos

Metodología de terreno

Para ambos grupos de animales, se utilizó la técnica de Relevamiento por Encuentros Visuales (“*Visual Encounter Survey*” o VES), dado que ofrece muchas posibilidades de uso (Heyer *et al.*, 2001). Esta técnica de muestreo se ha utilizado ampliamente para la evaluación rápida de anfibios en grandes áreas, especialmente en hábitats uniformes donde la visibilidad es buena y también es útil para reptiles que habitan en el suelo y que son activos en áreas abiertas. Por otra parte, se la ha utilizado de manera efectiva para especies de anfibios que viven en hábitats fácilmente identificables, tales como troncos o zonas riparias, pendientes en talud, etc. También es apropiada para especies que están altamente agrupadas y para monitorear larvas de anfibios en charcas poco profundas, con aguas claras y vegetación dispersa (Heyer *et al.*, 2001). En este método, una persona camina a través de un área o hábitat, por un período de tiempo predeterminado buscando animales de manera exhaustiva (Fig. 4.2.6.1). El tiempo se expresa como el número de horas/hombre de búsqueda en cada una de las áreas a comparar. El VES es una técnica apropiada, tanto para estudios de inventario como para monitoreo.

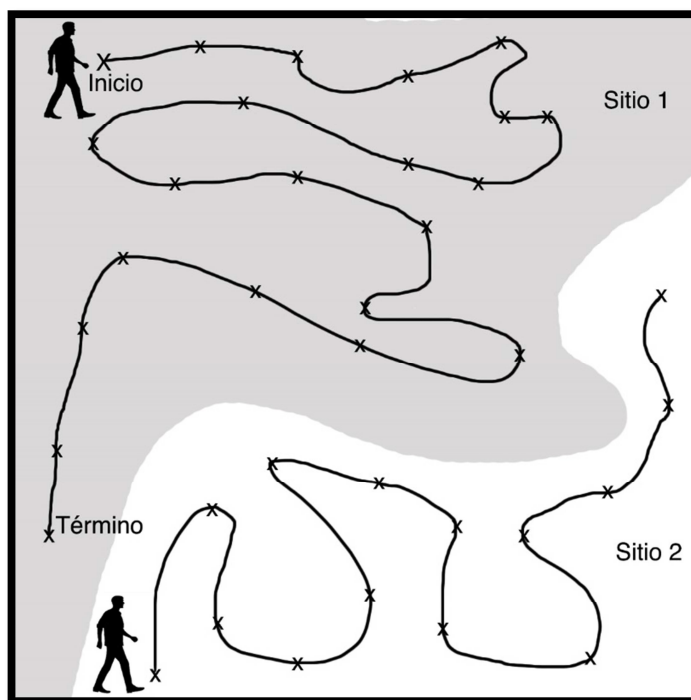


Figura 4.2.6.1. Esquema del método de búsqueda aleatoria para recolección de anfibios y reptiles, mediante transectos al azar en un área determinada (modificado de Heyer *et al.*, 2001).

Las campañas de terreno realizadas durante el Segundo Año del Programa de Monitoreo Ambiental del HRC, se llevaron a cabo entre los días 15 y 19 de junio (otoño) y entre el 25 y 29 de octubre del año 2016 (primavera). El diseño del muestreo escogido para realizar la toma de datos, estuvo basado en una combinación de un VES aleatorizado por caminatas al azar y un VES en transectos. En algunos casos, particularmente para reptiles, se usó el método de búsqueda en parches. Se escogieron estos métodos como referentes por ser los indicados para muestrear grandes áreas y por ser los que más se adaptan a las necesidades del presente estudio.

Se procedió a registrar el punto de cada observación con ayuda de un GPS y se apuntó en la planilla de campo el número y determinación de la(s) especie(s), así como otros datos relevantes en caso que hubiesen (*e.g.*, anfibios o reptiles muertos, estado de desarrollo, presencia de parásitos). Al finalizar cada transecto se procedió a controlar la hora final para volverla a anotar en la planilla.

También se registraron evidencias auditivas o cantos. El reconocimiento de vocalizaciones de anfibios es relativamente simple, pero muy efectivo no solo para determinar la presencia o ausencia de especies de anuros, sino también para establecer épocas y sitios de reproducción. Se buscaron renacuajos (el estado de desarrollo acuático de los anfibios) mediante redes de mano y la inspección minuciosa en las riberas de los cuerpos de agua (agujeros en grietas, pozas temporales, arroyos y ríos). Se tomaron además datos como abundancia relativa, estados de desarrollo de renacuajos y presencia de oviposturas. Por su movilidad y cuando fue posible, la prospección de la eventual presencia de reptiles se realizó hasta 50 metros desde las riberas de los cuerpos hídricos del área de estudio. Para cada sitio prospectado, se confeccionó un catastro de las especies de anfibios y reptiles existentes, estimándose riqueza específica, densidad y abundancia relativa, mediante el esfuerzo de muestreo realizado.

Se utilizó el programa EstimateS 9.1 (Colwell, 2013) para los datos de riqueza y abundancia relativa de especies, y se calcularon los índices de Simpson, Pielou y Shannon-Weaver. Todas las mediciones fueron de acuerdo a lo descrito en el Informe Final del Programa de Diagnóstico Ambiental del HRC, sección 4.9.

Índices de Diversidad

Las comunidades biológicas poseen una propiedad emergente, la diversidad específica, que se relaciona con la variedad dentro de esas comunidades, atributo que es la expresión de dos componentes: el número de especies presentes en la comunidad (=riqueza de especies) y la equidad, referida a cómo la abundancia (el número de individuos) se distribuye entre las especies de tal comunidad. En algunos casos un valor dado de un índice de diversidad puede provenir de distintas combinaciones de riqueza específica y equidad. Es decir, el mismo índice de diversidad puede obtenerse de una comunidad con baja riqueza y alta equidad como de una comunidad con alta riqueza y baja equidad. Esto significa que el valor del índice aislado no permite conocer la importancia relativa de sus componentes (riqueza y equidad).

Los índices de diversidad más ampliamente utilizados son (1) el Índice de Shannon-Weaver (H') y (2) el Índice de Simpson (D). El Índice de diversidad Shannon-Weaver (H') (Shannon, 1949) expresa la uniformidad de los valores de importancia, a través de todas las especies de la muestra. Mide el grado promedio de incertidumbre en predecir a qué especie pertenecerá un individuo escogido al azar de una colección (Moreno, 2001). Asume que los individuos son seleccionados al azar y que todas las especies están representadas en la muestra. Dado que conceptualmente el índice H' es una medida del grado de incertidumbre asociada a la selección aleatoria de un individuo en el muestreo (Pla, 2006), si una comunidad de S especies es muy homogénea, por ejemplo porque existe una especie claramente dominante y las restantes $S-1$ especies apenas presentes, el índice será más bajo que si todas las S especies fueran igualmente abundantes. Adquiere valores entre cero, cuando hay una sola especie, y el logaritmo de S , cuando todas las especies están representadas por el mismo número de individuos (Moreno, 2001). Su fórmula es:

$$H' = -\sum p_i \ln p_i$$

donde:

H' = Diversidad de Shannon

p_i = Abundancia relativa (n_i/N), donde n_i es el número de individuos de la especie y N el número total de individuos de todas las especies.

El índice de Simpson (también conocido como el índice de dominancia) es uno de los parámetros que nos permiten medir la riqueza de organismos. Este índice deriva de la teoría de probabilidades, y mide la probabilidad de encontrar dos individuos de la misma especie en dos muestreos sucesivos al azar sin reposición, es decir, representa la probabilidad de que dos individuos, dentro de un hábitat, seleccionados al azar pertenezcan a la misma especie.

Índices de Equidad

Si todas las especies en una muestra presentan la misma abundancia, el índice usado para medir la equidad debería ser máximo y, por lo tanto, debería decrecer tendiendo a cero a medida que las abundancias relativas se hagan menos equitativas. Para cuantificar el componente de equidad de la diversidad de anfibios y reptiles se usó el Índice de Pielou (J'), uno de los índices más utilizados en donde:

$$J' = H'/H'max$$

Donde:

H' = índice de Shannon-Weaver

$(H'max) = \ln(r)$, siendo r el número de especies observadas en la muestra.

4.2.6.4. Resultados

Riqueza y abundancia de anfibios y reptiles

En la Tabla 4.2.6.1 se muestran los resultados obtenidos sobre riqueza y abundancia de anfibios y reptiles encontrados en la zona de estudio durante la campaña de otoño y primavera del año 2016. La riqueza fue de seis especies en otoño, mientras que en primavera fue de ocho especies, correspondiente al 66,7% y 88,9% respectivamente del total esperado para la zona de estudio (nueve especies).

La especie más abundante de anfibios fue *Batrachyla taeniata* (82,6% y 39,8% del total por cada estación), a la vez que las especies menos abundantes fueron *Eupsophus vertebralis* y *Batrachyla leptopus*. Con respecto a los reptiles; en otoño se determinó sólo un individuo correspondiente a la culebra de cola corta, *Tachymenis chilensis*, mientras que en primavera se determinaron las tres especies de reptiles conocidas para el área, siendo *L. cyanogaster* la especie más abundante (10,2%) y *T. chilensis* la de menor abundancia (Tabla 4.2.6.1).

Tabla 4.2.6.1. Número total de especímenes de anfibios y reptiles en el área de estudio durante el otoño (o) y primavera (p) del año 2016. Se señala además la abundancia relativa para otoño y primavera (ARo y ARp, respectivamente).

Especies	o	p	ARo (%)	ARp (%)
Anfibios				
<i>Batrachyla leptopus</i>	1	0	2,2	0
<i>Batrachyla taeniata</i>	38	39	82,6	39,8
<i>Eupsophus altor</i>	1	0	2,2	0
<i>Eupsophus roseus</i>	3	16	6,5	16,3
<i>Eupsophus vertebralis</i>	0	2	0	2,0
<i>Calyptocephalella gayi</i>	0	12	0	12,2
<i>Pleurodema thaul</i>	2	16	4,7	16,3
Reptiles				
<i>Liolaemus pictus</i>	0	2	0	2,0
<i>Liolaemus cyanogaster</i>	0	10	0	10,2
<i>Tachymenis chilensis</i>	1	1	2,2	1,0

En la Figura 4.2.6.2 se muestra la ubicación de las ocho áreas de muestreo en el HRC y sus ríos tributarios. La distribución de la fauna de anfibios y reptiles en el HRC y durante el otoño 2016 se muestra en las Tablas 4.2.6.2 y 4.2.6.3, a la vez que la distribución de ambos grupos durante la campaña de la primavera 2016 se muestra en las Tablas 4.2.6.4 y 4.2.6.5.

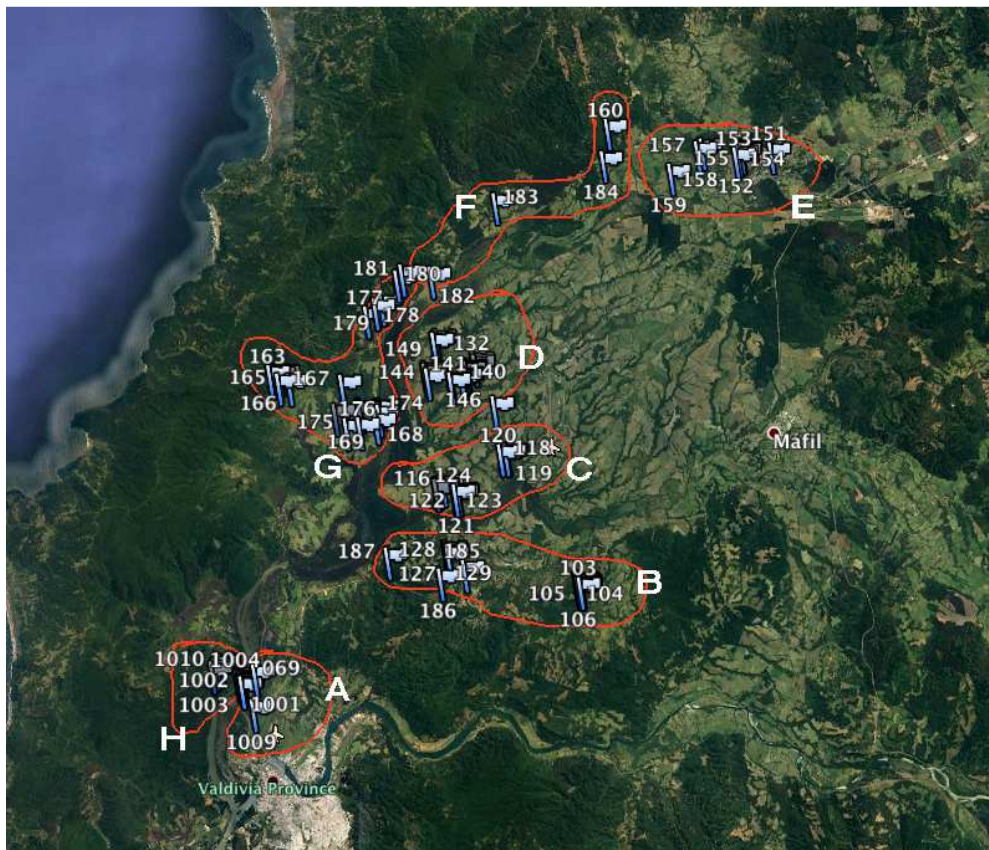


Figura 4.2.6.2. Ubicación de las ocho áreas de muestro (A-H) de anfibios y reptiles en el humedal del río Cruces y sus ríos tributarios. **A:** sector Las Marías **B:** sector río Cayumapu, **C:** sector río Pichoy, **D:** sector ríos Cudico - Nanihue, **E:** sector San José de la Mariquina, **F:** sector río San José, **G:** sector río Santa María, **H:** sector Punucapa.

En el otoño del año 2016, la zona con mayor presencia de anfibios fue la zona G (sector, río Santa María), con 12 individuos contabilizados, mientras que la zona de menor abundancia fue la zona D (sector ríos Cudico - Nanihue) y H (sector Punucapa), con un individuo (Tabla 4.2.6.2). La zona que presentó la única especie de reptil fue la zona B (sector río Cayumapu) (Tabla 4.2.6.3).

Tabla 4.2.6.2. Riqueza y abundancia de especies de anfibios registradas en el otoño del año 2016 en la zona de estudio.

Especie	A	B	C	D	E	F	G	H	Total
<i>Batrachyla leptopus</i>	0	1	0	0	0	0	0	0	1
<i>Batrachyla taeniata</i>	8	3	7	0	6	3	11	0	38
<i>Eupsophus altor</i>	0	0	0	0	0	0	0	1	1
<i>Eupsophus roseus</i>	0	0	2	0	0	0	1	0	3
<i>Pleurodema thaul</i>	1	0	0	1	0	0	0	0	2
Total	8	4	9	1	6	3	12	1	45

Tabla 4.2.6.3. Riqueza y abundancia de especies de reptiles registradas en el otoño del año 2016 en la zona de estudio.

Especie	A	B	C	D	E	F	G	H	Total
<i>Tachymenis chilensis</i>	0	1	0	0	0	0	0	0	1
Total	0	1	0	0	0	0	0	0	1

En la primavera del año 2016, la zona con mayor abundancia de anfibios fue la zona G (sector, río Santa María) con 26 especímenes, mientras que la zona con menor abundancia fue la zona H (sector Punucapa) con dos individuos (Tabla 4.2.6.4). Durante esta campaña la zona de mayor avistamiento de reptiles fue la C (sector río Pichoy), a la vez que no se detectó este tipo de fauna en las zonas B (sector río Cayumapu), F (sector río san José) y H (sector Punucapa) (Tabla 4.2.6.5).

Tabla 4.2.6.4. Riqueza y abundancia de especies de anfibios registradas en primavera de 2016 en la zona de estudio.

Especie	A	B	C	D	E	F	G	H	Total
<i>Batrachyla taeniata</i>	8	4	1	3	16	7	0	0	39
<i>Eupsophus roseus</i>	0	0	0	2	0	0	14	0	16
<i>Eupsophus vertebralis</i>	0	0	0	0	0	0	0	2	2
<i>Pleurodema thaul</i>	0	3	3	0	0	0	10	0	16
<i>Calyptocephalella gayi</i>	0	0	5	0	5	0	2	0	12
Total	8	7	9	5	16	7	26	2	85

Tabla 4.2.6.5. Riqueza y abundancia de especies de reptiles registradas en la primavera del año 2016 en la zona de estudio.

Especie	A	B	C	D	E	F	G	H	Total
<i>Liolaemus pictus</i>	0	0	1	0	0	0	0	0	1
<i>Liolaemus cyanogaster</i>	2	0	3	2	3	0	1	0	11
<i>Tachymenis chilensis</i>	1	0	0	0	0	0	0	0	1
Total	3	0	4	2	3	0	1	0	13

Las Tablas 4.2.6.6 a 4.2.6.9 muestran los Índice de diversidad Shannon-Weaver y de Simpson. Al respecto, el índice de diversidad de Shannon para la campaña de otoño de 2016 fue de $H' = -0,721$, mientras que el de la campaña de primavera fue de $H' = -1,634$. En este sentido, los resultados de otoño muestran claramente que la comunidad de anfibios y reptiles tiende a ser homogénea, dominado por la rana *Batrachyla taeniata* (Tabla 4.2.6.6.). En la campaña de primavera, se evidencia también un dominio de esta especie (Tabla 4.2.6.8.), aunque con presencia significativa de otras especies como *Eupsophus roseus*, *Pleurodema thaul*, *Calyptocephalella gayi* y *Liolaemus cyanogaster*.

Con respecto al índice de Simpson, en la campaña de otoño el valor fue de $D' = 0,690$, mientras que en primavera fue de $D' = 0,2400$. En este sentido, un valor mayor en otoño (Tabla 4.2.6.7), está claramente relacionado con la mayor abundancia relativa de *B. taeniata*, es decir, en un muestreo al azar durante esta campaña, hubo una alta probabilidad de encontrar esta especie. El valor más bajo en primavera (Tabla 4.2.6.9.), está correlacionado a que las abundancias relativas de otras especies fue mayor

Tabla 4.2.6.6. Índice de diversidad específica de Shannon- Weaver (H') para la campaña otoñal del año 2016. N = número total de individuos, P_i = proporción de individuos de una determinada especie, n_i = número de individuos de una determinada especie, Ln = logaritmo natural. Para reptiles no se estimó índice de diversidad ya que se encontró solo un espécimen.

Especie	N	Pi (ni/N)	LnPi	PiLnPi
Anfibios				
<i>Batrachyla leptopus</i>	1	0,0222	-3,8076	-0,0845
<i>Batrachyla taeniata</i>	38	0,8444	-0,1691	-0,1427
<i>Eupsophus altor</i>	1	0,0222	-3,8076	-0,0845
<i>Eupsophus roseus</i>	3	0,0667	-2,7075	-0,1805
<i>Pleurodema thaul</i>	2	0,0445	-3,1122	-0,1384
				H' = -0,6306
Reptiles				
<i>Tachymenis chilensis</i>	1	-	-	-

Tabla 4.2.6.7. Parámetros utilizados en la estimación del Índice de diversidad específica de Simpson (D'), para la campaña otoñal del año 2016. N = número total de individuos, P_i = proporción de individuos de una determinada especie, n_i = número de individuos de una determinada especie. Para reptiles no se estimó índice de diversidad ya que se encontró solo un espécimen.

Especie	N	Pi (ni/N)	Pi²
Anfibios			
<i>Batrachyla leptopus</i>	1	0,0222	0,0005
<i>Batrachyla taeniata</i>	38	0,8444	0,6713
<i>Eupsophus altor</i>	1	0,0222	0,0005
<i>Eupsophus roseus</i>	3	0,0667	0,0044
<i>Pleurodema thaul</i>	2	0,0445	0,0019
			D' = 0,6786
Reptiles			
<i>Tachymenis chilensis</i>	1	-	-

Tabla 4.2.6.8. Índice de diversidad específica de Shannon-Weaver (H'), de anfibios y reptiles para la campaña de muestreo de primavera de 2016. N = número total de individuos, P_i = proporción de individuos de una determinada especie, n_i = número de individuos de una determinada especie, \ln = logaritmo natural.

Especie	N	Pi (ni/N)	LnPi	PiLnPi
Anfibios				
<i>Batrachyla taeniata</i>	39	0,4588	-0,7791	-0,3574
<i>Eupsophus roseus</i>	16	0,3556	-1,0339	-0,3676
<i>Eupsophus vertebralis</i>	2	0,0444	-3,1145	-0,1382
<i>Calyptocephalella gayi</i>	12	0,2667	-2,1001	-0,5600
<i>Pleurodema thaul</i>	16	0,3556	-1,3216	-0,3676
				H=1,791
Reptiles				
<i>Liolaemus pictus</i>	1	0,0769	-2,5652	-0,1972
<i>Liolaemus cyanogaster</i>	11	0,8461	-0,1671	-0,1413
<i>Tachymenis chilensis</i>	1	0,0769	-2,5652	-0,1972
				H' =0,535

Tabla 4.2.6.9. Índice de diversidad específica de Simpson (D') de anfibios y reptiles para la campaña de muestreo de primavera de 2016. N = número total de individuos, P_i = proporción de individuos de una determinada especie, n_i = número de individuos de una determinada especie.

Especie	N	Pi (ni/N)	Pi²
Anfibios			
<i>Batrachyla taeniata</i>	39	0,4588	0,2104
<i>Eupsophus roseus</i>	16	0,3556	0,1264
<i>Eupsophus vertebralis</i>	2	0,0444	0,0019
<i>Calyptocephalella gayi</i>	12	0,2667	0,0711
<i>Pleurodema thaul</i>	16	0,3556	0,1264
			D'= 0,536
Reptiles			
<i>Liolaemus pictus</i>	1	0,0769	0,0059
<i>Liolaemus cyanogaster</i>	11	0,8461	0,0126
<i>Tachymenis chilensis</i>	1	0,0769	0,0059
			D' = 0,024

De este modo, el índice J' para la fauna de anfibios recolectada durante la campaña otoñal del año 2016 fue de: $0,6306/1,609= 0,391$, mientras que la primavera del mismo año fue de $1,791/1,609= 1,113$. El valor de 0,391 obtenido en otoño, indica que el valor de H' fue menor al esperado de acuerdo a las especies presentes en el área de estudio. De manera similar, el valor de 1,113 estimado durante la campaña primaveral fue menor a lo esperado, aunque relativo a sólo una especie no encontrada (*Batrachyla leptopus*).

Con respecto a los reptiles, el índice sólo pudo ser estimado para la campaña de primavera en donde: $J' = 0,024/ 1,098=0,022$, valor muy bajo con respecto a lo esperado, pero explicado por la baja abundancia de dos especies (*Liolaemus pictus* y *Tachymenis chilensis*) y la alta abundancia relativa de *L. cyanogaster*.

Comparación entre las campañas de los Programas de Diagnóstico y Monitoreo Ambiental del HRC

Para hacer estimaciones de variabilidad temporal de la diversidad de anfibios y reptiles del HRC, se compararon los resultados de las campañas del Programa de Diagnóstico Ambiental del HRC (otoño y primavera del año 2014) con los del primer y segundo Año del Programa de Monitoreo del HRC (primavera del año 2015 y otoño y primavera del año 2016). Los resultados se muestran en las Tablas 4.2.6.10 y 4.2.6.11.

De la Tabla 4.2.6.10, puede inferirse que las especies más abundantes en el HRC, son hasta ahora *Batrachyla taeniata* con 289 individuos y *Calyptocephalella gayi* con 148 individuos. Ambas especies representan cerca del 71,5% del total de anfibios prospectados en el HRC. Por su parte, *Liolaemus cyanogaster* representa la especie más abundante en el caso de los reptiles, con 63 individuos (70% del total). Al comparar por estaciones, se evidencian diferencias en la abundancia total de especímenes encontrados, en las abundancias relativas de cada especie y en el índice de diversidad de Shannon-Weaver (Tabla 4.2.6.10). En el caso de los reptiles, estas diferencias están claramente relacionadas con la menor o nula actividad de estos animales en otoño. Con respecto a los

anfibios, las diferencias estacionales podrían estar dadas por sus épocas reproductivas. Ejemplo de esto, es *C. gayi*, cuya mayor actividad se observa en primavera (cantos y desplazamientos en agua y tierra) y no así en otoño, dado que permanecen ocultos en los cuerpos de agua, siendo difícil encontrarlas sin usar redes de arrastre u otros implementos. En el caso de *B. taeniata*, como ya se ha comentado, la abundancia de esta especie se puede deber a su tolerancia a los ambientes intervenidos, encontrándose incluso bajo escombros. Tanto en primavera como en otoño, es la especie más abundante.

Con respecto a los índices de diversidad, hay una notoria diferencia en el índice de diversidad de Shannon-Weaver entre las campañas de primavera y otoño. Sin duda que esto justifica la realización de campañas en ambas estaciones dado que la campaña de primavera por si sola, está dando la impresión de una comunidad más o menos diversa de anfibios y reptiles, pero no nos permite saber su variación estacional, la que resulta evidente al comparar los índices de ambas estaciones tanto en las campañas de diagnóstico como en las de monitoreo realizadas hasta ahora.

Tabla 4.2.6.10. Comparaciones de la riqueza y abundancia de anfibios y reptiles entre las campañas del Programa de Diagnóstico Ambiental (otoño y primavera del año 2014) y las del Primer y Segundo Año del Programa de Monitoreo Ambiental del HRC (primavera del año 2015, otoño y primavera del año 2016, respectivamente). o = otoño; p = primavera.

Especies	otoño 2014	primavera 2014	primavera 2015	otoño 2016	primavera 2016
Anfibios					
<i>Batrachyla leptopus</i>	2	10	1	1	0
<i>Batrachyla taeniata</i>	20	120	72	38	39
<i>Calyptocephalella gayi</i>	0	30	106	0	12
<i>Eupsophus altor</i>	0	5	1	1	0
<i>Eupsophus roseus</i>	7	7	2	3	16
<i>Eupsophus vertebralis</i>	0	1	0	0	2
<i>Pleurodema thaul</i>	3	5	0	2	16
Total	32	178	182	45	85
Índice H'	0,999	1,361	1,133	0,630	1,791
Reptiles					
<i>Liolaemus cyanogaster</i>	3	31	18	0	11
<i>Liolaemus pictus</i>	7	2	12	0	1
<i>Tachymenis chilensis</i>	0	1	1	1	1
Total	10	212	213	1	98
Índice H'	0,271	0,459	0,703	-	0,535

En la Tabla 4.2.6.11 se muestra los resultados de las comparaciones por sector de todas las campañas realizadas hasta ahora. De esta tabla se observa que los sectores con mayor abundancia de anfibios y reptiles fueron el sector G (río Santa María) y el sector B (sector río Cayumapu). El sector con menor diversidad hasta ahora corresponde al sector H (sector Punucapa). El sector de río Santa María, aunque altamente intervenido por la ganadería tiene varios parches de bosque nativo donde fue posible observar la mayoría de los especímenes de *Eupsophus roseus* y *Pleurodema thaul*. El sector de Punucapa representa el sector con menor riqueza y abundancia de anfibios y reptiles, debido principalmente a que es una zona altamente urbanizada a orillas del Río Cruces.

Tabla 4.2.6.11. Riqueza y abundancia de especies de anfibios registradas en la zona de estudio según los sectores señalados en la Figura 4.2.6.2.

Campaña	A	B	C	D	E	F	G	H	Total
otoño 2014	4	1	2	3	24	0	4	4	42
primavera 2014	31	59	27	14	4	51	12	14	212
primavera 2015	5	34	11	20	3	27	107	6	213
otoño 2016	8	5	9	1	6	3	12	1	46
primavera 2016	11	7	13	7	24	7	27	2	98
Total	59	106	62	45	61	88	162	27	611

4.2.6.5. Conclusiones

- La comunidad de anfibios del HRC está dominada por *B. taeniata* y *C. gayi*. Esto concuerda con lo esperado, ya que *B. taeniata* corresponde a una especie común en la región, con una tolerancia moderada a la actividad antrópica. Esta especie fue posible encontrarla en sectores de extracción y procesamiento de áridos y bajo neumáticos abandonados. La abundancia de *C. gayi* está relacionada con la época reproductiva de esta especie.
- *Eupsophus altor* y *Eupsophus vertebralis* (esta última especie no encontrada en la prospección de la primavera del año 2015 y el otoño del año 2016), fueron las especies menos abundantes seguidas de *Batrachyla leptopus*. En el caso de las especies del género *Eupsophus* esto es esperable, dado que estas especies son típicas de zonas boscosas o ecotonales, con baja intervención antrópica y ausencia de ganado.
- Los especímenes de *E. roseus* encontrados en la prospección de la primavera del año 2016 correspondieron a la zona del río Santa María (sector G), en donde existe un pequeño remanente de bosque nativo.
- Al igual que en casos anteriores, se observaron especímenes de *Eupsophus roseus* con quistes intradérmicos correspondientes a estados larvales del ácaro *Hannemania* sp., común en anfibios expuestos a zonas donde hay ganado vacuno.

Al eclosionar estas larvas producen daño en la epidermis del anfibio, el que puede llegar a ser severo, dependiendo de la cantidad de parásitos

- La abundancia de *P. thaul* fue mayor que en las prospecciones anteriores, observándose gran cantidad de renacuajos.
- En reptiles *L. cyanogaster* representa en la mayoría de las prospecciones, la especie más abundante.
- No se determinó presencia de tortuga de orejas rojas (*Trachemys scripta*) en el HRC.

4.2.6.6. Referencias

Attademo, A.M., P.M. Peltzer, R.C. Lajmanovich, C. Junges, A. Basso, M. Cabagna-Zenklusen. 2012. Trombiculid mites (*Hannemania* sp.) in *Leptodactylus chaquensis* (Amphibia: Anura) inhabiting selected soybean and rice agroecosystems of Argentina. *Journal of Zoo and Wildlife Medicine* 43: 579-584.

Colwell, R. K. 2013. EstimateS: Statistical estimation of species richness and shared species from samples. Version 9. User's Guide and application published at: <http://purl.oclc.org/estimates>.

Frost, D.R. 2014. Amphibian Species of the World: an Online Reference. Version 5.5. American Museum of Natural History, New York, USA. <http://research.amnh.org/vz/herpetology/amphibia/>. Última consulta: 20 nov 2014.

Heyer, R.W., M.A. Donnelly, R.Mc. Diarmid, L.A. Hayek, M. Foster. 2001. Medición y Monitoreo de la Diversidad Biológica. Métodos estandarizados para Anfibios. (ed. original 1994, traducido de Lavilla, Esteban O.). República Argentina.

Pincheira-Donoso, D., J.A. Scolaro, P. Sura. 2008. A monographic catalogue on the systematics and phylogeny of the South American iguanian lizard family Liolaemidae. *Zootaxa* 1800: 1-85.

Pla, L. 2006. Biodiversidad: Inferencia basada en el índice de Shannon y la riqueza. *Interciencia* 31 (8).

ANEXO 1

Listado de los especímenes encontrados durante la campaña de primavera 2016 con sus respectivas coordenadas, fecha y abundancia de cada especie. Bl: *Batrachyla leptopus*, Bt: *Batrachyla taeniata*, Er: *Eupsophus roseus*, Ea: *Eupsophus altor*, Er: *Eupsophus roseus*, Cg: *Calyptocephalella gayi*, Lp: *Liolaemus pictus*, Lc: *Liolaemus cyanogaster*, Tc: *Tachymenis chilensis*. Las zonas corresponden a aquellas indicadas en la Figura 4.2.6.2.

Fecha	Punto GPS	Coordenadas	Bt	Cg	Ev	Er	Lc	Lp	Pt	Tc	Total
25-10-16	1000	-73.256499 -39.784896	-	-	-	-	-	-	-	-	-
25-10-16	1001	-73.255845 -39.786012	1	-	-	-	-	-	-	-	1
25-10-16	1002	-73.256288 -39.786958	-	-	-	-	-	-	-	-	-
25-10-16	1003	-73.256355 -39.786385	1	-	-	-	-	-	-	-	1
25-10-16	1004	-73.25881 -39.783779	1	-	-	-	-	-	-	-	1
25-10-16	1005	-73.257636 -39.782565	-	-	-	-	-	-	-	-	-
25-10-16	1006	-73.257767 -39.784271	3	-	-	-	-	-	-	-	3
25-10-16	1007	-73.25537 -39.784223	-	-	-	-	-	-	-	-	-
25-10-16	1008	-73.255527 -39.784131	2	-	-	-	2	-	-	-	4
25-10-16	1009	-73.24949 -39.796891	-	-	-	-	-	-	-	1	1
27-10-16	101	-73.720833 -41.254	-	-	-	-	-	-	-	-	-
26-10-16	1010	-73.270535 -39.777756	-	-	1	-	-	-	-	-	1
26-10-16	1011	-73.270361 -39.77704	-	-	1	-	-	-	-	-	1

28-10-16	135	-73.130535	-39.647979	-	-	-	-	-	-	-	-	-
28-10-16	136	-73.129733	-39.646974	-	-	-	-	-	-	-	-	-
28-10-16	137	-73.131787	-39.650623	1	-	-	-	-	-	-	-	1
28-10-16	138	-73.131787	-39.650623	-	-	-	-	-	-	-	-	-
28-10-16	139	-73.131787	-39.650623	-	-	-	-	-	-	-	-	-
28-10-16	140	-73.132682	-39.650956	2	-	-	-	-	-	-	-	2
28-10-16	141	-73.139031	-39.653053	-	-	-	-	1	-	-	-	1
28-10-16	142	-73.138533	-39.652516	-	-	-	-	1	-	-	-	1
28-10-16	143	-73.139508	-39.652632	-	-	-	-	-	-	-	-	-
28-10-16	144	-73.15248	-39.651122	-	-	-	-	-	-	-	-	-
28-10-16	145	-73.154011	-39.648965	-	-	-	-	-	-	-	-	-
28-10-16	146	-73.113941	-39.663677	-	-	-	-	-	-	-	-	-
28-10-16	147	-73.154117	-39.648175	-	-	-	-	-	-	-	-	-
28-10-16	148	-73.147612	-39.63368	-	-	-	-	-	-	-	-	-
28-10-16	149	-73.148932	-39.635053	-	-	-	2	-	-	-	-	2
28-10-16	150	-73.148936	-39.63505	-	-	-	-	-	-	-	-	-
28-10-16	151	-72.952271	-39.54736	-	-	-	-	-	-	-	-	-
28-10-16	152	-72.971509	-39.548698	1	-	-	-	-	-	-	-	1

ANEXO 2

Fotografías representativas de anfibios y reptiles encontrados durante los muestreos del Programa de Monitoreo Ambiental del HRC año 2016.



A) *Batrachyla taeniata*, B) *Eupsophus roseus*, C) *Eupsophus vertebralis*, D) *Pleurodema thaul*.

ANEXO 2 (continuación)



A) *Liolaemus pictus* (juvenil), B) *Liolaemus cyanogaster*.

4.2.7. AVIFAUNA

4.2.7.1. Análisis comunitarios y poblacionales de la avifauna acuática

4.2.7.1.1. Antecedentes

En este Capítulo se entrega información sobre los resultados de análisis tendientes a estudiar aspectos comunitarios y poblacionales de la avifauna acuática del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios (HRC), durante el segundo año del Programa de Monitoreo Ambiental del HRC (abril 2016 - marzo 2017). Esta información se compara con resultados de análisis similares, realizados como parte del primer año del Programa de Monitoreo Ambiental del HRC (abril 2015 - marzo 2016) y del Programa de Diagnóstico Ambiental del mismo humedal (abril 2014 - marzo 2015).

4.2.7.1.2. Objetivos

- Analizar la riqueza de especies y abundancia de la avifauna acuática del HRC durante el año 2016.
- Estudiar la distribución espacial de la riqueza de especies y abundancia de esa avifauna, durante el período antes mencionado.
- Evaluar las abundancias poblacionales y distribución espacial de las especies más comunes de aves acuáticas herbívoras y carnívoras durante el año 2016.
- Comparar los resultados de los análisis arriba mencionados, con aquellos obtenidos durante el primer año del Programa de Monitoreo Ambiental del HRC (abril 2015 - marzo 2016) y durante el Programa de Diagnóstico Ambiental del HRC (abril 2014 - marzo 2015).

4.2.7.1.3. Material y métodos

Se utilizó la base de datos de la CONAF (Valdivia), estructurada en base a los ocho sectores que se muestran en la Figura 4.2.7.1.1 y Tabla 4.2.7.1.1: tres de estos sectores incluyen primariamente al eje central del HRC (río Cruces) y a ríos tributarios ubicados en la vertiente occidental del mismo como son los ríos San Ramón, Tambillo y Santa María

(sectores 1, 2 y 3, respectivamente), otro se ubica en la parte superior del área de estudio e incluye al eje central del río Cruces y parte de los ríos San José y Cruces (sector 4), a la vez que tres sectores incluyen primariamente a ríos tributarios ubicados en la vertiente oriental del HRC (sector 5 con ríos Nanihue y Cudico, sector 6 o río Pichoy y sector 7 o río Cayumapu); el sector 8 o Isla Teja es la continuación sur del eje central del HRC pero está fuera de este (Tabla 4.2.7.1.1).

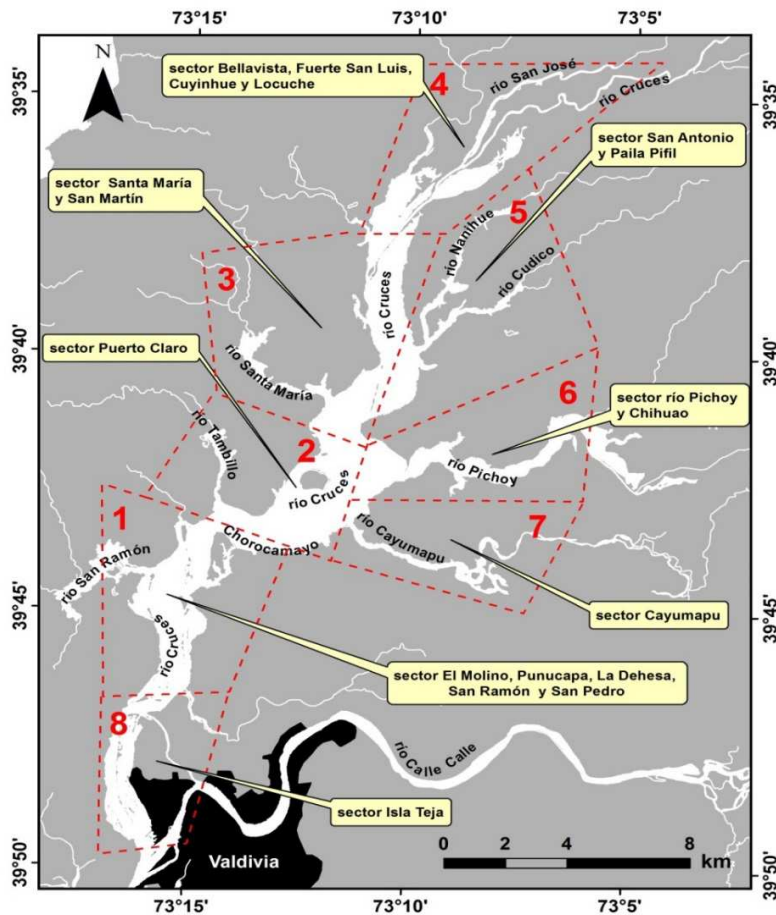


Figura 4.2.7.1.1. Ubicación de los ocho sectores delimitados en el humedal del río Cruces y sus ríos tributarios (HRC), para análisis de la variabilidad espacio temporal de la avifauna acuática del área de estudio (ver Material y métodos).

Tabla 4.2.7.1.1. Sectores predefinidos del humedal del río Cruces y su correspondencia con los sitios de observación usados en los censos realizados por la CONAF.

ubicación	sectores	sitios de observación de los censos CONAF
eje central del HRC	1	El Molino, Punucapa, La Dehesa, San Ramón y San Pedro
	2	Puerto Claro
	3	Santa María y San Martín
	4	Bellavista, Fuerte San Luis, Cuyinhue y Locuche
ríos tributarios	5	San Antonio (río Cudico) y Paila Pifil (río Nanihue)
	6	Pichoy y Chihuahua
	7	Río Cayumapu
fuera del HRC	8	Isla Teja

En base a los datos de abundancia de CONAF, se estimó la variabilidad espacial e inter anual de la riqueza de especies (S) y abundancia total de la avifauna acuática para los sectores 1 a 4. Se excluyen de este análisis a los sectores 5 a 8, debido que para estos solo existen datos de abundancia de cisnes (ver también más adelante).

En este Capítulo se presentan resultados acerca de las dinámicas temporales y espaciales de tres especies de aves acuáticas herbívoras (el Cisne de cuello negro (*Cygnus melancoryphus*)), la Tagua (*Fulica armillata* Vieillot) y la Taguita (*Fulica leucoptera* Vieillot) y tres especies de aves acuáticas carnívoras (la Garza cuca (*Ardea coccoi*), la Garza blanca grande (*Ardea alba* Gmelin) y la Garza blanca chica (*Egretta thula* Molina)). Los datos de abundancia para los cisnes de cuello negro, provienen de censos realizados entre los años 1991 y 2006 en los ocho sectores que se muestran en la Figura 4.2.7.1.1. Por el contrario,

para evaluar la variabilidad espacio temporal en las abundancias de taguas, taguitas y garzas, se trabajó con datos recolectados por CONAF solo en los sectores 1 a 4 (ver Fig. 4.2.7.1.1).

Ya que los resultados del Programa de Diagnóstico Ambiental del HRC, mostraron que el año 2012 fue un punto de quiebre para cisnes y taguas (incrementos significativos en sus abundancias a partir de ese año), se realizan en este Capítulo análisis estadísticos para evaluar la variabilidad interanual durante el período 2012-2016 en las abundancias de estas aves, además de garzas. Se analiza también la abundancia de estas aves acuáticas en relación a sectores específicos del HRC.

Para complementar la información de censos de la CONAF, se muestrearon todas las riberas del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios, además de aquellas del río Calle Calle y parte del río Valdivia, con el objetivo de estudiar la presencia y abundancia de cisnes, taguas y garzas durante las fechas que se indican en Tabla 4.2.7.1.2.

Tabla 4.2.7.1.2. Fechas de salidas a terreno para la realización de censos de la avifauna acuática durante el desarrollo del Programa de Monitoreo (primer y segundo año) y Diagnóstico Ambiental del HRC.

programa	período	fechas para salidas de avistamientos
segundo año Monitoreo Ambiental del HRC	abril 2016 - marzo 2017	28 - 30 abril 2016 13 - 15 julio 2016 28 - 30 noviembre 2016 25 - 27 enero 2017
primer año Monitoreo Ambiental del HRC	abril 2015 - marzo 2016	28 - 30 septiembre 2015 28 - 30 noviembre 2015 27 - 29 enero 2016
Diagnóstico Ambiental del HRC	abril 2014 - marzo 2015	15 - 17 enero 2015

La Figura 4.2.7.1.2 muestra los sectores de muestreo, para determinar y evaluar la presencia y distribución espacial de la avifauna acuática del área de estudio. En cada uno de los mismos se revisaron secciones lineales o transectos ordenados visualmente a lo largo de las riberas y cuyas longitudes aproximadas fueron de 500 m. Es decir, los censos de aves así realizados no son puntuales como los que realiza la CONAF (*i.e.*, recuentos desde puntos fijos), sino continuos a través de todas las riberas del área de estudio.

Los puntos iniciales y finales de cada sección linear fueron georeferenciados en coordenadas UTM (huso WGS-84) con un GPS (Global Position System) GARMIN 60CSx. Se anotó la presencia y abundancia de cisnes, taguas y garzas en cada uno de esos sectores, aves que fueron observadas desde un bote Zodiac.

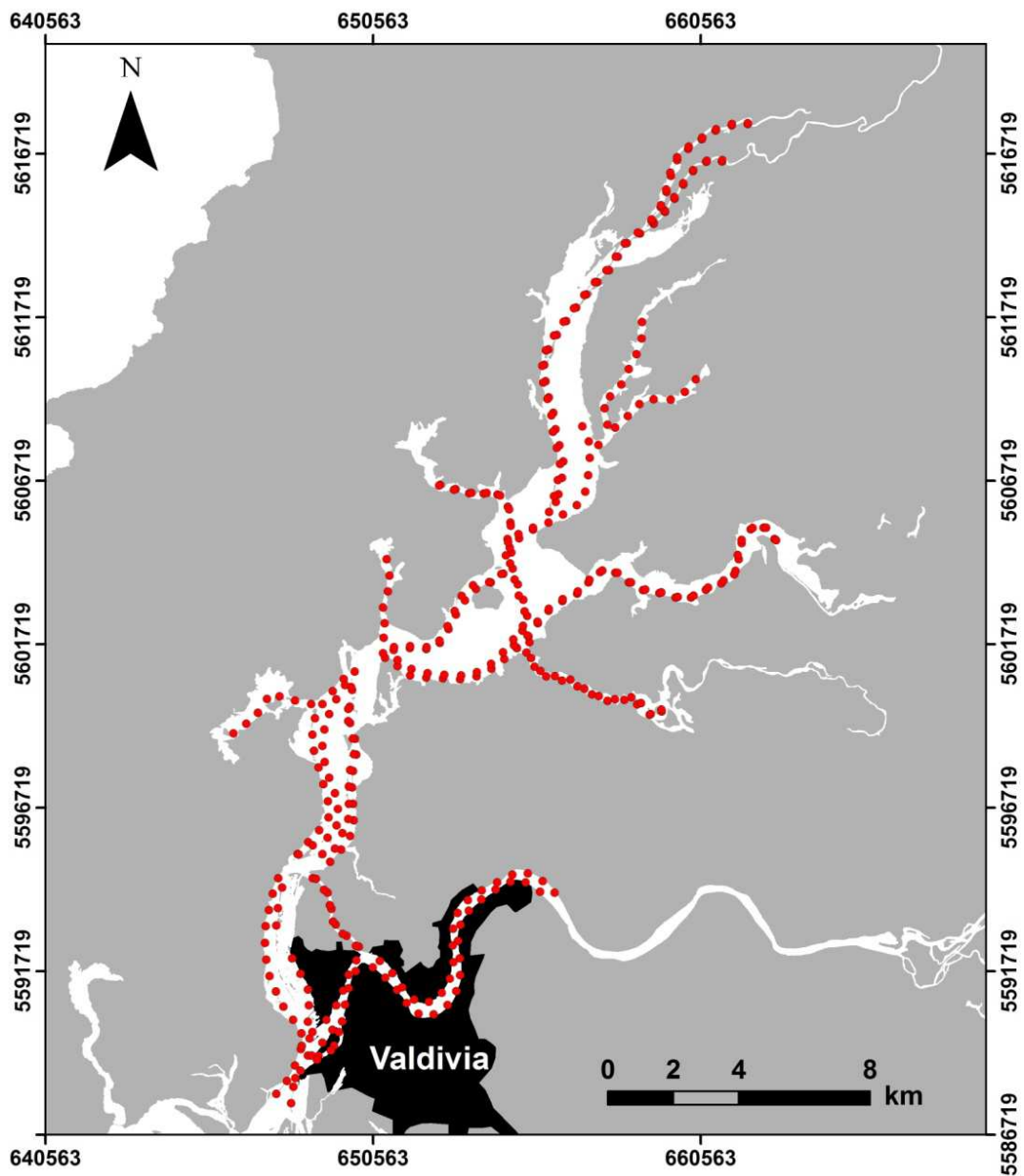


Figura 4.2.7.1.2. Distribución de puntos límites de secciones lineares de 500 m destinadas a evaluar la presencia y distribución espacial de avifauna acuática en las riberas del área de estudio (ver Material y métodos).

4.2.7.1.4. Resultados

Riqueza de especies y abundancia total de la avifauna acuática (fuente de datos: CONAF)

Las Figuras 4.2.7.1.3 y 4.2.7.1.4 muestran la variabilidad espacio - temporal de la riqueza de especies y abundancia total de la avifauna acuática, en los cuatro sectores que conforman el eje central del HRC (*cf.* Fig. 4.2.7.1.1). La abundancia total corresponde simplemente, a la suma de todos los ejemplares contabilizados, para un estrato espacial (sitio) y/o temporal (mes, año).

La comparación de las Figuras 4.2.7.1.3 y 4.2.7.1.4, muestra que la riqueza de especies en el eje central del HRC (sectores 1, 2, 3 y 4) presenta una menor variabilidad temporal que la abundancia total de la avifauna. La riqueza de especies no muestra señales de pérdidas en el largo plazo o entre años particulares.

La Figura 4.2.7.1.4 muestra un quiebre marcado en las abundancias de la avifauna acuática luego del año 2004, situación relacionada con las bajas significativas que ocurrieron el año 2005 en las abundancias poblacionales del Cisne de cuello negro y de la Tagua, las especies más abundantes hasta ese año en el HRC (www.conaf.cl). Esta baja en la abundancia total se mantuvo relativamente constante hasta el año 2012, cuando se comenzó a observar una recuperación de este indicador en los sectores 1, 2 y 3 ubicados en el eje central del HRC. Como se señala más adelante, esta mejoría de la abundancia global de la avifauna acuática, estuvo primariamente relacionada a la recuperación de las abundancias poblacionales del Cisne de cuello negro en dichos sectores.

Los resultados anteriores - obtenidos durante el segundo año del Programa de Monitoreo Ambiental del HRC - ratifican lo observado durante el primer año de ese programa y durante el Programa de Diagnóstico Ambiental del mismo humedal, donde ya se evidenciaba la recuperación de la abundancia total de la avifauna acuática del área.

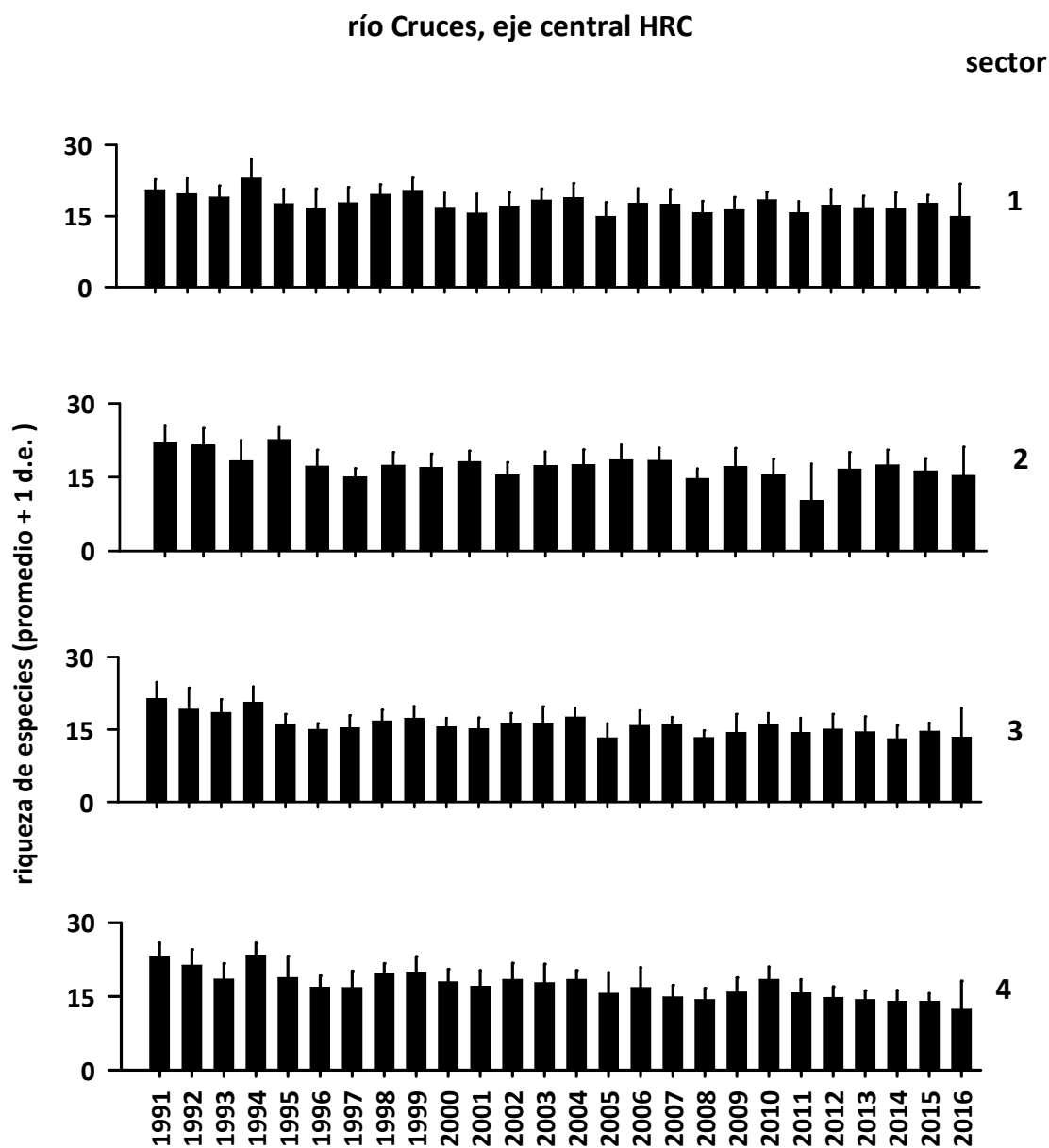


Figura 4.2.7.1.3. Variabilidad temporal de la riqueza de especies de la avifauna acuática en los cuatro sectores del eje central del HRC entre los años 1991 y 2016. Se excluyen de este análisis a los sectores 5 a 8, debido que para estos solo existen datos de abundancia de cisnes. Fuente de datos: CONAF.

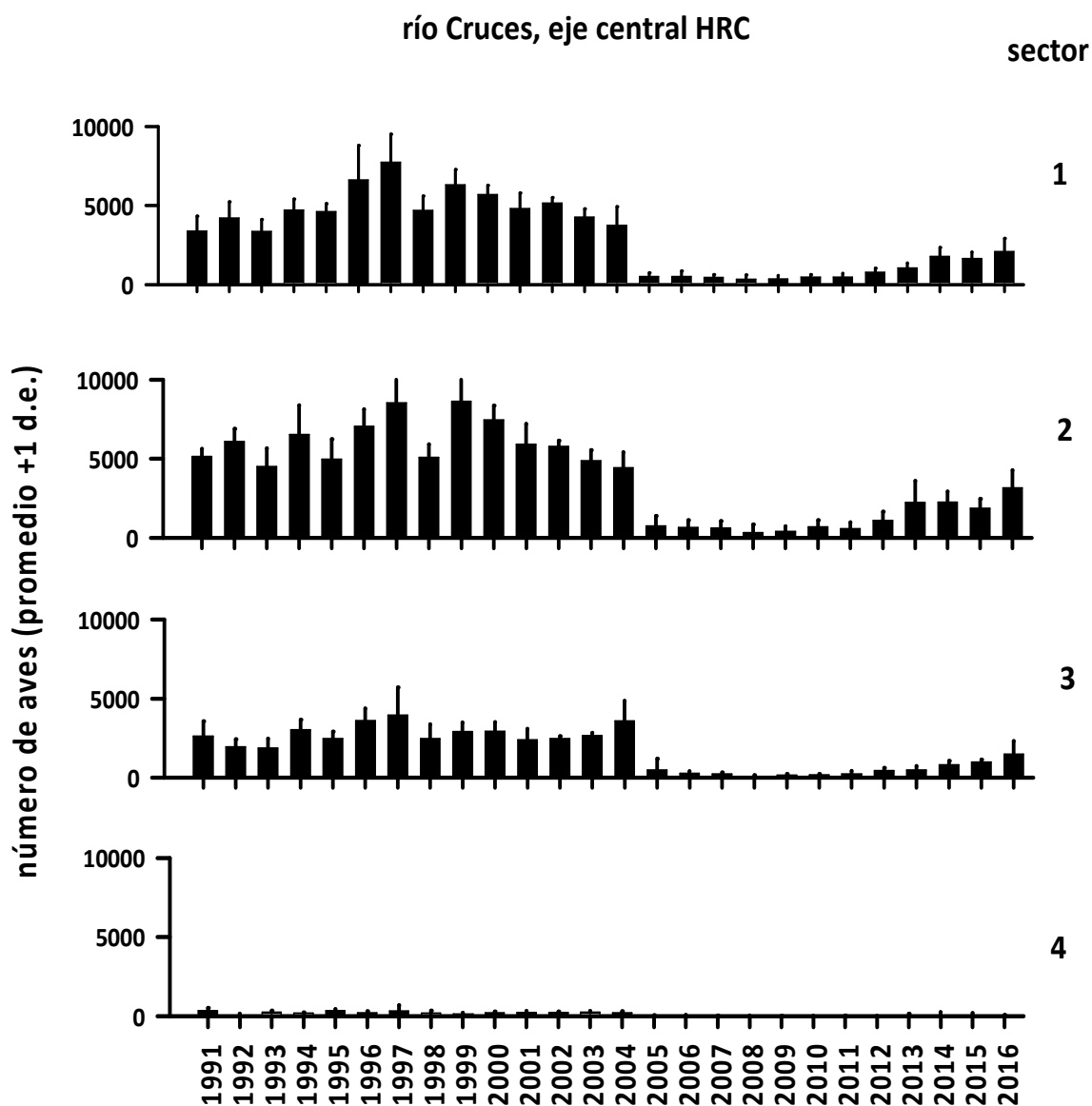


Figura 4.2.7.1.4. Variabilidad temporal de la abundancia total de la avifauna acuática en los cuatro sectores del eje central del HRC entre los años 1991 y 2016. Se excluyen de este análisis a los sectores 5 a 8, debido que para estos solo existen datos de abundancia de cisnes. Fuente de datos: CONAF.

Abundancia de aves acuáticas herbívoras (fuente de datos: CONAF)

Tal como se mostró con los resultados del Programa de Diagnóstico Ambiental del HRC y con aquellos del primer año del Programa de Monitoreo Ambiental del HRC, las abundancias de las aves acuáticas herbívoras más abundantes del área comenzaron a mostrar señales claras de recuperación a partir del año 2012; esto se ha observado primariamente en el Cisne de cuello negro y en la Tagua (Fig. 4.2.7.1.5).

No obstante lo anterior, las tendencias al alza de estas aves han sido contrastantes durante el período 2012 - 2016. Para el caso del Cisne de cuello negro, los datos muestran un aumento sostenido en el tiempo, siendo las abundancias del año 2016 significativamente más altas que aquellas observadas durante todo el período 2012 - 2015 (ANDEVA, $F=68.48$, $gl=4$, $p<0.001$) (Fig. 4.2.7.1.6).

Por el contrario, las abundancias de la Tagua aumentaron entre el año 2012 y el período 2013 - 2014, pero sin mostrar diferencias significativas ($p>0,05$) entre esos años; posteriormente, esas abundancias fueron significativamente más bajas durante el período 2015 - 2016 vs. el 2013 - 2014 (Kruskal - Wallis = 15.76, $gl=4$, $p<0.05$) (Fig. 4.2.7.1.6). La abundancia de esta especie durante el año 2016, no difirió estadísticamente de la observada durante el año 2015 (Dunn' test: 2016 vs 2015, $p>0.05$; Fig. 4.2.7.1.6); de manera que su población sigue mostrando señales variables (*cf.* Fig. 4.2.7.1.4 y 4.2.7.1.5).

Las Figuras 4.2.7.1.5 y 4.2.7.1.6 muestran que la Taguita - después del colapso ocurrido el año 2005 - no muestra señal alguna de recuperación en sus abundancias poblacionales, ya que en los últimos cuatro años no se han observado o detectado ejemplares de esta especie en el HRC. La razón de esto sigue siendo una incógnita.

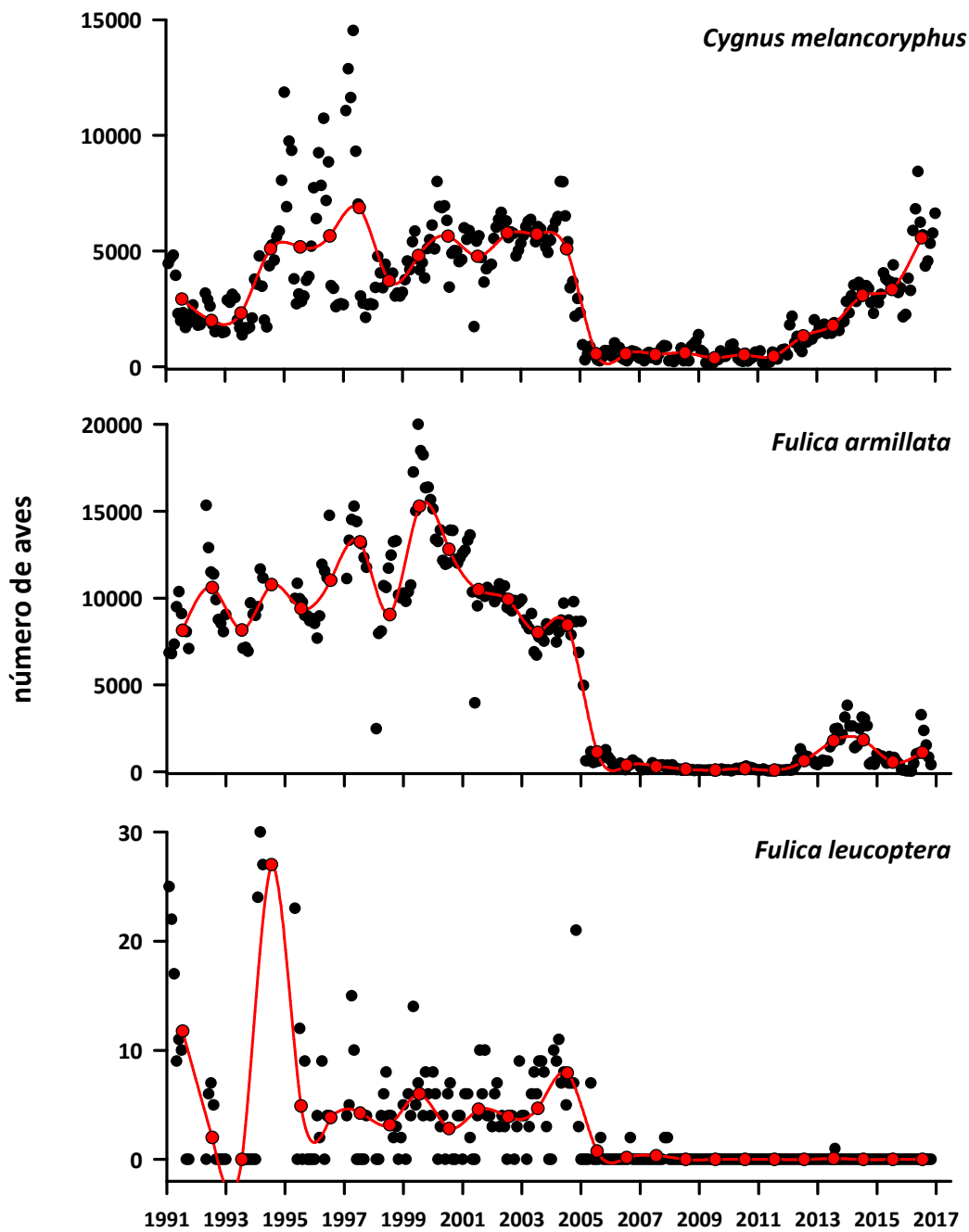


Figura 4.2.7.1.5. Variabilidad temporal en el número de individuos de las aves herbívoras *Cygnus melancoryphus* (Cisne de cuello negro), *Fulica armillata* (Tagua) y *Fulica leucoptera* (Taguita) entre enero del año 1991 y diciembre del año 2016. Los puntos rojos representan el promedio anual del número de aves observadas. Fuente de datos: CONAF.

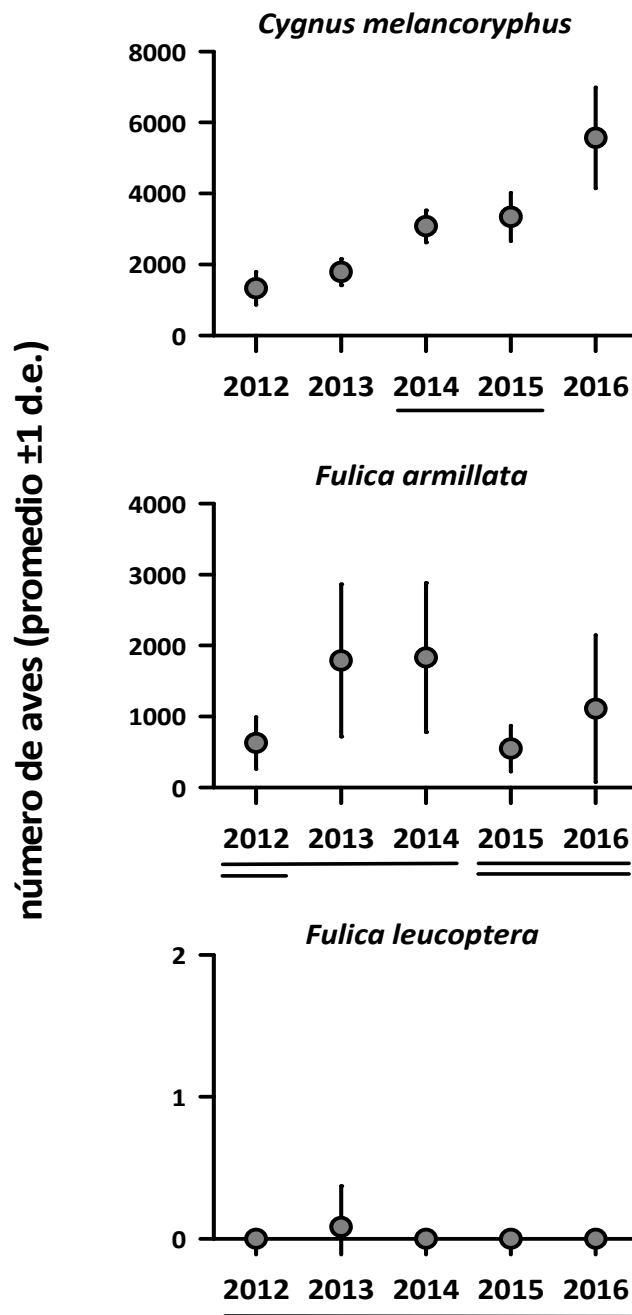


Figura 4.2.7.1.6. Variabilidad temporal del número de especímenes de *Cygnus melancoryphus* (Cisne de cuello negro), *Fulica armillata* (TagUa) y *Fulica leucoptera* (Tagüita), entre los años 2012 y 2016. Las líneas negras inferiores (continuas, alineadas o en el mismo nivel) unen años que no presentan diferencias estadísticas entre sí ($p > 0,05$). Fuente de datos: CONAF.

Abundancia de aves acuáticas carnívoras (fuente de datos: CONAF)

Los resultados del segundo año del Programa de Monitoreo Ambiental del HRC - en cuanto a variabilidad interanual de aves acuáticas carnívoras se refiere - fueron similares a los del primer año de ese programa y a los del Programa de Diagnóstico Ambiental del HRC: *i.e.*, las garzas no fueron afectadas por los cambios ambientales del año 2004 en el humedal (Fig. 4.2.7.1.7).

La Figura 4.2.7.1.8, muestra las tendencias interanuales de abundancias de la Garza cuca, Garza blanca grande y de la Garza blanca chica en los últimos cinco años (período 2012 - 2016).

La Garza cuca muestra una clara tendencia a aumentar su abundancia en el tiempo, principalmente entre los años 2012 y 2016 (Kruskal-Wallis = 22.907, $gl=4$, $p<0.05$; Dunn' test: 2016 vs 2012, $p<0.05$; Fig. 4.2.7.1.8). Para la Garza blanca grande, se observó una tendencia a disminuir en el corto plazo, la cual resultó ser estadísticamente significativo al comparar las abundancias de esta especie entre los años 2012 y 2016 (Kruskal-Wallis=15.04, $gl=4$, $p<0.05$, Dunn' test: 2016 vs 2012, $p<0.05$). Para la Garza blanca chica también se detectó una tendencia significativa ($p<0,05$) a disminuir en el corto plazo, principalmente entre los años 2012 y 2016 (ANDEVA, $F=4.659$, $gl=4$, $p<0.05$; Tukey 2016 vs 2016, $p<0.05$).

Las tendencias antes señaladas son de corto plazo y por ende, deben ser examinadas con atención; tendencias de mayor generalizaciones a las arriba mencionadas, será corroboradas o no con nuevos datos; entre otras razones, porque las series de tiempo de las tres garzas insinúan ciclos o variabilidades mayores a las estacionales.

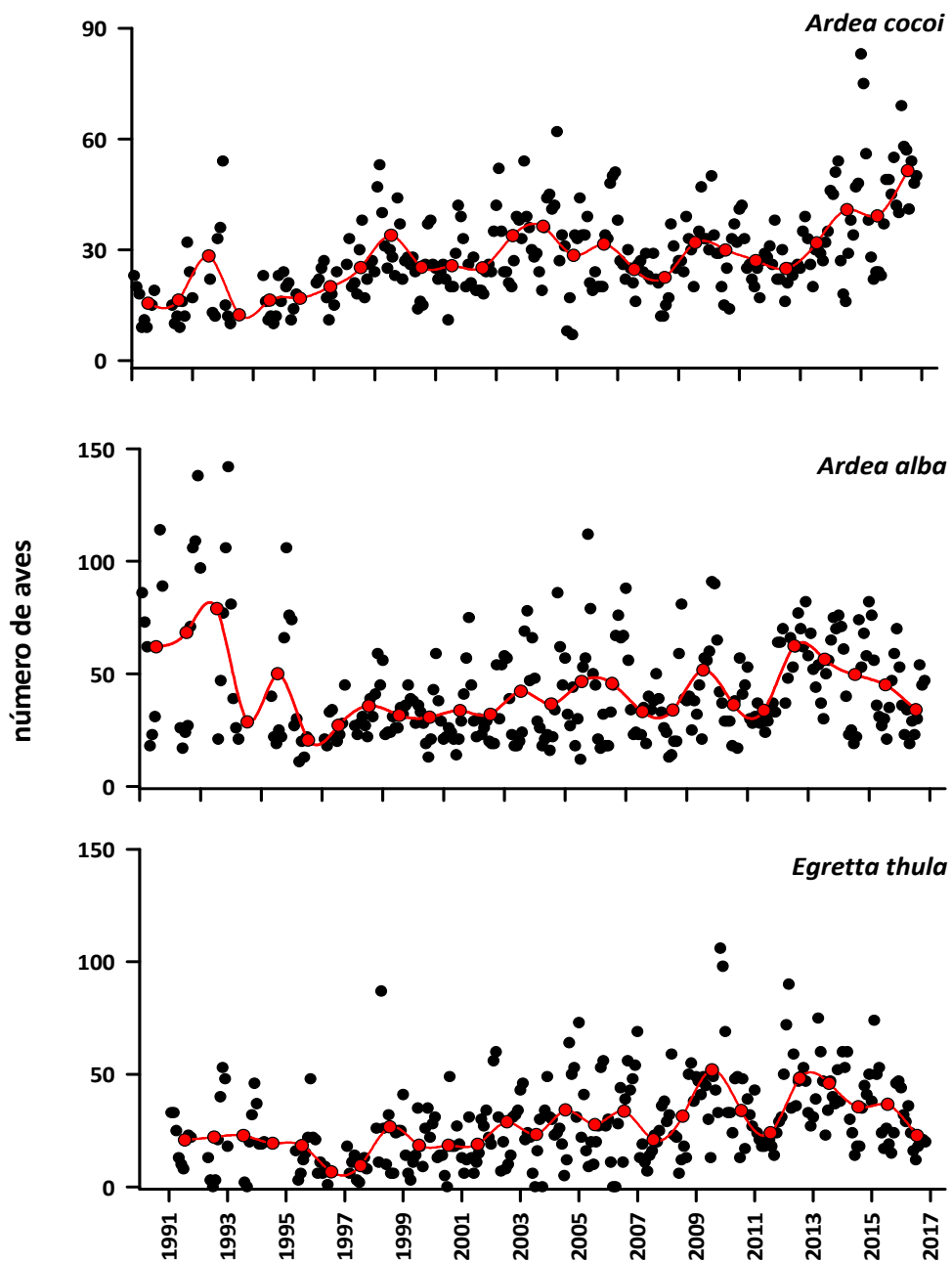


Figura 4.2.7.1.7. Variabilidad temporal en el número de individuos de las aves carnívoras *Ardea cocoi* (Garza cuca), *Ardea alba* (Garza blanca grande) y *Egretta thula* (Garza blanca chica) entre enero del año 1991 y diciembre del año 2016. Los puntos rojos representan el promedio anual del número de aves observadas. Fuente de datos: CONAF.

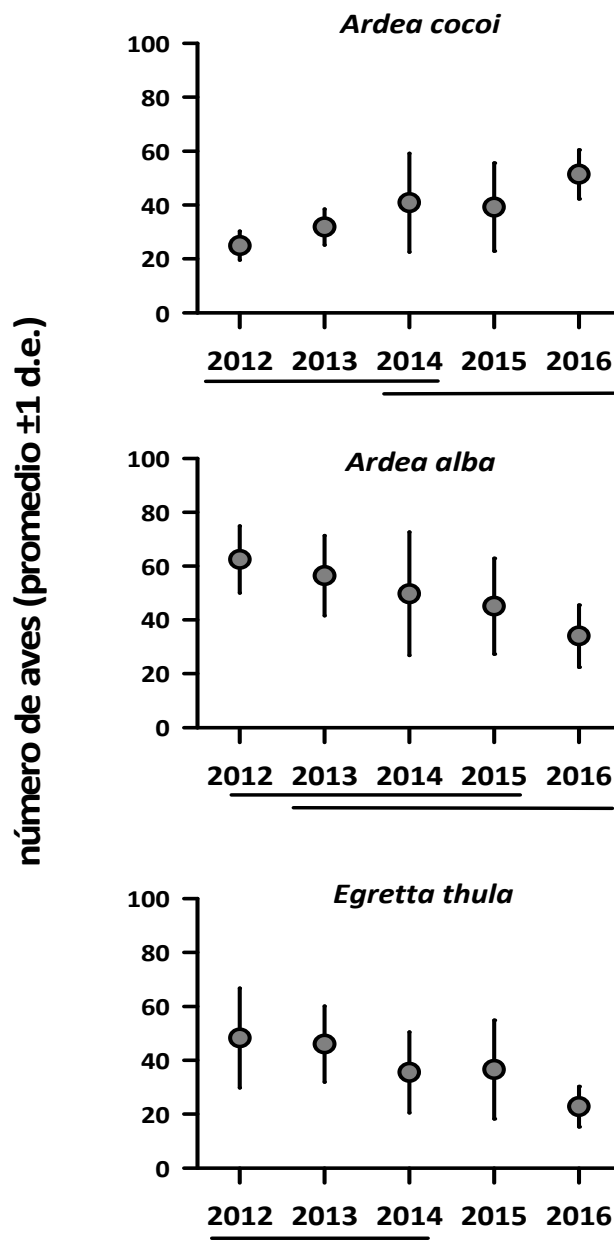


Figura 4.2.7.1.8. Variabilidad temporal del número de especímenes de *Ardea cocoi* (Garza cuca), *Ardea alba* (Garza blanca grande) y *Egretta thula* (Garza blanca chica), entre los años 2012 y 2016. Las líneas negras inferiores (continuas o en el mismo nivel) unen los años que no presentan diferencias estadísticas entre sí ($p > 0,05$). Fuente de datos: CONAF.

Abundancia de aves acuáticas herbívoras acorde sectores del HRC (fuente de datos: CONAF)

Las Figuras 4.2.7.1.9 a 4.2.7.1.11 muestran la variabilidad espacio - temporal de la abundancia del Cisne de cuello negro, de la Tagua y de la Taguita, respectivamente. Los cisnes de cuello negro han sido censados en los ocho sectores señalados en la Figura 4.2.7.1.1, mientras que para las otras aves existen censos periódicos sólo en los sectores 1, 2, 3 y 4.

Entre los años 1991 y 2004, las abundancias del Cisne de cuello negro fueron más abundantes en los sectores 2 y 3 (*cf.*, Fig. 4.2.7.1.9 y 4.2.7.1.1). Entre los años 2005 y 2011, las abundancias de esta ave permanecieron notablemente bajas en toda el área de estudio; no obstante, durante dicho periodo las mayores abundancias se observaron en uno de los ríos tributarios del humedal (río Cayumapu o sector 7) (*cf.*, Fig. 4.2.7.1.9 y 4.2.7.1.1). A partir del año 2012, la abundancia del Cisne de cuello negro comenzó a mostrar una recuperación gradual de sus abundancias, especialmente en los sectores 1 y 2 (*cf.*, Fig. 4.2.7.1.9 y 4.2.7.1.1).

Entre 1991 y 2004, la Tagua fue más abundante en los sectores 1 y 2; después del año 2004, su abundancia - tanto en el eje central del HRC como fuera de éste - ha permanecido muy baja (*cf.*, Fig. 4.2.7.1.10 y 4.2.7.1.1). A pesar de que el cambio más notable en la abundancia de esta especie se produjo el año 2005, los datos ya evidenciaban una disminución en sus abundancias a partir del año 1999 en los sectores 1 y 2 (Fig. 4.2.7.1.10). Las razones de esta declinación no están claras, pero la misma podría estar relacionada a factores que operan más allá del área geográfica del HRC (*e.g.* ocurrencia de “El Niño”) o a resultados de los mismos (*e.g.*, eventuales interacciones con otras aves herbívoras).

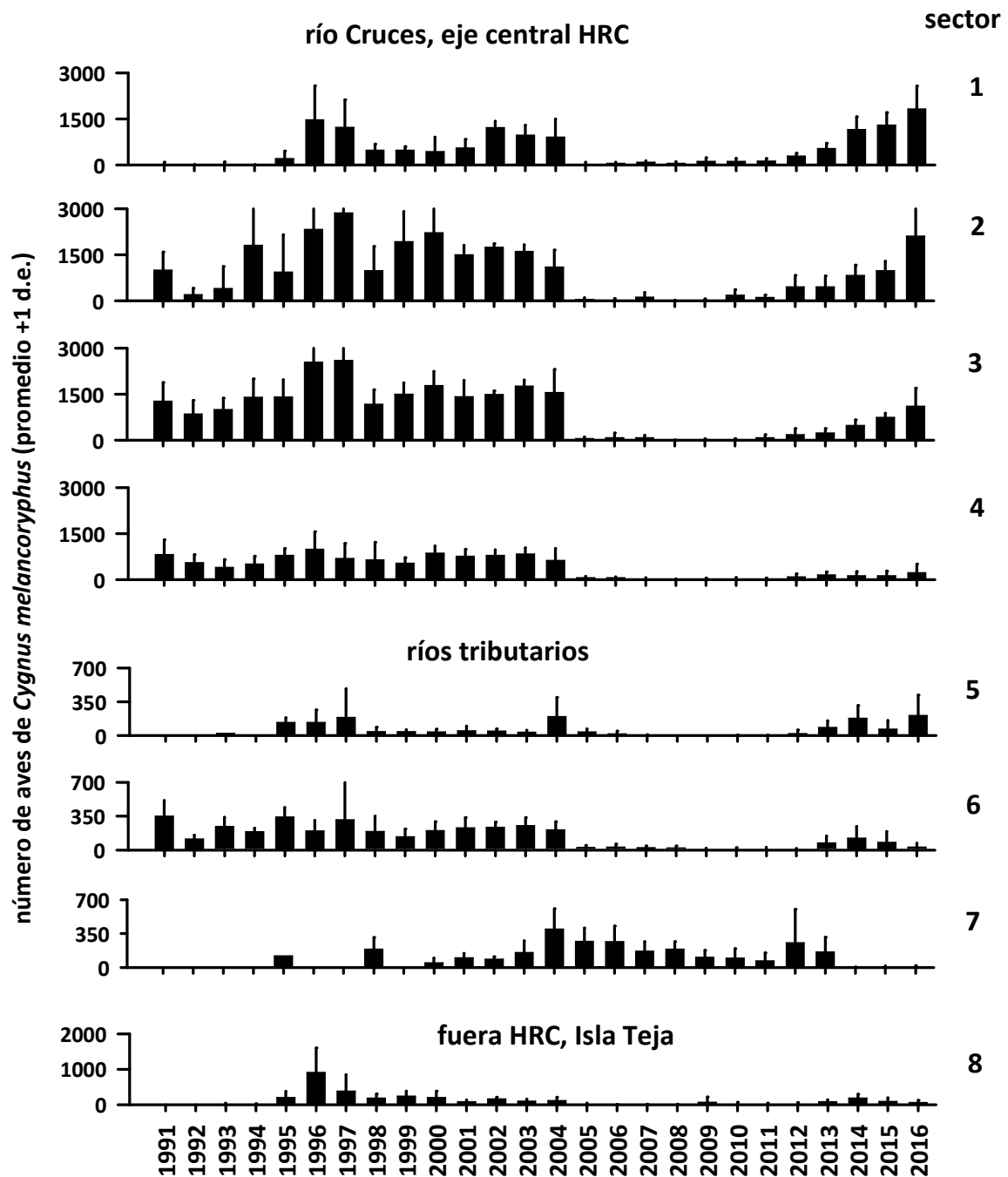


Figura 4.2.7.1.9. Variabilidad temporal de la abundancia de *Cygnus melancoryphus* (Cisne de cuello negro) en cada uno de los ocho sectores estudiados en el HRC entre los años 1991 y 2016. Fuente de datos: CONAF.

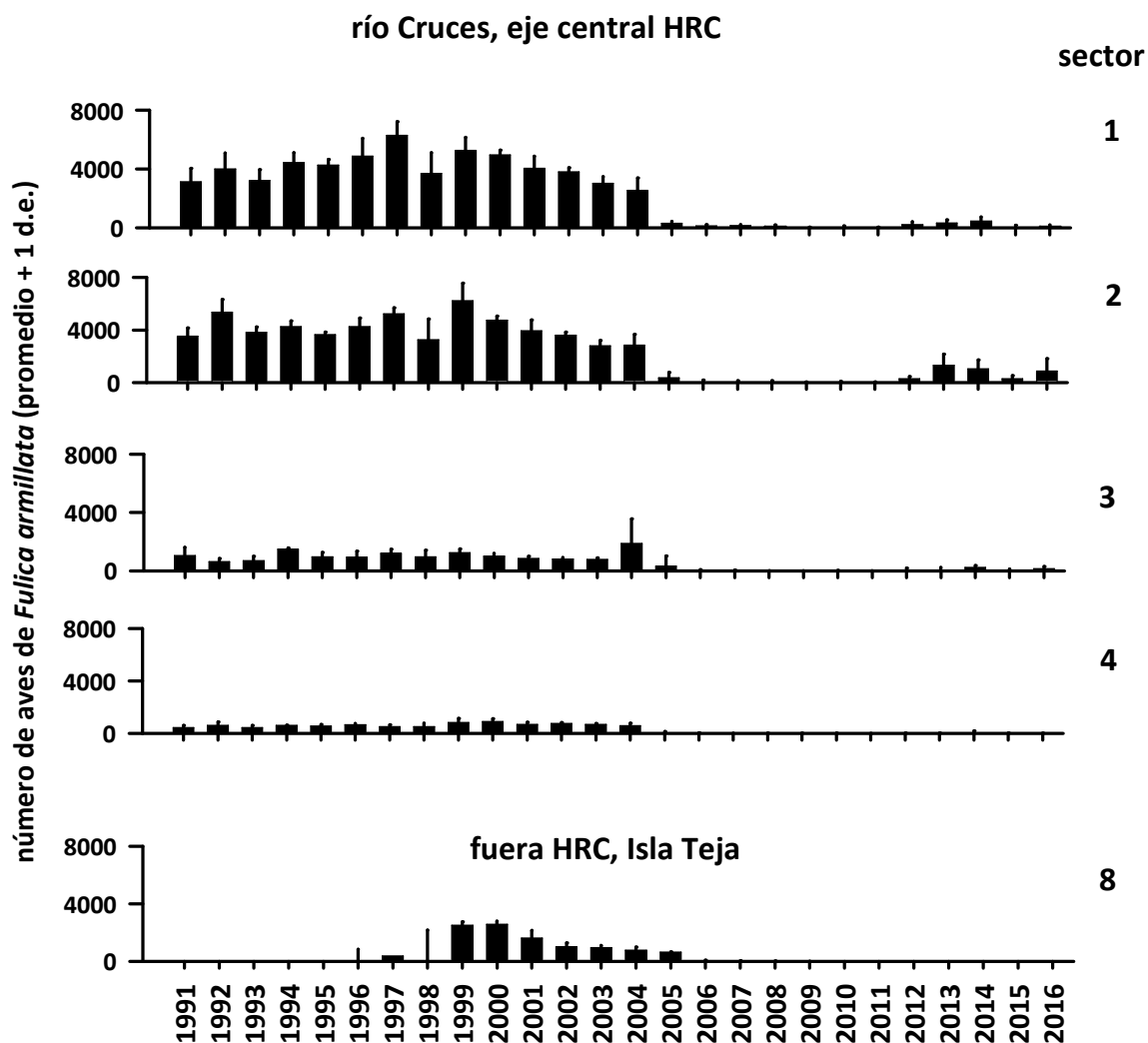


Figura 4.2.7.1.10. Variabilidad temporal de la abundancia de *Fulica armillata* (Tagua) en los cuatro sectores del eje central del HRC entre los años 1991 y 2016. Se excluyen de este análisis a los sectores 5 a 8, debido que para estos solo existen datos de abundancia de cisnes. Fuente de datos: CONAF.

Los registros de abundancia para la Taguita, indican valores máximos observados de 30 ejemplares durante el año 1994. Se trata de una población pequeña con fuertes fluctuaciones en su abundancia mensual y cuyo promedio anual antes del año 2004, no superó los 10 ejemplares en el eje central del HRC. Los registros de CONAF indican que su frecuencia de observación entre 1991 y 2004 fue mayor en los sectores 1 y 4 (*cf.*, Fig. 4.2.7.1.11 y 4.2.7.1.1). Después del año 2004, la Taguita prácticamente ha desaparecido del HRC.

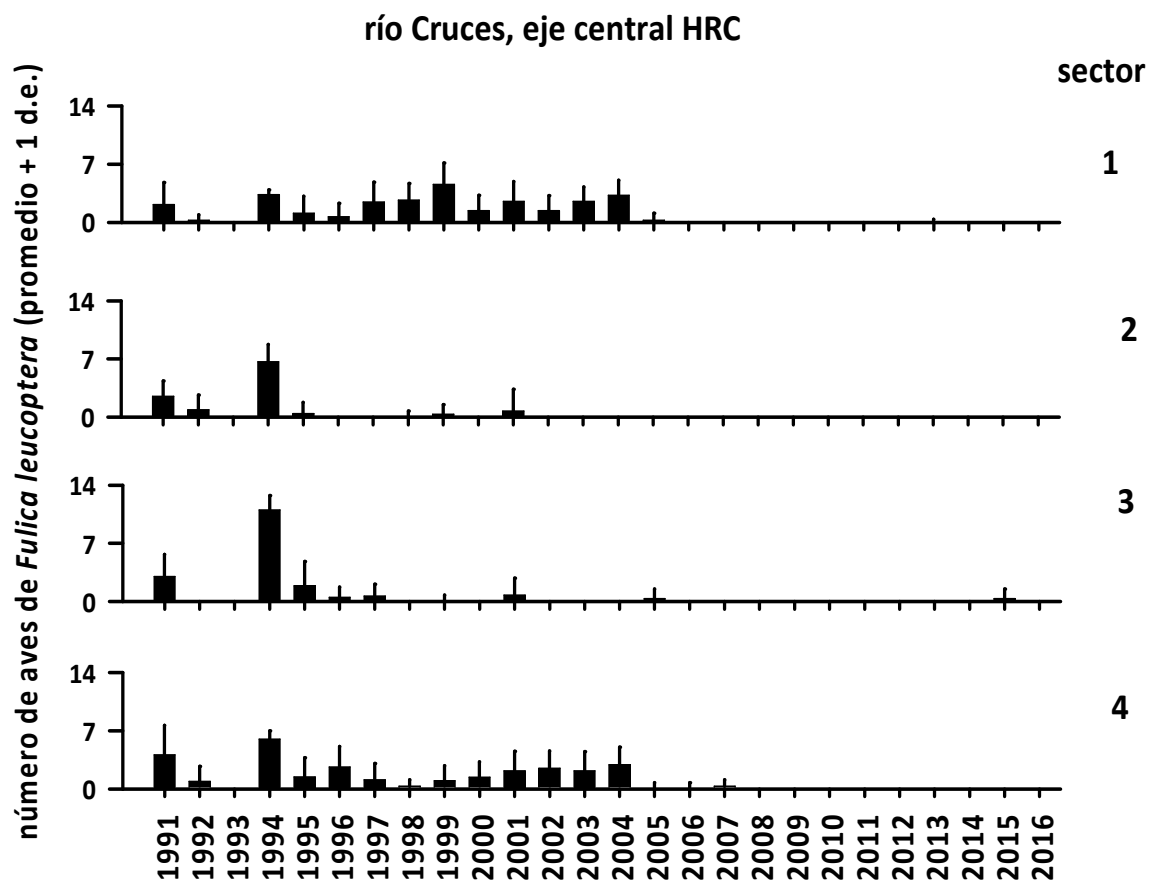


Figura 4.2.7.1.11. Variabilidad temporal de la abundancia de *Fulica leucoptera* (Taguita) en los cuatro sectores del eje central del HRC entre los años 1991 y 2016. Se excluyen de este análisis a los sectores 5 a 8, debido que para estos solo existen datos de abundancia de cisnes. Fuente de datos: CONAF.

Abundancia de aves acuáticas carnívoras acorde sectores del HRC (fuente de datos: CONAF)

Las Figuras 4.2.7.1.12 a 4.2.7.1.14 muestran la variabilidad numérica de garzas en los sitios del eje central del HRC (Figura 4.2.7.1.1). Se excluyen de este análisis a los sectores 5 a 8, debido que para estos solo existen datos de abundancia de cisnes.

En general, las tres especies de garzas analizadas presentan importantes abundancias en los cuatro sectores que conforman el eje central del HRC; los datos también indican que estas aves no sufrieron el impacto de los cambios ambientales del año 2004.

En los últimos cinco - seis años, la Garza cuca ha mostrado señales claras de aumentos de sus abundancias poblacionales en los cuatro sectores analizados (Fig. 4.2.7.1.12). En contraposición, la Garza blanca grande y la Garza blanca chica no muestran en general tendencias a ir aumentando en el tiempo; por el contrario, la tendencia en estas garzas es a la disminución (*cf.*, Fig. 4.2.7.1.13 y 4.2.7.1.14 vs. 4.2.7.1.8).

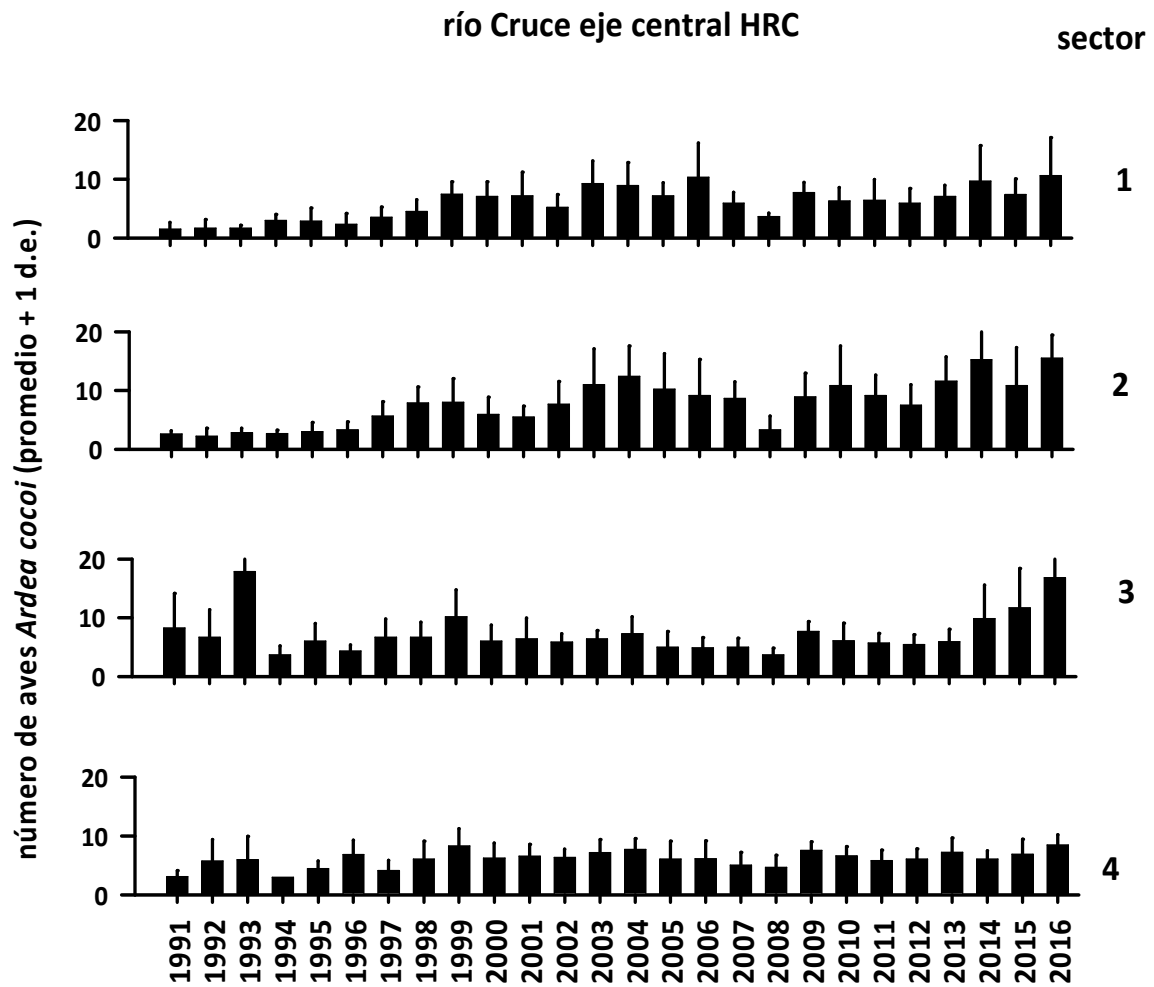


Figura 4.2.7.1.12. Variabilidad temporal de la abundancia de *Ardea cocoi* (Garza cuca) en los cuatro sectores del eje central del HRC entre los años 1991 y 2016. Se excluyen de este análisis a los sectores 5 a 8, debido que para estos solo existen datos de abundancia de cisnes. Fuente de datos: CONAF.

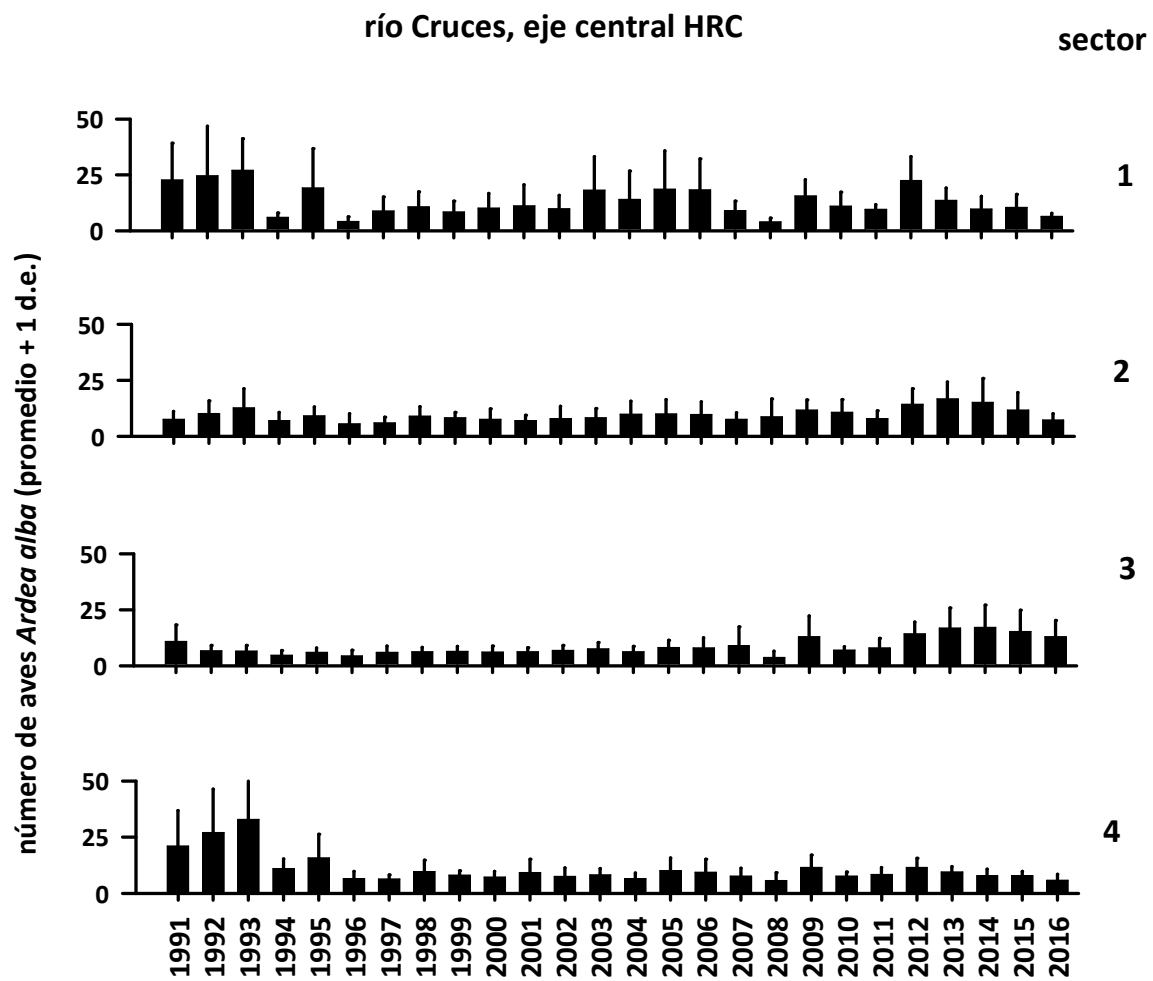


Figura 4.2.7.1.13. Variabilidad temporal de la abundancia de *Ardea alba* (Garza blanca grande) en los cuatro sectores del eje central del HRC entre los años 1991 y 2016. Se excluyen de este análisis a los sectores 5 a 8, debido que para estos solo existen datos de abundancia de cisnes. Fuente de datos: CONAF.

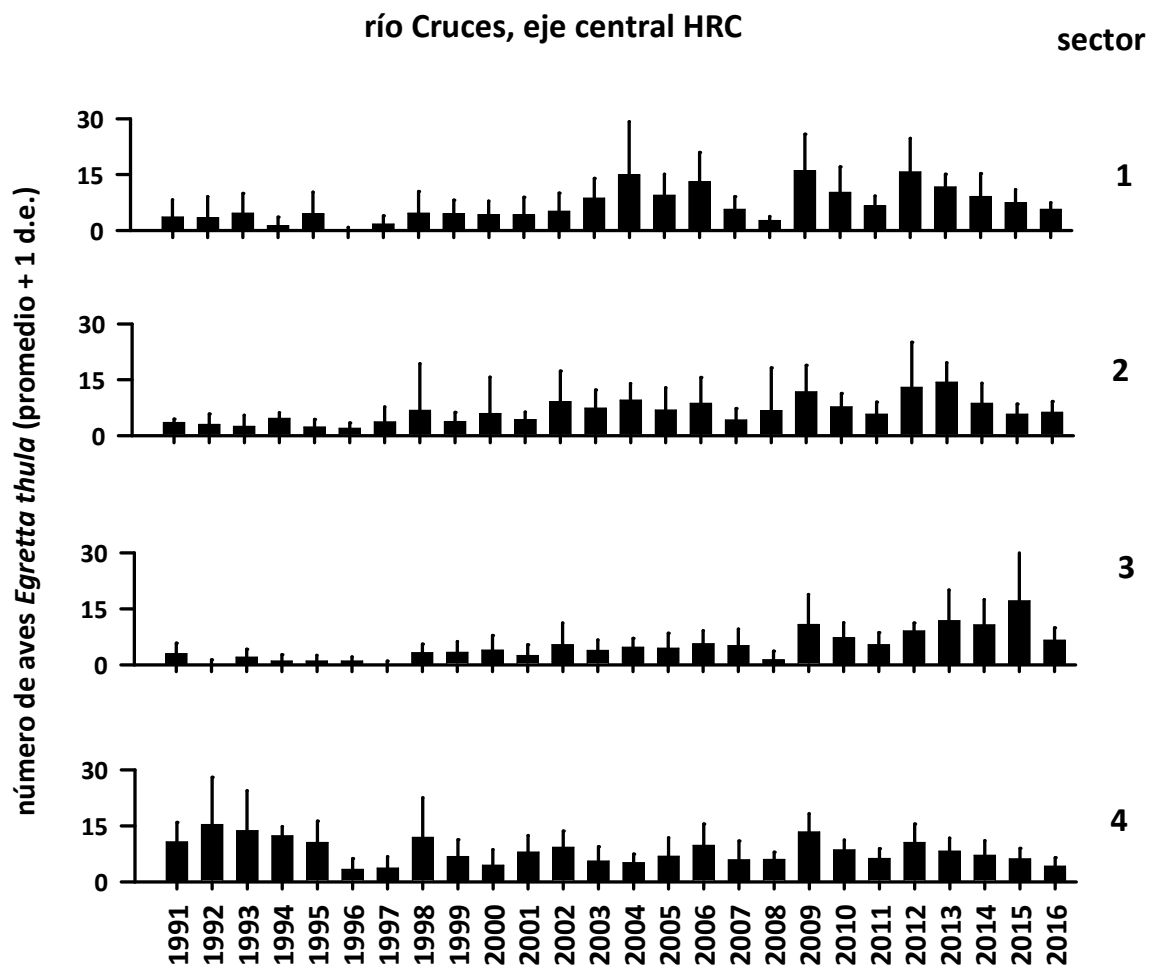


Figura 4.2.7.1.14. Variabilidad temporal de la abundancia de *Egretta thula* (Garza blanca chica) en cada uno de los ocho sectores estudiados entre los años 1991 y 2016. Se excluyen de este análisis a los sectores 5 a 8, debido que para estos solo existen datos de abundancia de cisnes. Fuente de datos: CONAF.

Distribución espacial y abundancia de avifauna acuática (fuente de datos: UACH)

Las Figuras 4.2.7.1.15 a 4.2.7.1.22 muestran los resultados de los muestreos realizados para caracterizar los patrones de distribución y abundancia espacial de las aves acuáticas herbívoras (Cisne de cuello negro y Tagua) y carnívoras (Garza cuca, Garza blanca grande y Garza blanca chica), en las riberas del área de estudio y en base a muestreos estacionales realizados entre enero del año 2015 y enero del año 2017.

Cisne de cuello negro y Tagua

Se analiza a continuación la distribución espacial en el área de estudio del Cisne de Cuello negro y la Tagua de modo conjunto, debido a la similitud en sus dietas (ambas aves consumen primariamente Luchecillo), lo que podría eventualmente resultar en una separación espacial de cisnes y taguas, para evitar interacciones inter específicas.

Las Figuras 4.2.7.1.15 a 4.2.7.1.18, muestran que la distribución espacio - temporal de los cisnes de cuello negro es más amplia que la de las taguas, situación que se hace más notoria durante el año 2016, cuando la distribución de la tagua se restringe.

Si bien los cisnes muestran una clara preferencia por el eje central del HRC - con puntos máximos de abundancia entre aproximadamente la desembocadura del río Santa María en el río Cruces por el norte y las cercanías del río San Ramón por el sur, durante primavera y verano hacen su entrada a los ríos tributarios (*e.g.*, septiembre y noviembre 2015 (Fig. 4.2.7.1.15 y 4.2.7.1.16, respectivamente) y enero 2016 (Fig. 4.2.7.1.16). Por el contrario, las taguas permanecen en general en el eje central del HRC y en una zona más restringida a la de los cisnes y en general sin entrar a los ríos tributarios, salvo durante algunos meses, como por ejemplo durante noviembre 2016 y enero 2017 (Fig. 4.2.7.1.18).

Los cisnes muestran puntos máximos de abundancia en diferentes sectores de sus áreas de distribución en el HRC, a la vez que las taguas ocurren en general con máximos de abundancia en un solo sector y diferente al de los cisnes (*e.g.*, septiembre 2015 (Fig. 4.2.7.1.15), noviembre 2015 (Fig. 4.2.7.1.16) y julio 2016 (Fig. 4.2.1.17).

Los resultados anteriores sugieren que si existe una separación del espacio entre cisnes y taguas, situación que podría estar relacionada a eventuales interacciones inter específicas entre estas aves acuáticas herbívoras.

Cisne cuello negro

Tagua

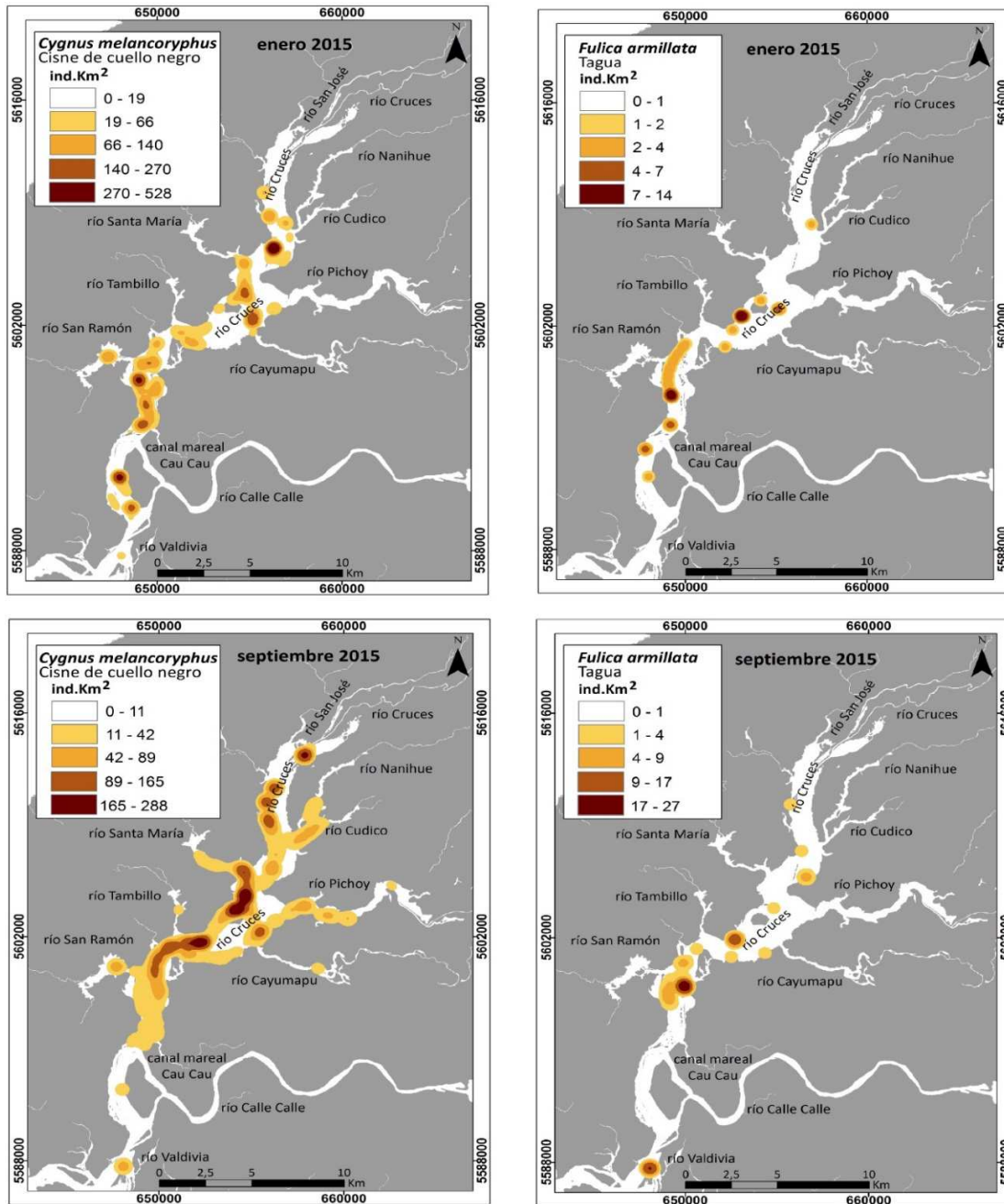


Figura 4.2.7.1.15. Presencia y abundancias relativas del Cisne de cuello negro y la Tagua durante enero y septiembre del año 2015, en las riberas del área de estudio.

Cisne cuello negro

Tagua

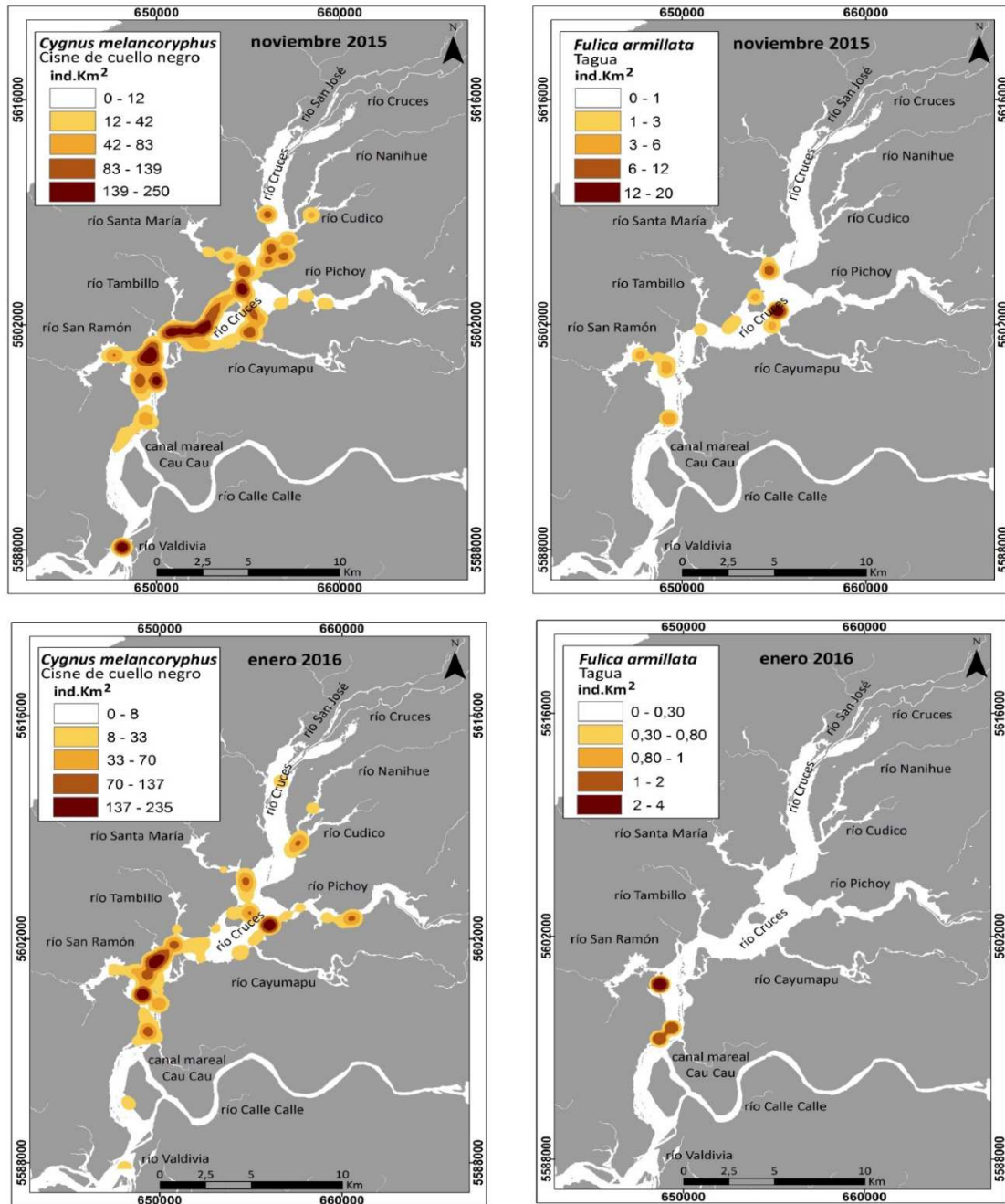


Figura 4.2.7.1.16. Presencia y abundancias relativas del Cisne de cuello negro y la Tagua durante noviembre del año 2015 y enero del año 2016, en las riberas del área de estudio.

Cisne cuello negro

Tagua

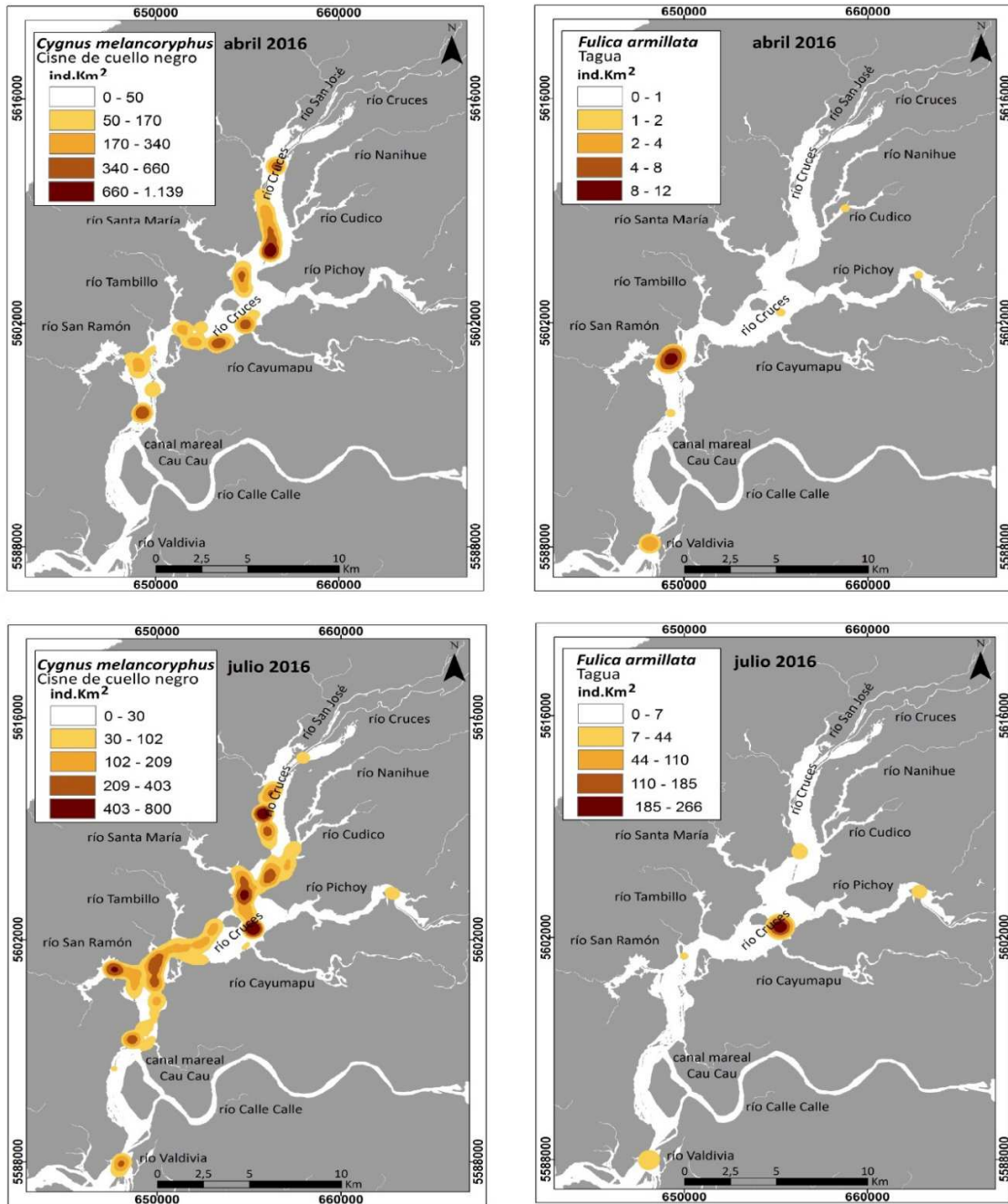


Figura 4.2.7.1.17. Presencia y abundancias relativas del Cisne de cuello negro y la Tagua durante abril y julio 2016, en las riberas del área de estudio.

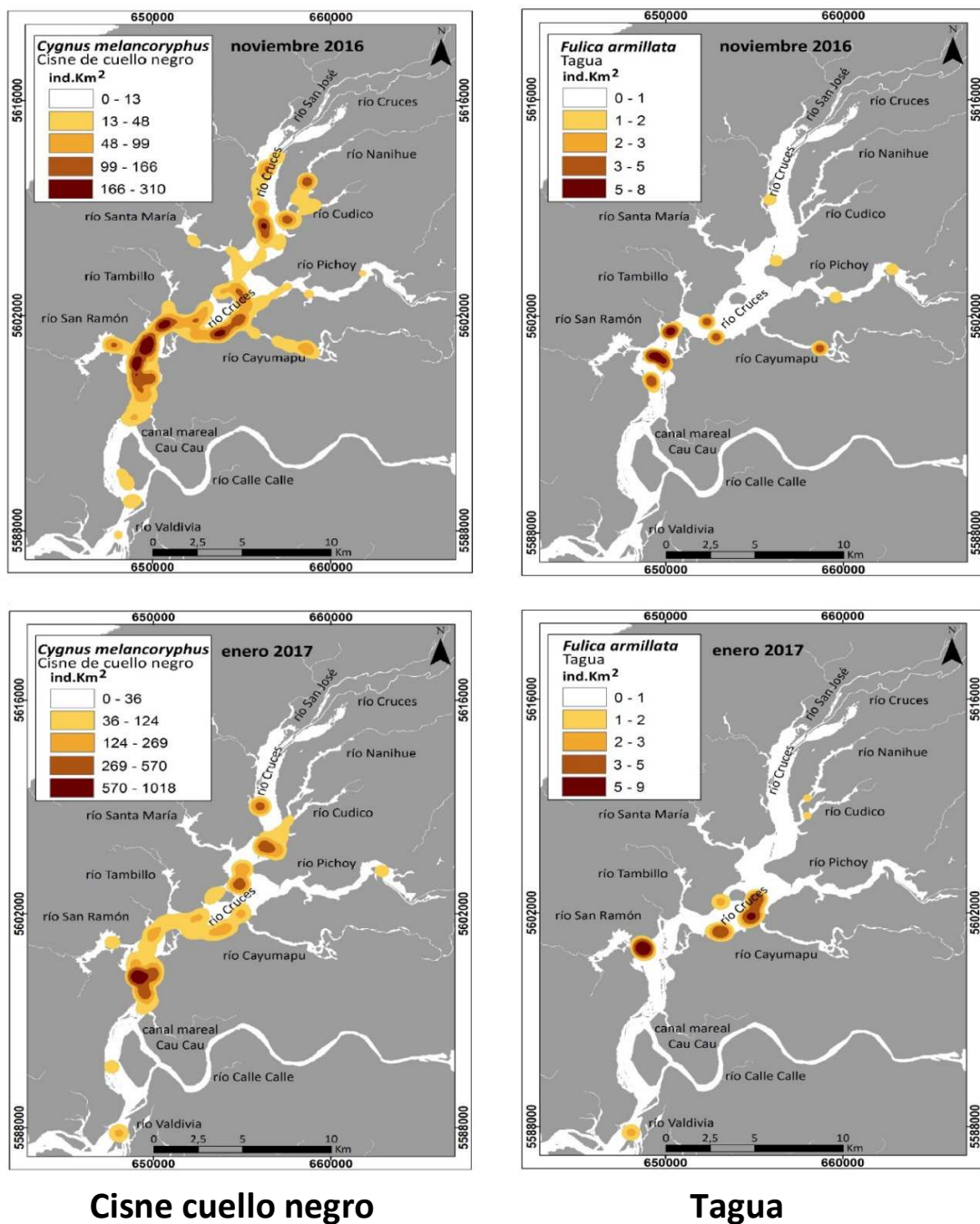


Figura 4.2.7.1.18. Presencia y abundancias relativas del Cisne de cuello negro y la Tagua durante noviembre del año 2016 y enero del año 2017, en las riberas del área de estudio.

Garza cuca, Garza blanca grande y Garza blanca chica

A continuación se analiza la distribución espacial en el área de estudio de la Garza cuca, la Garza blanca grande y la Garza blanca chica de modo conjunto, debido a la similitud trófica de sus dietas (aves carnívoras que consumen peces y camarones, entre otros organismos), lo que podría eventualmente resultar en una separación espacial de las mismas para evitar interacciones inter específicas.

La Garza cuca presentó, entre enero del año 2015 y enero del año 2017, mayores abundancias poblacionales que la Garza blanca grande y la Garza blanca chica. Esta garza exhibió una amplia distribución espacial, cubriendo gran parte del eje central y ríos tributarios del HRC, donde destacaron el Pichoy y Cayumapu por las altas abundancias poblacionales de esta especie en los mismos (Fig. 4.2.7.1.19 - 4.2.7.1.22).

La Garza blanca grande presentó sus mayores concentraciones al norte de la confluencia del río San Ramón con el Cruces y especialmente en los ríos tributarios, destacando las estimadas para los ríos Pichoy (septiembre 2015, Fig. 4.2.7.1.19; noviembre 2015 y enero 2016, Fig. 4.2.7.1.20 y enero 2017, Fig. 4.2.7.1.22), Cayumapu (julio 2016, Fig. 4.2.7.1.21) y Santa María (septiembre 2016, Fig. 4.2.7.1.22).

La Garza blanca chica mostró un patrón similar al de la Garza blanca grande; *i.e.*, en general, mayores abundancia en los ríos tributarios, especialmente en el río Pichoy (*e.g.*, noviembre 2015 y enero 2016, Fig. 4.2.7.1.20).

En términos generales, los datos recolectados en las riberas del área de estudio sugieren mayor separación espacial entre la Garza cuca y el conjunto de las garzas blanca grande y blanca chica, que entre estas dos últimas.

Garza cuca

Garza blanca grande

Garza blanca chica

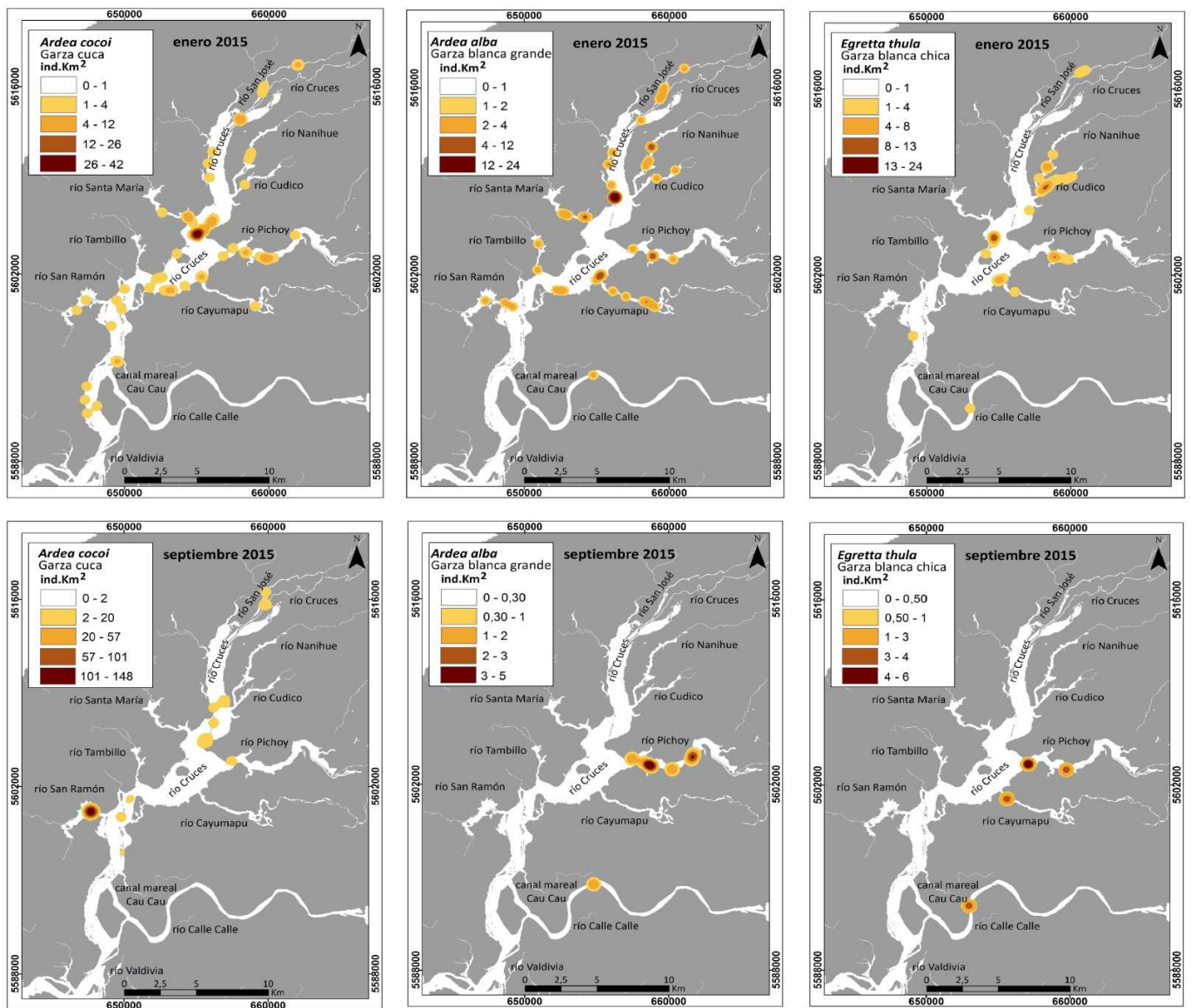


Figura 4.2.7.19. Presencia y abundancias relativas de la Garza cuca, Garza blanca grande y Garza blanca chica durante enero y septiembre del año 2015, en las riberas del área de estudio.

Garza cuca

Garza blanca grande

Garza blanca chica

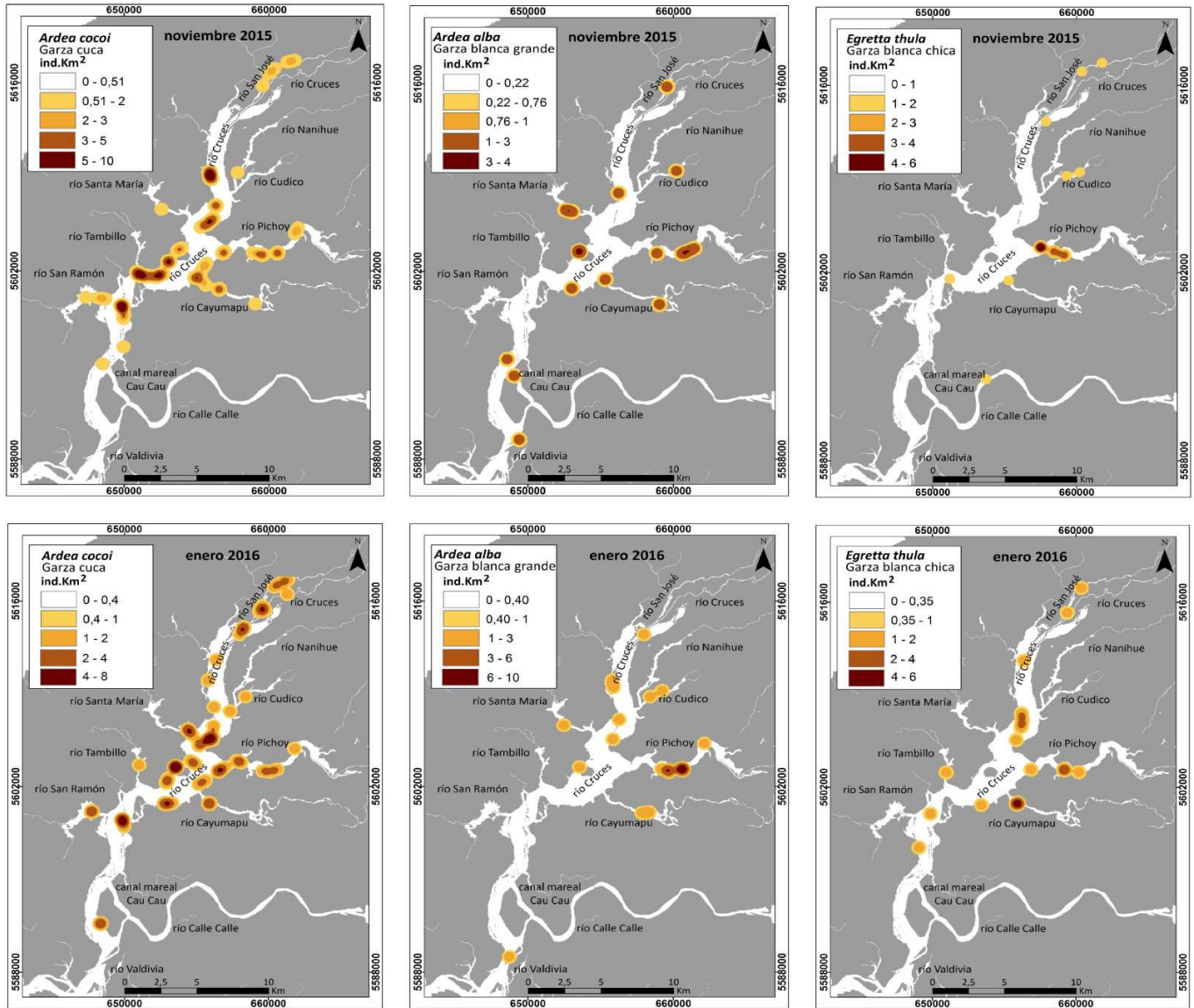


Figura 4.2.7.1.20. Presencia y abundancias relativas de la Garza cuca, Garza blanca grande y Garza blanca chica durante noviembre del año 2015 y enero del año 2016, en las riberas del área de estudio.

Garza cuca

Garza blanca grande

Garza blanca chica

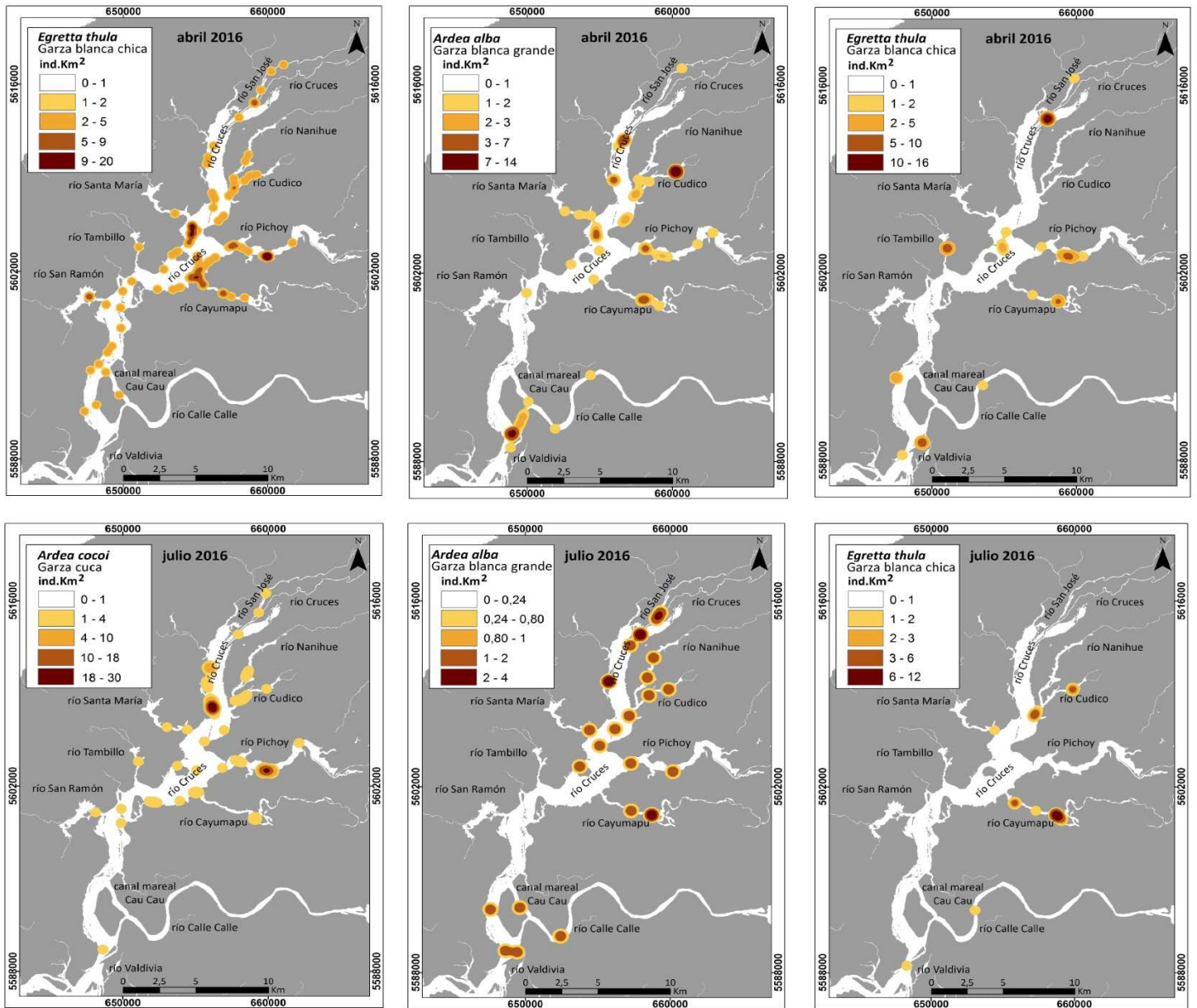


Figura 4.2.7.1.21. Presencia y abundancias relativas de la Garza cuca, Garza blanca grande y Garza blanca chica durante abril y julio del año 2016, en las riberas del área de estudio.

Garza cuca

Garza blanca grande

Garza blanca chica

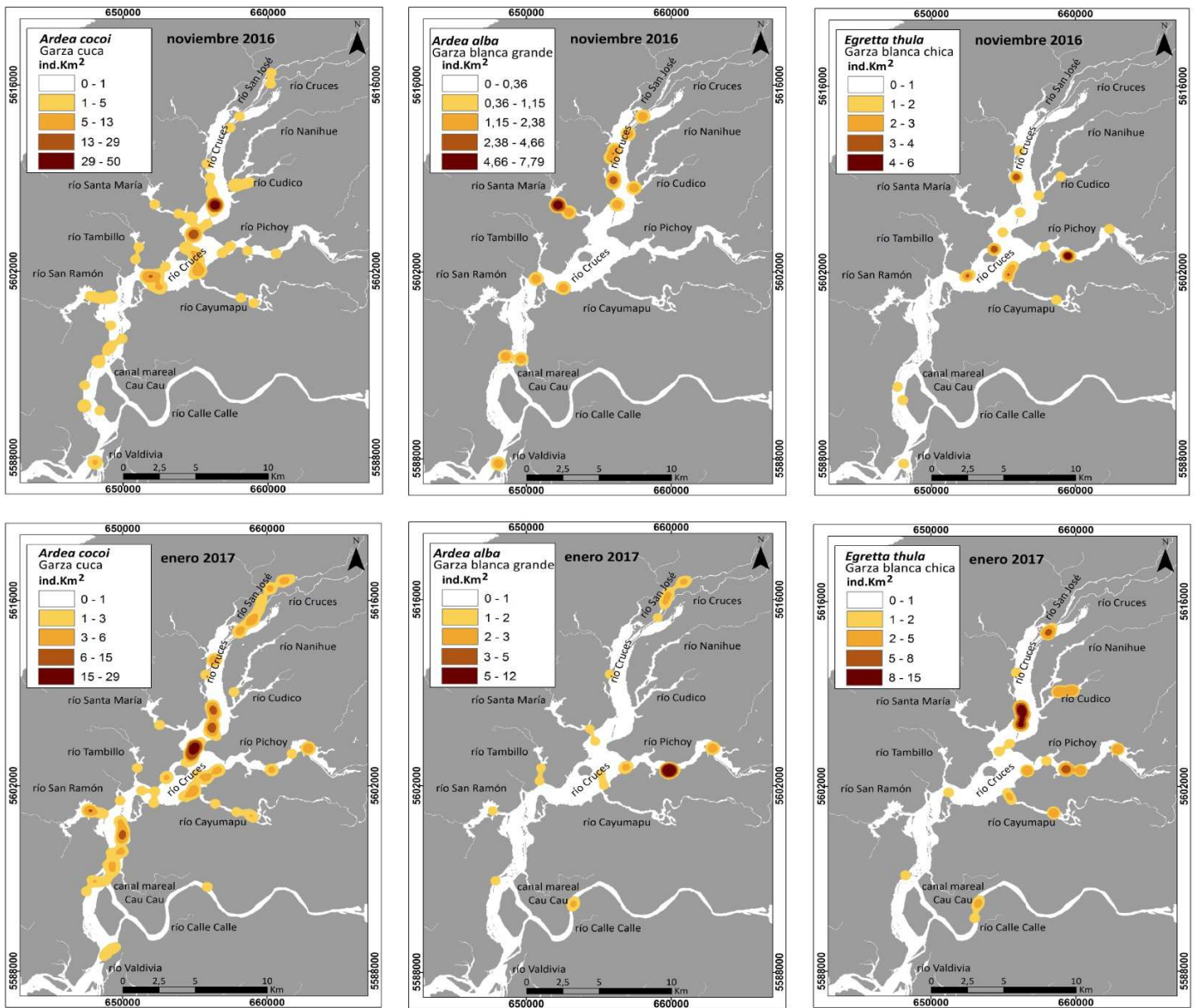


Figura 4.2.7.1.22. Presencia y abundancias relativas de la Garza cuca, Garza blanca grande y Garza blanca chica durante noviembre del año 2016 y enero del año 2017, en las riberas del área de estudio.

4.2.7.1.5. Conclusiones

- La riqueza de especies en el eje central del HRC presenta una menor variabilidad temporal que la abundancia total de la avifauna; no hay indicios de pérdida de especies en el largo plazo o entre años particulares.
- Las bajas significativas que ocurrieron el año 2005 en las abundancias poblacionales del Cisne de cuello negro, se mantuvieron relativamente constantes hasta el año 2012, cuando se comenzó a observar una recuperación de esta especie y también de la Tagua, ambas aves acuáticas herbívoras.
- No obstante lo anterior, las tendencias al alza de estas aves han sido contrastantes durante el período 2012 - 2016. Para el caso del Cisne de cuello negro, los datos muestran un aumento sostenido en el tiempo, mientras que para la Tagua estos muestran mayores abundancias durante los años 2013 y 2014 y luego disminuciones significativas en las abundancias.
- Luego de los cambios ambientales del año 2014, la Taguita no muestra señal alguna de recuperación poblacional.
- En términos generales, los datos recolectados en las riberas del área de estudio muestran que los cisnes ocurren con altos valores de abundancia en diferentes sectores de sus áreas de distribución, a la vez que las taguas ocurren en general con máximos de abundancia en un solo sector y diferente al de los cisnes, lo que sugiere eventuales interacciones inter específicas entre estas aves acuáticas herbívoras.
- Los resultados del segundo año del Programa de Monitoreo Ambiental del HRC - en cuanto a variabilidad interanual de aves acuáticas carnívoras se refiere - fueron similares a los del primer año de ese programa y a los del Programa de Diagnóstico Ambiental: *i.e.*, las garzas no fueron afectadas por los cambios ambientales del año 2004 en el humedal
- La Garza cuca muestra una clara tendencia a aumentar su abundancia en el tiempo, principalmente entre los años 2012 y 2016; por el contrario, y durante el

mismo período, las abundancias de la Garza blanca grande y la Garza blanca chica han mostrado una tendencia a la disminución poblacional.

- Los datos recolectados en las riberas del área de estudio, sugieren mayor separación espacial entre la Garza cuca y el conjunto de las garzas blanca grande y blanca chica, que entre estas dos últimas.

4.2.7.2 Composición de la comunidad, condición corporal y eficacia biológica de la avifauna de las riberas

4.2.7.2.1 Antecedentes

El humedal del río Cruces y sus ríos tributarios (HRC), es uno de los humedales australes más importantes para la conservación de la naturaleza debido principalmente a sus poblaciones de aves acuáticas (*e.g.*, Schlatter *et al.*, 2002). Por ello, parte del HRC está catalogado como Sitio Ramsar y también como Santuario de la Naturaleza en el marco de la legislación chilena, albergando una gran variedad de hábitats. La extensión del eje central del humedal a lo largo de aproximadamente 25 kilómetros lineales, genera diferencias ecológicas notables produciendo una alta diversidad de nicho ecológico, lo que se asocia *a priori* con una elevada biodiversidad (medida en términos de heterogeneidad ecológica). En este contexto, las poblaciones de aves son un componente esencial de los humedales, debido a que se sitúan en el ápice de las cadenas tróficas siendo los principales consumidores, tanto herbívoros como carnívoros (*e.g.*, Navedo *et al.*, 2015).

A escala de paisaje se pueden reconocer cuatro grandes ambientes para las aves en el HRC: aguas libres, áreas pantanosas, zonas de vegetación palustre y bosque fluvial asociado. El humedal representa de hecho un área esencial para la conservación del mediático Cisne de cuello negro (*Cygnus melancoryphus*) (*e.g.*, Lagos *et al.*, 2008). Sin embargo, la presencia y abundancia poblacional de otras especies de aves principalmente asociadas a las riberas, menos icónicas, de hábitos más crípticos y/o con poblaciones más escasas asociadas al humedal son, en la mayoría de los casos, desconocidas hasta la fecha (*e.g.*, Victoriano *et al.*, 2006). Este déficit de conocimiento básico representa un

impedimento esencial para poder evaluar los efectos de cualquier cambio estructural, ambiental y/o de usos del suelo sobre las comunidades de aves que habitan en las riberas del humedal.

En este Capítulo, se describen los resultados del seguimiento sistemático de la avifauna asociada a las riberas del humedal y que comenzara durante el primer año del Programa de Monitoreo Ambiental del HRC (abril 2015 – marzo 2016) y enfocado en el estudio de (i) parámetros reproductivos de una especie modelo (Garza cuca *Ardea cocoi*), (ii) densidad y cambios poblacionales de otra especie modelo (Becasina *Gallinago paraguaiæ*), y (iii) estructura de la comunidad, condición corporal individual de las aves y supervivencia aparente en las siguientes especies modelo: Siete colores *Tachuris rubigastra*, Cachudito *Anairetes parulus*, Trabajador *Phleocryptes melanops*, Fío-fío *Elaenia albiceps*, Chirihue *Sicalis luteola*, Trile *Agelasticus thilius* y Run-run *Hymenops perspicillata*). Todos los parámetros medidos en (i), (ii) y (iii) serán utilizados como indicadores de calidad del hábitat del HRC.

Como mencionado anteriormente, el presente Capítulo hace referencia a los resultados obtenidos sobre la avifauna asociada a las riberas del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios, en el contexto del Segundo Año del Programa de Monitoreo Ambiental, pero considerando muestreos realizados desde de 2015 hasta Noviembre de 2016.

4.2.7.2.2 Objetivos

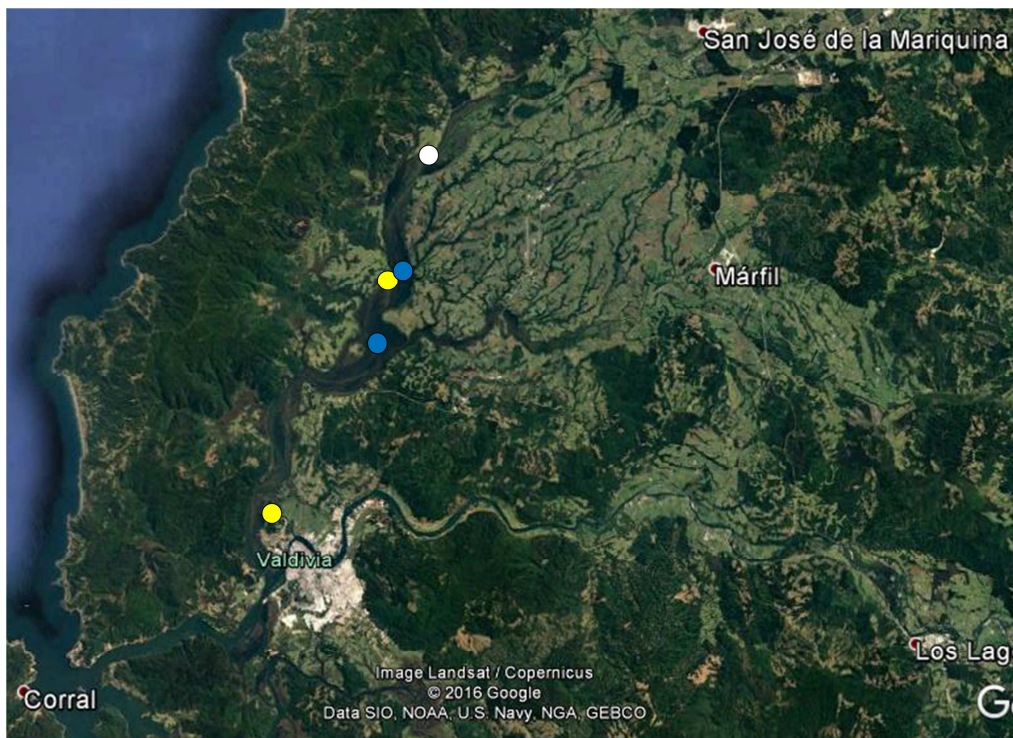
- Obtener información básica de referencia sobre las comunidades de aves asociadas a las riberas del HRC, para poder evaluar eventuales futuros cambios estructurales y/o funcionales en el humedal.
- Desarrollar e implementar un sistema de indicadores bio - ecológicos y rangos de variación de los mismos, para la valoración de potenciales cambios estructurales

y/o funcionales en el HRC en relación con diferentes grupos de aves de los ambientes predefinidos.

4.2.7.2.3 Material y métodos

Se han aplicado tres aproximaciones metodológicas para obtener información básica de referencia de los diferentes grupos taxonómicos que componen la comunidad de aves acuáticas *sensu lato*, aves zancudas, playeras y palustres asociadas a las riberas del humedal. Algunos de los índices propuestos se basan en parámetros que necesitan ser medidos de forma sistemática a lo largo plazo, idealmente en un período de, al menos, cuatro-cinco años. Las áreas donde se está llevando a cabo el monitoreo de cada uno de los distintos tipos de hábitats que se desglosan a continuación han sido seleccionadas en base a su tipología y localización espacial (Fig. 4.2.7.2.1).

Las especies objetivo se han seleccionado teniendo en cuenta la información disponible en otras zonas sobre algún taxón específico, así como las propias capturas realizadas hasta el momento. En este sentido, las especies que aparecen con mayor frecuencia y abundancia en las capturas, son utilizadas como especies modelo para garantizar una potencia suficiente de los análisis estadísticos que se realicen *a posteriori*.



A continuación se describen en detalle las características y diseños de muestreo para obtener la información asociada al monitoreo de las especies modelo seleccionadas en cada uno de los tres hábitats considerados.

- **Bosque inundado (Hualve)**

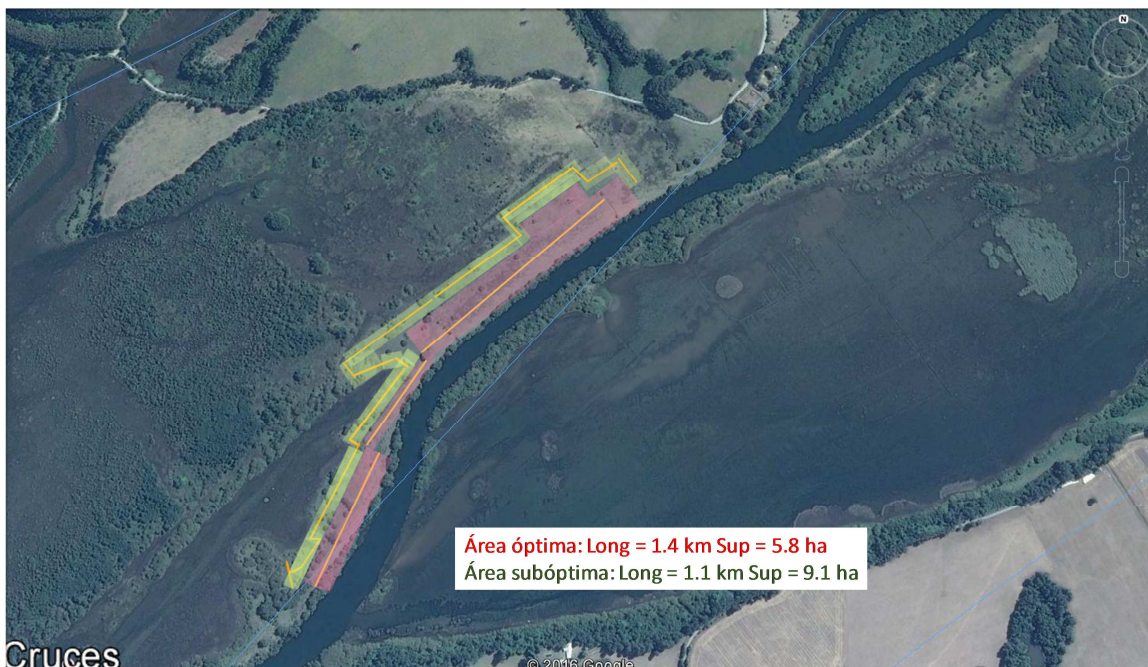
Se ha llevado a cabo el monitoreo reproductivo de la garza cuca *Ardea cocoi*, como modelo para evaluar la calidad del humedal para las especies de aves ictiófagas con nidificación colonial (Garza grande *Ardea alba* y Garza chica *Egretta thula*).

Tras realizar pruebas preliminares en octubre y noviembre del año 2015 con una cámara Go-pro para tratar de registrar el contenido de los nidos en las garceras seleccionadas, se descartó el uso de esta metodología por su elevada relación entre esfuerzo empleado (horas·persona⁻¹) y resultado (n° de nidos muestreados·hora⁻¹) para medir el éxito reproductor, al menos en estas colonias de bosques inundados. Alternativamente, y tras realizar las primeras pruebas en diciembre del año 2015, se ha diseñado y desarrollado un monitoreo mensual durante el período reproductivo de la especie modelo sobrevolando los nidos con un Dron tipo Hexacopter. El protocolo metodológico empleado ha resultado muy eficaz para evaluar el contenido de los nidos sin incidir en el comportamiento normal de los adultos.

La colonia localizada más al sur del área de estudio se encuentra ubicada en árboles de escasa altura y con los nidos situados a un nivel relativamente bajo, en comparación con la colonia localizada más al norte, cuyos árboles son de elevado porte lo que permite a las garzas ubicar sus nidos a una altura considerable sobre el espejo de agua (*circa* 10 m). Hasta la fecha se han realizado tres prospecciones en cada una de las dos colonias reproductivas seleccionadas (Fig. 4.2.7.2.1), identificándose *a posteriori* nidos activos mediante el análisis de los videos registrados. Se consideró un nido activo aquel donde se observa un individuo incubando. Para cada nido identificado se registró su contenido de forma cuantitativa, utilizándose la siguiente clasificación: n° huevos, n° pollos pequeños (hasta 4 semanas) y n° pollos grandes (más de 4 semanas) (*sensu* Marion, 1979), que se pueden considerar ya pollos volanderos. De esta forma, se calculó *a posteriori* el éxito reproductivo (n° pollos volanderos por pareja con éxito) y la productividad general (n° pollos volanderos por pareja que inició la reproducción) de cada colonia.

- **Praderas inundables**

Se realizaron recorridos mensuales a pie por el área de muestreo para monitorear las densidades de la becascina común *Gallinago paraguiae*, seleccionada como especie modelo para evaluar la calidad del HRC para las aves que habitan las praderas inundables de las riberas del humedal. Se ha seleccionado una sola zona debido a la escasa disponibilidad relativa de este hábitat en el HRC. Se diseñó un sistema de transectos lineales con una longitud total de 2,490 metros, para cubrir la superficie del hábitat potencial, estimado en aproximadamente 15 hectáreas y dividido en dos sectores con diferentes características en términos de humedad general del sustrato (Fig. 4.2.7.2.2). El método utilizado es el denominado **Itinerario de Intercepción** (ver Tellería, 1986): *i.e.*, a lo largo de un transecto lineal de una longitud predeterminada (L) se estima la distancia (r) a la que un individuo objeto de muestreo (en este caso, becascinas) abandona su posición estática, debido al paso del observador. Para cada individuo detectado (i), esta distancia de huida o distancia de detección (r_i) permite estimar la densidad (D) (ver Tellería, 1986), según: $D = (1 / 2L) * \sum (1 / r_i)$



- **Vegetación palustre (pajonales)**

Los muestreos mensuales sistematizados y con esfuerzo constante (uso de redes de niebla, con un total de 108 m, extendidas desde el amanecer durante 5 horas consecutivas) comenzaron durante noviembre del año 2015 (en este Capítulo se muestran resultados hasta octubre del año 2016; ver más adelante), en las dos áreas seleccionadas como zonas testigo: Teja Norte (TN) y Santa María (SM) (Fig. 4.2.7.2.1). Ambas zonas están constituidas por pajonales y/o hábitats de etapa emergida formada principalmente por pantano de cortadera (*Loto-Cyperetum eragrostidae*) (San Martín *et al.*, 1993). No obstante, la diversidad a escala de microhábitat es mayor en el área de captura de SM, siendo un hábitat de pajonal con gran potencia y, por tanto, mucho más homogéneo en TN.

La mayoría de los individuos capturados han sido marcados mediante anillos metálicos (Resoluciones Exentas SAG 8632/2015, SAG 7219/2016); se exceptúa al Picaflor chico para el que no hay anillos *ad hoc* disponibles. Se obtuvo una muestra de sangre de los ejemplares de las especies modelo cuyo tamaño lo permite. La muestra se obtuvo desde la vena braquial; luego de obtenida, la muestra fue centrifugada durante 10 minutos a 10,000 rpm para separar el plasma de las células. Éste plasma se mantuvo refrigerado hasta ser analizado en el Laboratorio de Patología Clínica Veterinaria de la Facultad de Ciencias Veterinarias de la Universidad Austral de Chile.

Para todos los individuos capturados se han registrado sus medidas biométricas y, en la medida de lo posible y en base a la coloración del plumaje y estado de la muda, su clase de edad (juvenil o adulto). Para las especies con dimorfismo sexual aparente, se registró además el sexo de los individuos. Adicionalmente, se ha extraído una muestra de sangre (alícuota: máximo 0.3 ml) de aquellas especies modelo que por su tamaño lo

permiten, esencialmente Fío-fío, Trile, Chirihue y Run-run. Con esta información se estimaron las variables que a continuación se indican y se han comenzado a realizar comparaciones entre sectores en las diferentes estaciones del año: abundancia específica relativa (n° capturas·jornada⁻¹), condición corporal (concentración de metabolitos plasmáticos: β -OH Butirato, Triglicéridos y Fructosamina) (e.g., Lyons *et al.*, 2008) y estimación de la supervivencia adulta aparente (\emptyset = método de captura-marcaje-recaptura; Thomson *et al.*, 2009).

4.2.7.2.4 Resultados

• Bosque inundado

Durante la temporada de cría del año 2016, se monitorearon con una alta precisión 57 nidos de Garza cuca, distribuidos en dos colonias (A y B) ubicadas en el entorno de Santa María (Fig. 4.2.7.2.1). La puesta modal de la especie fue de 3 huevos, con un máximo de 5, siendo la puesta media muy similar en ambas colonias e idéntica a la reportada en un estudio de esta especie en Argentina (Pretelli *et al.*, 2012) (Tabla 4.2.7.2.1).

En la colonia B (la más grande) se ha monitoreado el éxito reproductivo de 46 nidos, cuyas parejas produjeron un total de 49 volanderos. Casi el 80% de los nidos controlados tuvieron éxito (*i.e.*, al menos un pollo volandero). Por su parte, de los 11 nidos monitoreados en la colonia A (la más pequeña) únicamente 3 nidos tuvieron éxito (73% fracaso reproductor), produciendo un total de 7 pollos volantones (detalles en Tabla 4.2.7.2.1).

Tabla 4.2.7.2.1. Parámetros reproductivos (promedio \pm SE) medidos en la temporada de cría del año 2016 en dos colonias de garza cuca *Ardea cocoi* en el HRCs.

n°nidos controlados	puesta modal	tamaño puesta	n°nidos exitosos	éxito reproductor	productividad
---------------------	--------------	---------------	------------------	-------------------	---------------

Colonia A	11	3	3.4 ± 1.0	3	2.3 ± 0.3	0.6
Colonia B	46	3	3.3 ± 0.5	36	2.6 ± 0.1	1.1

Las parejas de la colonia B tuvieron un éxito reproductivo mayor y, al menos en esta temporada de cría, fueron capaces de producir 1.1 pollos volanderos por cada pareja que inició la reproducción. La productividad de esta colonia fue menor que la encontrada en una colonia estudiada en Chile central (1.7) (González-Acuña *et al.*, 2008), aunque mucho mayor que la reportada para una colonia en Argentina (0.58) (Pretelli *et al.*, 2012). Por otra parte, la productividad de la colonia A fue similar a la de esta última, cuyas causas principales de fracaso estuvieron relacionadas en ese caso con la escasez de alimento (Pretelli *et al.*, 2012). No obstante, en el caso del HRC, otras causas como la competencia inter específica por parte de Yecos *Phalacrocorax brasilianus* y la potencial depredación oportunista por parte de Jotes *Coragyps atratus* (*e.g.*, González-Acuña *et al.*, 2008) o Tiuques *Milvago chimango* (observaciones personales de J. Ruiz), podrían estar afectando de forma diferencial el éxito de las garzas en las dos colonias monitoreadas.

• Praderas inundables

Durante el período noviembre 2015-octubre 2016, se realizaron muestreos mensuales (n=11) en el área seleccionada. No se pudo realizar el muestreo de julio 2016 por impedimentos logísticos. Se produjeron un total de 53 intercepciones de Becasina común *Gallinago paraguiae* (*a priori G.p. magellanica*; Vidal *et al.*, 2016), detectándose 73 ejemplares. La gran mayoría de las intercepciones fueron individuales (87%), localizándose una única vez un bando mayor de 3 becasinas (14 ejemplares el 18 de mayo 2016). La densidad promedio estimada durante el primer ciclo anual completo fue de 1.4 ± 0.4 (rango: 0.3 – 4.8) becasinas·ha⁻¹ (Fig. 4.2.7.2.3). Casi todas las intercepciones se produjeron en el sector predefinido con una mayor humedad general del sustrato, siendo 1.3 ± 0.3 becasinas·ha⁻¹ la densidad en esta zona de hábitat más óptimo. Estas densidades son más de un orden de magnitud superior al promedio registrado durante el período

invernal para otra especie de becasina *G. delicata*, en la zona baja del río Mississippi (USA) ($8.0 \text{ ind}\cdot\text{km}^{-2}$ (4.6–14.2) en el año 2009 y $2.1 \text{ ind}\cdot\text{km}^{-2}$ (1.5–3.1) en el año 2010; Carroll & Kremetz, 2014).

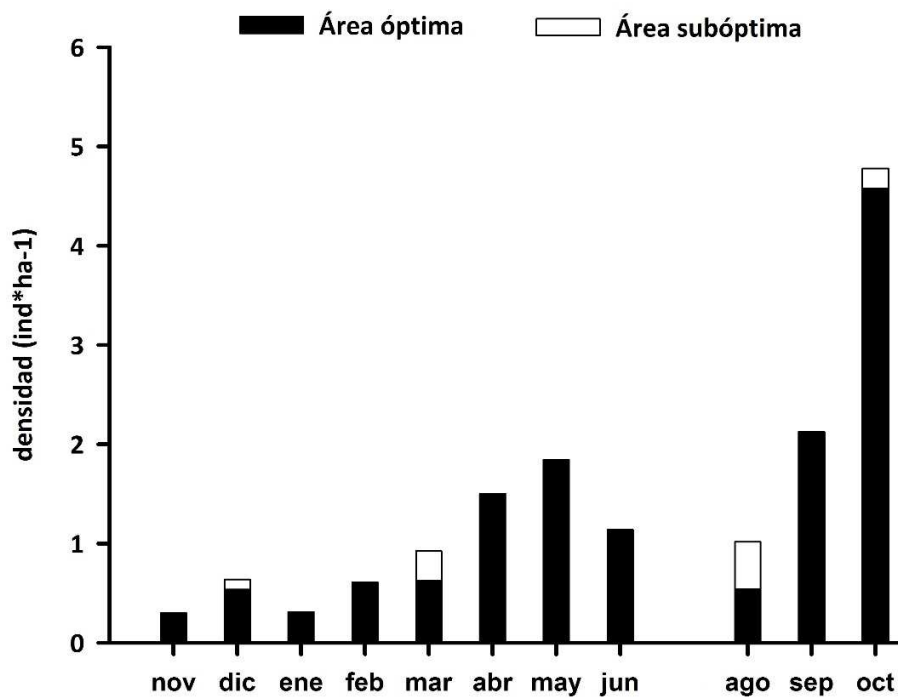


Figura 4.2.7.2.3 Densidad mensual estimada de becasinas en el área óptima y subóptima predefinidas en la zona monitoreada durante los muestreos realizados en el período noviembre 2015 – octubre 2016 (ver texto para detalles específicos).

Los datos hasta ahora obtenidos muestran marcadas oscilaciones mensuales, lo que podría indicar que la zona alberga individuos migrantes, que es un área de reproducción y/o que la zona puede albergar de forma temporal individuos de zonas

aledañas. En este sentido un estudio realizado con una especie similar de becasina *G. delicata* en USA, muestra que los individuos de esta especie realizan movimientos estacionales importantes variando su 'tamaño de hogar' entre 1 y 7.5 km² (Cline & Haig, 2011).

Las becasinas de la subespecie más austral *Gallinago paraguiae magellanica* se reproducen durante la primavera austral, como lo muestra la localización de la mayoría de los huevos entre agosto y noviembre (van Gils *et al.*, 2016). En el norte de Argentina y Uruguay se registran además llegadas de individuos procedentes de Tierra del Fuego durante el período Abril-Julio (van Gils *et al.*, 2016).

Aunque en el área monitoreada del HRC no se han encontrado nidos, sí que se han observado vuelos de cortejo lo que sugiere que alguna pareja se podría reproducir en el área que está siendo monitoreada. En este sentido y según la densidad estimada en la época de reproducción, la abundancia en la zona sería de 5-8 becasinas en este período, por lo que únicamente serían 1-3 parejas las que se habrían reproducido en el año 2016.

Por su parte, los incrementos en la densidad registrados a partir de abril 2016, podrían indicar que el área alberga algunos individuos migratorios procedentes de zonas más australes. La variabilidad mensual de la densidad sugiere que el área monitoreada varía en sus condiciones generales probablemente relacionadas con la pluviosidad acumulada (*e.g.*, Cline & Haig, 2011), y que en determinados períodos es capaz de albergar una población notable de becasinas. Según la estimación de densidad obtenida, la mayor abundancia en el sector monitoreado (*circa* 15 ha) podría ascender a cerca de 70 becasinas.

- **Vegetación palustre (pajonales)**

Durante el primer ciclo anual completo (noviembre 2015-noviembre 2016) se han capturado 446 aves paseriformes, correspondientes a 395 ejemplares de 16 especies (Tabla 4.2.7.2.2).

El promedio de capturas por unidad de esfuerzo fue similar en ambas zonas ($4.2 \pm 0.4 \text{ aves}\cdot\text{h}^{-1}$), aunque ligeramente superior en Teja Norte (TN) que en Santa María (SM). En ambas zonas la especie más abundante fue el Siete colores, aunque su contribución a la abundancia total fue mucho mayor en TN (66%) que en SM (27%).

Las siguientes cuatro especies fueron capturadas en ambas zonas con regularidad y abundancia mínima para poder realizar comparaciones entre ambos sectores muestreados: Siete colores (N=194), Cachudito (N=36), Fío-fío (N=31), y Trabajador (N=20). Las especies capturadas incluyen dos especies migratorias (*E. albiceps* y *H. perspicillata*) así como otras que disminuyen drásticamente en número durante el invierno y que se requiere seguir muestreando para poder dilucidar si realizan movimientos periódicos anuales (e.g., *S. luteola*).

Tabla 4.2.7.2.2 Capturas de aves realizadas en cada uno de los sectores seleccionados de vegetación palustre durante los muestreos realizados en el período noviembre 2015 – noviembre 2016 (ver texto para detalles específicos). * Especies no consideradas los cálculos de riqueza de especies y diversidad.

especie	Santa María	Teja Norte
Cachudito	15	21
Chercán	9	
Chercán de las Vegas	3	6
Chirihue	38	
Chuncho *		1
Churrín del Sur *	1	
Colilarga	6	4
Fío-fío	19	12
Jilguero	1	

Mirlo		2
Picaflor chico	21	1
Rayadito	1	4
Run-run	2	2
Sietecolores	45	149
Tijeral		1
Trabajador	3	17
Trile	3	7
Zorzal austral	1	
TOTAL	168	227

Una comparación de las biometrías de las cuatro especies más abundantes en ambas zonas indica que no existen *a priori* diferencias estructurales en el tamaño de los ejemplares estudiados (Tabla 4.2.7.2.3). Una vez se tenga información del sexado genético (en proceso a diciembre 2016) de los individuos capturados, se podrán rehacer los análisis incluyendo esta importante fuente de variabilidad para poder evaluar si los individuos de las especies que habitan en ambas zonas de estudio, son o no estructuralmente similares. Adicionalmente es importante considerar este aspecto para poder calcular y comparar los Índices de Condición Corporal de los individuos en las dos zonas de estudio, que servirá finalmente como medida indirecta de la calidad del hábitat para las poblaciones de aves estudiadas durante el monitoreo para las que no se pueden extraer una alícuota suficiente de sangre (*e.g.*, Peig & Green, 2010).

Tabla 4.2.7.2.3 Medidas biométricas estructurales (promedio \pm SE) y análisis comparativos (t-student) de los individuos de las especies más abundantes en las capturas en los dos sectores seleccionados durante el período noviembre 2015 – noviembre 2016 (ver texto para detalles específicos). p8 = octava primaria.

	Santa María	Teja Norte	t	g.l.	p
Fío-fío					
Ala (cm)	7.5 \pm 0.1	7.6 \pm 0.2	0.664	30	0.422
p8 (cm)	5.8 \pm 0.1	5.9 \pm 0.1	0.593	30	0.447
Tarso (mm)	22.2 \pm 0.2	22.4 \pm 0.2	0.639	30	0.430
Peso (g)	14.9 \pm 0.3	14.8 \pm 0.3	0.117	29	0.735
Cachudito					
Ala (cm)	4.7 \pm 0.1	4.7 \pm 0.1	-0.324	46	0.748
p8 (cm)	3.5 \pm 0.1	3.7 \pm 0.1	-2.060	45	0.045
Tarso (mm)	20.7 \pm 0.2	21.0 \pm 0.1	-1.103	46	0.276
Peso (g)	6.6 \pm 0.4	6.2 \pm 0.1	0.976	44	0.334
Siete Colores					
Ala (cm)	4.9 \pm 0.1	4.8 \pm 0.1	0.683	212	0.495
p8 (cm)	3.8 \pm 0.1	3.8 \pm 0.1	1.511	212	0.131
Tarso (mm)	22.4 \pm 0.1	22.4 \pm 0.1	0.206	214	0.837
Peso (g)	7.4 \pm 0.3	7.3 \pm 0.1	0.530	215	0.597
Trabajador					
Ala (cm)	5.6 \pm 0.2	5.8 \pm 0.1	-0.647	20	0.525
p8 (cm)	4.3 \pm 0.3	4.3 \pm 0.3	-0.160	20	0.875
Tarso (mm)	23.1 \pm 0.6	23.7 \pm 0.3	-1.017	20	0.321
Peso (g)	15.9 \pm 2.8	14.6 \pm 0.4	0.829	20	0.417

Composición y estacionalidad de la comunidad de aves en los pajonales

Los pajonales y etapas sucesionales de vegetación palustre presentes en las riberas del HRC, albergan al menos 18 especies de aves Paseriformes. Diez de ellas están presentes regularmente en ambos sectores, estructurando por ello la comunidad de aves.

En SM se registró la presencia de otras cuatro especies que no fueron capturadas en TN, mientras que dos especies fueron capturadas únicamente en este último sector. Atendiendo a los valores de diversidad estimados (H'), agrupados estacionalmente para mejorar su interpretación gráfica, las comunidades de aves parecen de forma general bien estructuradas, especialmente en el sector de SM que presenta valores mayores a 2 bits en cualquier época del año (Fig. 4.2.7.2.4).

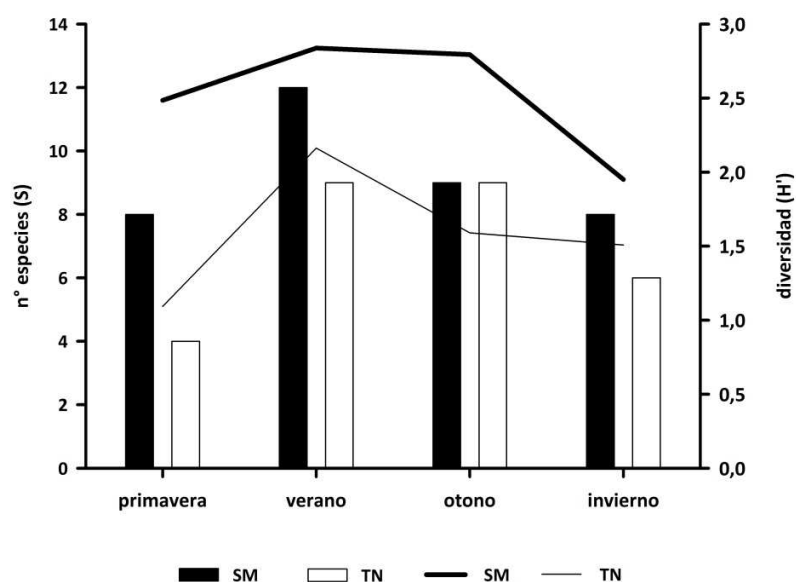


Figura 4.2.7.2.4. Evolución estacional de la riqueza específica (S) (barras) y el Índice de Diversidad (H') (líneas) en cada sector seleccionado durante los muestreos realizados en el período noviembre 2015 – noviembre 2016 (ver texto para detalles específicos).

Condición corporal

Debido al pequeño tamaño de las especies modelo, lo que impide en muchos casos extraer la cantidad mínima necesaria para la cuantificación de los metabolitos con la metodología analítica disponible, se han analizado hasta la fecha (noviembre 2016) 11 muestras de sangre de diferentes especies, 5 en Teja Norte y 6 en Santa María (Tabla 4.2.7.2.4). No obstante, se cuenta con un número similar de muestras del mes de

diciembre 2016 que aún no han sido analizadas y para las cuales se ha optimizado el protocolo de extracción. Esto permitirá realizar comparaciones de detalle y establecer así los valores medios y rangos de variación para las diferentes especies modelo en los análisis a realizar durante el tercer año del Programa de Monitoreo Ambiental del HRC.

Tabla 4.2.7.2.4. Valores medios (\pm SE) de metabolitos plasmáticos medidos en aves passeriformes (diferentes especies) en dos áreas del HRC, Santa María (SM) y Teja Norte (TN) durante muestreos realizados en el período noviembre 2015 – noviembre 2016 (ver texto para detalles específicos). BHB = β -OH Butirato, FRUT = Fructosamina y TRIG = Triglicéridos.

	BHB (mmol/l)	FRUT (umol/l)	TRIG (mmol/l)
SM	1.6 \pm 0.4	270.3 \pm 23.8	1.8 \pm 0.9
TN	1.0 \pm 0.5	339.6 \pm 67.3	0.7 \pm 0.3

A priori las aves que habitan los pajonales y vegetación de ribera del HRC, presentan niveles de metabolitos plasmáticos en rangos de variación similares a los obtenidos en otros estudios con especies de hábitats similares en otras regiones (*e.g.*, Wagner *et al.*, 2014). Hay que tener en cuenta además que algunos de estos individuos son especies migratorias y fueron capturados a inicios de noviembre. Por ello los valores de algunos individuos podrían reflejar un importante estrés metabólico relacionado con su reciente llegada al área tras la migración, lo que consecuentemente incrementaría los niveles medios obtenidos en la muestra. Cuando se consiga incrementar la muestra de individuos en diferentes estaciones del año, en particular de Fío-fío, se podrá ponderar esta potencial fuente de variabilidad a la hora de establecer los promedios y rangos de variación de los parámetros analizados, en particular el BHB.

Supervivencia aparente

Hasta la fecha se han recapturado 36 de los 395 ejemplares marcados lo que supone una tasa de recaptura general de 0.09, siendo igual o superior en SM que en TN para todas las especies (Tabla 4.2.7.2.5).

Tabla 4.2.7.2.5. Recapturas por especie obtenidas en dos áreas seleccionadas del Humedal del Río Cruces durante muestreos realizados en el período noviembre 2015 – noviembre 2016 (ver texto para detalles específicos).

especie	Santa María	Teja Norte
Cachudito	0.47	0.10
Chercán de las Vegas	0.33	0.33
Chirihue	0.03	-
Colilarga	0.33	0.00
Fío-fío	0.05	0.00
Sietecolores	0.20	0.06
Trabajador	0.33	0.06
Trile	0.00	0.00
TOTAL	0.13	0.06

Destaca en este sentido la alta tasa de recaptura de ejemplares para varias especies, lo que podría ser un indicador de una elevada territorialidad de los individuos en las zonas muestreadas. De cualquier modo, esta elevada tasa de recaptura permitirá realizar estimas de supervivencia adulta aparente ($\hat{\phi}$ = método de captura-marcaje-recaptura; *cf.* Thomson *et al.*, 2009) para cada especie una vez controlada su probabilidad de recaptura anual.

4.2.7.2.5. Conclusiones

- Se ha recabado información durante un ciclo anual completo sobre la composición y estructura estacional de la comunidad de aves Paseriformes que habitan las áreas de vegetación palustre, comenzando así a rellenar una ausencia de información esencial para la gestión del HRC.
- El Siete colores *Tachuris rubrigastra* es la especie dominante en estos hábitats, estando la comunidad compuesta durante el ciclo anual por 10 especies regulares (i.e. estructurales) y otras 8 que aparecen de forma irregular (i.e. acompañantes).
- Se ha recapturado una fracción considerable de los individuos capturados en ambas zonas del HRC, en particular de cuatro especies estructurales, lo que permitirá a medio plazo estimar la tasa de supervivencia anual de las aves passeriformes que habitan las riberas del HRC, incluyendo las migratorias.
- Se han obtenido los primeros valores de concentración de metabolitos plasmáticos, lo que permitirá a medio plazo determinar los promedios y rangos de variación estacional de la condición corporal de especies de Paseriformes en las áreas de pajonales.
- La productividad general de las dos colonias seleccionadas de Garza cuca *Ardea cocoi* durante la temporada de cría 2016 ha sido dispar. La colonia más grande ha sido capaz de producir 1.1 pollos por pareja que inició la reproducción, mientras que el elevado porcentaje de parejas que fracasaron hizo que este parámetro únicamente alcanzara un valor de 0.6 en la colonia más pequeña.
- Los exitosos protocolos de aproximación a las colonias de garzas para estimar el éxito reproductor podrían considerarse como un primer “spin-off” asociado a esta parte del Monitoreo Ambiental.
- Las zonas de praderas inundables albergan durante todo el año poblaciones de la Becasina común *Gallinago paraguaiensis magellanica*, con densidades generalmente superiores a otros estudios con especies afines en Norteamérica.

4.2.7.2.6. Referencias

- Carroll, J.M., D.G. Krementz. 2014. Density and abundance of Wilson's snipe *Gallinago delicata* in winter in the Lower Mississippi Flyway, USA. *Wildlife Biology* 20: 108-114.
- Cline, B.B., S.M. Haig. 2011. Seasonal, movement, residency and migratory patterns of Wilson's snipe (*Gallinago delicata*). *Auk* 128: 543–555.
- González-Acuña, D., R. A. Figueroa, R. A. González, C. Barrientos, K. Ardiles, L. Moreno. 2008. Biología reproductiva de la Garza Cuca (*Ardea cocoi*) en el centro-sur de Chile. *Ornitología Neotropical* 19: 485–493.
- Lagos, N.A., P. Paolini, E. Jaramillo, C. Lovengree, C. Duarte, H. Contreras. 2008. Environmental processes, water quality degradation, and decline of waterbird populations in the río Cruces wetland, Chile. *Wetlands* 28: 938-950.
- Lara, J., C Barrientos, K. Ardiles, L. Moreno, R. Figueroa, D. González-Acuña. 2011. Biología reproductiva del Trabajador (*Phleocryptes melanops*) en el centro-sur de Chile. *Ornitología Neotropical* 22: 121–130.
- Lyons, J.E., J.A. Collazo, G.G. Guglielmo. 2008. Plasma metabolites and migration physiology of semipalmated sandpipers: refueling performance at five latitudes. *Oecologia* 155: 417-427.
- Marion, L. 1979. La croissance corporelle du heron cendre (*Ardea cinerea*) du Bretagne. Approche de la signification ecologique. *L'Oiseau et la Revue Française d'Ornithologie* 49: 1-30.
- Navedo J.G., S. Hahn, M. Parejo, J.M. Abad-Gómez, J.S. Gutiérrez, A. Villegas, J.M. Sánchez-Guzmán, J.A. Masero. 2015. Unravelling trophic subsidies of agroecosystems for biodiversity conservation: Food consumption and nutrient recycling by waterbirds in Mediterranean rice fields. *Science of the Total Environment* 511: 288-297.
- Peig, J., A.J. Green. 2010. The paradigm of body condition: a critical reappraisal of current methods based on mass and length. *Functional Ecology* 24: 1323-1332.
- Pretelli, M.G., M.L. Josens, A.H. Escalante. 2012. Breeding Biology at a Mixed-Species Colony of Great Egret and Cocoi Heron in a Pampas Wetland of Argentina. *Waterbirds* 35: 35-43.
- San Martín C., R. Medina, P. Ojeda y C. Ramírez. 1993. La biodiversidad vegetal del Santuario de la Naturaleza 'Río Cruces' (Valdivia, Chile). *Acta Botanica Malacitana* 18: 259-279.

Schlatter, R.P., R.A. Navarro, P. Corti. 2002. Effects of El Niño southern oscillation on numbers of black-necked swans at Río Cruces Sanctuary, Chile. *Waterbirds* 25: 114-122.

Tellería, J.L. 1986. Manual para el censo de los vertebrados terrestres. Ed. Raíces, Madrid.

Thomson D.L., E.G. Cooch, M.J. Conroy. 2009. Modeling demographic processes in marked populations. Ed. Springer, New York.

Van Gils, J., P. Wiersma, G.M. Kirwan. 2016. South American Snipe (*Gallinago paraguaiiae*). In: del Hoyo, J., Elliott, A., Sargatal, J., Christie, D.A. & de Juana, E. (eds.). Handbook of the Birds of the World Alive. Lynx Edicions, Barcelona. (retrieved on 23 december 2016).

Victoriano, P.F., A.L. González, R. Schlatter. 2006. Estado de conocimiento de las aves de aguas continentales de Chile. *Gayana* 70: 140-162.

Wagner, D.N., D.J. Green, M. Pavlik, J. Cooper, T.D. Williams. 2014. Physiological assessment of the effects of changing water levels associated with reservoir management on fattening rates of neotropical migrants at a stopover site. *Conservation Physiology* 2: 10.1093/conphys/cou017

4.2.7.3. Elementos y compuestos químicos en Garza blanca grande (*Ardea alba*)

4.2.7.3.1. Antecedentes

Se define bioacumulación, como el proceso de acumulación de elementos o compuestos químicos en organismos vivos y en concentraciones superiores a la que estos ocurren en el medio natural al que están expuestos, o en los alimentos que los mismos consumen. En otras palabras, la bioacumulación ocurre cuando el secuestro de elementos o compuestos químicos por parte de un organismo es mayor que la degradación o pérdida de los mismos por catabolismo o excreción. Para el caso de un depredador, la bioacumulación puede ocurrir por ingesta de sus presas que en el medio natural han estado expuestas a tales elementos o compuestos químicos.

Durante el Programa de Diagnóstico Ambiental del humedal del río Cruces (abril 2014 - marzo 2015), se capturaron cuatro ejemplares de Garza blanca grande (*Ardea*

alba), para estudios de concentraciones de metales pesados y compuestos orgánicos persistentes en sus tejidos corporales. Entre los hallazgos de esos análisis, destaca la presencia de Dioxinas (entre estas la 2378-TCDD y la 12378-PCDD) y Furanos, situación que llevó a incluir dentro del Programa de Monitoreo Ambiental del HRC y sus ríos tributarios, estudios anuales de metales pesados y compuestos orgánicos persistentes en esta ave acuática.

En este Capítulo, se exponen los resultados de análisis llevados a cabo en muestras de *A. alba* obtenidas durante noviembre del año 2015 y diciembre del año 2016 (primer y segundo año del Programa de Monitoreo Ambiental del HRC, respectivamente) y se comparan con datos de muestras obtenidas durante febrero 2015 correspondientes al Programa de Diagnóstico Ambiental del HRC.

4.2.7.3.2. Objetivos

- Analizar las concentraciones de metales pesados (Hierro, Aluminio, Manganeso, Cobre, Zinc, Plomo, Cadmio, Arsénico y Mercurio) en tejidos musculares y hepáticos de la Garza blanca grande (*Ardea alba*), durante la primavera del año 2016.
- Analizar las concentraciones de Ácidos grasos y Resínicos y AOX en tejidos musculares y hepáticos de esta garza.
- Analizar las concentraciones de Dioxinas, Furanos y Equivalentes tóxicos en tejidos musculares y hepáticos de *Ardea alba*.
- Comparar los datos obtenidos durante la primavera del año 2016, con los obtenidos durante febrero y noviembre del año 2015.

4.2.7.3.3. Material y métodos

Para el análisis de elementos y compuestos químicos, se tomaron muestras de hígado y músculo de cuatro especímenes de Garza blanca grande (*Ardea alba*) en

diferentes puntos del humedal. La Tabla 4.2.7.3.1 muestra las fechas y sectores de captura de garzas en el humedal del río Cruces y sus ríos tributarios.

Tabla 4.2.7.3.1. Fechas y sectores de captura de especímenes Garza blanca grande (*Ardea alba*) para estudios de concentraciones de elementos y compuestos químicos en sus tejidos corporales. Valores en paréntesis corresponden a número de ejemplares por sector.

sectores de captura garzas	verano 2015 febrero	primavera 2015 noviembre	primavera 2016 diciembre
eje central del río Cruces (sector estuarial)			
sector Santa María		10 - nov - 2015 (1)	19 - dic - 2016 (3)
sector Santa Clara	19 - feb - 2015 (1)	10 - nov -2015 (1)	
sector Tres Bocas	21 - feb - 2015 (1)	11 - nov - 2015 (1)	
sector Punucapa	22 - feb - 2015 (2)		
sector Fuerte San Luis			21 - dic - 2016 (1)
ríos tributarios del río Cruces (sector estuarial)			
sector río Pichoy		18 - nov - 2015 (1)	

Los especímenes recolectados fueron sometidos a necropsia en el Instituto de Patología Animal de la Facultad de Ciencias Veterinarias de la UACH, para obtener los tejidos a analizar. Esos tejidos fueron lavados con abundante agua desionizada, sonicados para eliminar restos de sedimento adheridos y luego secados por liofilización para finalmente ser pulverizados. Las muestras preparadas para análisis de metales pesados (*i.e.*, Hierro, Aluminio, Manganeso, Cobre, Zinc, Plomo, Cadmio, Arsénico y Mercurio) se atacaron mediante digestión ácida en microondas para posteriormente ser analizadas por Espectroscopía de Absorción Atómica de Llama. Debido a su baja concentración en esta matriz, el Plomo se analizó por ICP-MS y/o Espectroscopía de Absorción Atómica con horno de grafito.

Las muestras para análisis de AOX y EOX se analizaron mediante titulación microcoulombimétrica (Norma Europea EN ISO 9562 y EN 1485, respectivamente), luego de la adsorción de los compuestos halogenados en carbón activado y extracción con solvente, respectivamente.

Las muestras para análisis de Dioxinas y Furanos fueron analizadas en el Laboratorio Marschwood Scientific Service en Inglaterra, mediante Cromatografía Gaseosa de Alta Resolución-Espectrometría de Masa de Alta Resolución (HRGC-HRMS), de acuerdo al método EPA 1613.

4.2.7.3.4. Resultados

Metales pesados

Las Tablas 4.2.7.3.2 a 4.2.7.3.10 muestran las concentraciones de Hierro, Aluminio, Manganeso, Cobre, Zinc, Plomo, Cadmio, Arsénico y Mercurio en tejidos hepáticos y musculares de la Garza blanca grande.

En general, la concentración de los metales evaluados fue mayor en tejidos hepáticos que en musculares (ver Fig. 4.2.7.3.1 y 4.2.7.3.2). No se ha detectado Aluminio y Arsénico en ninguno de los tejidos hasta ahora analizados (Tablas 4.2.7.3.3 y 4.2.7.3.9, respectivamente), a la vez que el Manganeso no se ha detectado en tejidos musculares (Tabla 4.2.7.3.4). El Cadmio solo se ha detectado en los tejidos hepáticos analizados durante el verano del año 2015 (Tabla 4.2.7.3.8).

La Tabla 4.2.7.3.11 muestra que en general no se detectaron diferencias significativas ($p > 0,05$), al comparar las concentraciones promedio de metales pesados entre las tres campañas, exceptuando las que siguen: las concentraciones de Cobre fueron significativamente más altas ($p < 0,05$) en tejidos hepáticos analizados durante la primavera

del año 2016, a la vez que las de Zinc fueron significativamente más bajas ($p < 0,05$) en tejidos musculares estudiados durante la misma primavera (Fig. 4.2.7.3.1 y 4.2.7.3.2). Las concentraciones de Mercurio fueron significativamente más bajas ($p < 0,05$) en tejidos hepáticos analizados durante el verano 2015 y significativamente más altas ($p < 0,05$) en tejidos musculares estudiados durante la primavera del año 2015 *versus* las analizados durante el verano del mismo año (Tabla 4.2.7.3.11 y Fig. 4.2.7.3.2).

Tabla 4.2.7.3.2. Concentraciones de Hierro en tejidos hepáticos y musculares de la Garza blanca grande, recolectados durante los años 2015 (verano y primavera) y 2016 (primavera). Los valores en paréntesis son desviaciones estándar (dos lecturas para cada garza).

Campaña	sectores de captura	Hierro ($\mu\text{g g}^{-1}$)	
		hígado	músculo
verano 2015	Santa Clara (eje central del río Cruces)	1.343,9	291,9 (3,5)
	Tres Bocas (eje central del río Cruces)	2.283,8	333,7 (3,3)
	Punucapa (eje central del río Cruces)	1.674,6	253,4 (23,7)
	Punucapa (eje central del río Cruces)	622,5	209,3 (0,9)
	promedio	1.481,4 (692,4)	272,1 (53,2)
primavera 2015	Santa María (eje central del río Cruces)	1.498,0 (59,9)	267,3 (8,9)
	Santa Clara (eje central del río Cruces)	614,8 (8,3)	224,7 (0,9)
	Tres Bocas (eje central del río Cruces)	2.058,6 (103,5)	214,0 (3,3)
	río Pichoy (río tributario del HRC)	968,9 (11,4)	252,5 (1,7)
	promedio	1.285,1 (630,6)	239,6 (24,6)
primavera 2016	Santa María (eje central del río Cruces)		301,8 (6,6)
		1.432,8	
	Santa María (eje central del río Cruces)		221,19 (10,3)
	Santa María (eje central del río Cruces)		146,7 (2,2)
		888,2	

Fuerte San Luis (eje central del río Cruces)	249,7 (14,3)
promedio	1.160,5 (385,1) 230,0 (60,3)

Tabla 4.2.7.3.3. Concentraciones de Aluminio en tejidos hepáticos y musculares de la Garza blanca grande, recolectados durante los años 2015 (verano y primavera) y 2016 (primavera). Los valores en negrilla corresponden al límite de detección del método utilizado.

Campaña	sectores de captura	Aluminio ($\mu\text{g g}^{-1}$)	
		hígado	músculo
verano 2015	Santa Clara (eje central del río Cruces)	0,3	0,3
	Tres Bocas (eje central del río Cruces)	0,3	0,3
	Punucapa (eje central del río Cruces)	0,3	0,3
	Punucapa (eje central del río Cruces)	0,3	0,3
primavera 2015	Santa María (eje central del río Cruces)	0,3	0,3
	Santa Clara (eje central del río Cruces)	0,3	0,3
	Tres Bocas (eje central del río Cruces)	0,3	0,3
	río Pichoy (río tributario del HRC)	0,3	0,3
primavera 2016	Santa María (eje central del río Cruces)	0,3	0,3
	Santa María (eje central del río Cruces)	0,3	0,3
	Santa María (eje central del río Cruces)	0,3	0,3
	Fuerte San Luis (eje central del río Cruces)	0,3	0,3

Tabla 4.2.7.3.4. Concentraciones de Manganeso en tejidos hepáticos y musculares de Garza blanca grande, recolectados durante los años 2015 (verano y primavera) y 2016 (primavera). Los valores en negrilla indicados para los tejidos musculares, corresponden al límite de detección del método utilizado. Los valores en paréntesis son desviaciones estándar (dos lecturas para cada garza).

Campaña	sectores de captura	Manganeso ($\mu\text{g g}^{-1}$)	
		hígado	músculo
verano 2015	Santa Clara (eje central del río Cruces)	17,6	0,1
	Tres Bocas (eje central del río Cruces)	11,9	0,1
	Punucapa (eje central del río Cruces)	11,0	0,1
	Punucapa (eje central del río Cruces)	12,4	0,1
	promedio	13,2 (3,0)	
primavera 2015	Santa María (eje central del río Cruces)	13,6 (0,0)	0,1
	Santa Clara (eje central del río Cruces)	14,5 (0,6)	0,1
	Tres Bocas (eje central del río Cruces)	8,9 (0,6)	0,1
	río Pichoy (río tributario del HRC)	10,6 (0,2)	0,1
	promedio	11,9 (2,6)	
primavera 2016	Santa María (eje central del río Cruces)	12,86	0,1
	Santa María (eje central del río Cruces)		0,1
	Santa María (eje central del río Cruces)	8,75	0,1
	Fuerte San Luis (eje central del río Cruces)		0,1
	promedio	10,8 (2,9)	

Tabla 4.2.7.3.5. Concentraciones de Cobre en tejidos hepáticos y musculares de Garza blanca grande recolectados durante los años 2015 (verano y primavera) y 2016 (primavera). Los valores en paréntesis son desviaciones estándar (dos lecturas para cada garza).

Campaña	sectores de captura	Cobre ($\mu\text{g g}^{-1}$)	
		hígado	músculo
verano 2015	Santa Clara (eje central del río Cruces)	18,82	12,62 (0,1)
	Tres Bocas (eje central del río Cruces)	18,59	14,55 (0,0)
	Punucapa (eje central del río Cruces)	20,20	12,10 (0,2)
	Punucapa (eje central del río Cruces)	52,03	12,18 (0,1)
	promedio	27,41 (16,4)	12,86 (1,1)
primavera 2015	Santa María (eje central del río Cruces)	32,69 (0,3)	14,41 (0,3)
	Santa Clara (eje central del río Cruces)	28,44 (1,0)	13,67 (0,3)
	Tres Bocas (eje central del río Cruces)	22,53 (0,1)	11,48 (0,2)
	río Pichoy (río tributario del HRC)	21,20 (0,2)	16,49 (0,1)
	promedio	26,22 (5,3)	14,01 (2,1)
primavera 2016	Santa María (eje central del río Cruces)		15,35 (0,0)
		174,8	
	Santa María (eje central del río Cruces)		8,01 (0,0)
	Santa María (eje central del río Cruces)		9,52 (0,1)
		41,28	
	Fuerte San Luis (eje central del río Cruces)		13,52 (0,1)
	promedio	108,02 (94,4)	11,60 (3,2)

Tabla 4.2.7.3.6. Concentraciones de Zinc en tejidos hepáticos y musculares de Garza blanca grande), recolectados durante los años 2015 (verano y primavera) y 2016 (primavera). Los valores en paréntesis son desviaciones estándar (dos lecturas para cada garza).

Campaña	sectores de captura	Zinc ($\mu\text{g g}^{-1}$)	
		hígado	músculo
verano 2015	Santa Clara (eje central del río Cruces)	91,84	52,57 (0,2)
	Tres Bocas (eje central del río Cruces)	104,10	69,89 (0,2)
	Punucapa (eje central del río Cruces)	91,34	80,63 (1,3)
	Punucapa (eje central del río Cruces)	153,00	87,49 (0,0)
	promedio	110,07 (29,2)	72,65 (15,2)
primavera 2015	Santa María (eje central del río Cruces)	125,55 (0,2)	91,47 (0,4)
	Santa Clara (eje central del río Cruces)	89,09 (1,4)	77,50 (1,3)
	Tres Bocas (eje central del río Cruces)	80,86 (3,8)	69,91 (0,7)
	río Pichoy (río tributario del HRC)	90,65 (1,4)	92,33 (1,6)
	promedio	96,54 (19,8)	82,80 (11,0)
primavera 2016	Santa María (eje central del río Cruces)		52,22 (1,1)
		100,9	
	Santa María (eje central del río Cruces)		55,89 (0,0)
	Santa María (eje central del río Cruces)		54,89 (0,2)
		77,24	
	Fuerte San Luis (eje central del río Cruces)		51,36 (1,0)
	promedio	89,07 (16,7)	53,59 (2,1)

Tabla 4.2.7.3.7. Concentraciones de Plomo en tejidos hepáticos y musculares de Garza blanca grande, recolectados durante los años 2015 (verano y primavera) y 2016 (primavera). Los valores en paréntesis son desviaciones estándar (dos lecturas para cada garza).

Campaña	sectores de captura	Plomo ($\mu\text{g g}^{-1}$)	
		hígado	músculo
verano 2015	Santa Clara (eje central del río Cruces)	0,03	0,08 (0,0)
	Tres Bocas (eje central del río Cruces)	0,02	0,05 (0,0)
	Punucapa (eje central del río Cruces)	0,02	0,02 (0,0)
	Punucapa (eje central del río Cruces)	0,34	0,02 (0,0)
	promedio	0,10 (0,2)	0,04 (0,0)
primavera 2015	Santa María (eje central del río Cruces)	0,06 (0,0)	0,05 (0,0)
	Santa Clara (eje central del río Cruces)	0,05 (0,0)	0,16 (0,1)
	Tres Bocas (eje central del río Cruces)	0,05 (0,0)	0,06 (0,0)
	río Pichoy (río tributario del HRC)	0,05 (0,0)	0,04 (0,0)
	promedio	0,05 (0,0)	0,08 (0,1)
primavera 2016	Santa María (eje central del río Cruces)		0,04 (0,0)
		0,02	
	Santa María (eje central del río Cruces)		0,03 (0,0)
			0,03 (0,0)
		0,02	
	Fuerte San Luis (eje central del río Cruces)		0,05 (0,0)
	promedio	0,02 (0,0)	0,04 (0,0)

Tabla 4.2.7.3.8. Concentraciones de Cadmio en tejidos hepáticos y musculares de Garza blanca grande, recolectados durante los años 2015 (verano y primavera) y 2016 (primavera). Los valores en negrilla corresponden al límite de detección del método utilizado y en paréntesis la desviación estándar (dos lecturas para cada garza).

Campaña	sectores de captura	Cadmio ($\mu\text{g g}^{-1}$)	
		hígado	músculo
verano 2015	Santa Clara (eje central del río Cruces)	0,31	0,01
	Tres Bocas (eje central del río Cruces)	0,24	0,01
	Punucapa (eje central del río Cruces)	0,20	0,01
	Punucapa (eje central del río Cruces)	0,01	0,01
	promedio	0,19 (0,1)	
primavera 2015	Santa María (eje central del río Cruces)	0,01	0,01
	Santa Clara (eje central del río Cruces)	0,01	0,01
	Tres Bocas (eje central del río Cruces)	0,01	0,01
	río Pichoy (río tributario del HRC)	0,01	0,01
primavera 2016	Santa María (eje central del río Cruces)	0,01	0,01
	Santa María (eje central del río Cruces)	0,01	0,01
	Santa María (eje central del río Cruces)	0,01	0,01
	Fuerte San Luis (eje central del río Cruces)	0,01	0,01

Tabla 4.2.7.3.9. Concentraciones de Arsénico en tejidos hepáticos y musculares de *Ardea alba*, recolectados durante los años 2015 (verano y primavera) y 2016 (primavera). Los valores en negrilla corresponden al límite de detección del método utilizado.

Campaña	sectores de captura	Arsénico ($\mu\text{g g}^{-1}$)	
		hígado	músculo
verano 2015	Santa Clara (eje central del río Cruces)	0,001	0,001
	Tres Bocas (eje central del río Cruces)	0,001	0,001
	Punucapa (eje central del río Cruces)	0,001	0,001
	Punucapa (eje central del río Cruces)	0,001	0,001
primavera 2015	Santa María (eje central del río Cruces)	0,001	0,001
	Santa Clara (eje central del río Cruces)	0,001	0,001
	Tres Bocas (eje central del río Cruces)	0,001	0,001
	río Pichoy (río tributario del HRC)	0,001	0,001
primavera 2016	Santa María (eje central del río Cruces)	0,001	0,001
	Santa María (eje central del río Cruces)	0,001	0,001
	Santa María (eje central del río Cruces)	0,001	0,001
	Fuerte San Luis (eje central del río Cruces)	0,001	0,001

Tabla 4.2.7.3.10. Concentraciones de Mercurio en tejidos hepáticos y musculares de Garza blanca grande, recolectados durante los años 2015 (verano y primavera) y 2016 (primavera). Los valores en paréntesis son desviaciones estándar (dos lecturas para cada garza).

Campaña	sectores de captura	Mercurio ($\mu\text{g g}^{-1}$)	
		hígado	músculo
verano 2015	Santa Clara (eje central del río Cruces)	0,69	0,82 (0,0)
	Tres Bocas (eje central del río Cruces)	1,46	1,03 (0,0)
	Punucapa (eje central del río Cruces)	2,10	1,29 (0,0)
	Punucapa (eje central del río Cruces)	0,71	1,35 (0,0)
	promedio	1,24 (0,7)	1,12 (0,2)
primavera 2015	Santa María (eje central del río Cruces)	2,79 (0,0)	1,48 (0,0)
	Santa Clara (eje central del río Cruces)	3,44 (0,1)	1,92 (0,2)
	Tres Bocas (eje central del río Cruces)	3,60 (0,0)	1,37 (0,0)
	río Pichoy (río tributario del HRC)	2,38 (0,0)	1,68 (0,0)
	promedio	3,05 (0,6)	1,61 (0,2)
primavera 2016	Santa María (eje central del río Cruces)		1,94 (0,2)
		2,63	
	Santa María (eje central del río Cruces)		0,63 (0,0)
			1,82 (0,1)
		2,70	
	Fuerte San Luis (eje central del río Cruces)		1,46 (0,1)
	promedio total	2,66 (0,0)	1,46 (0,5)

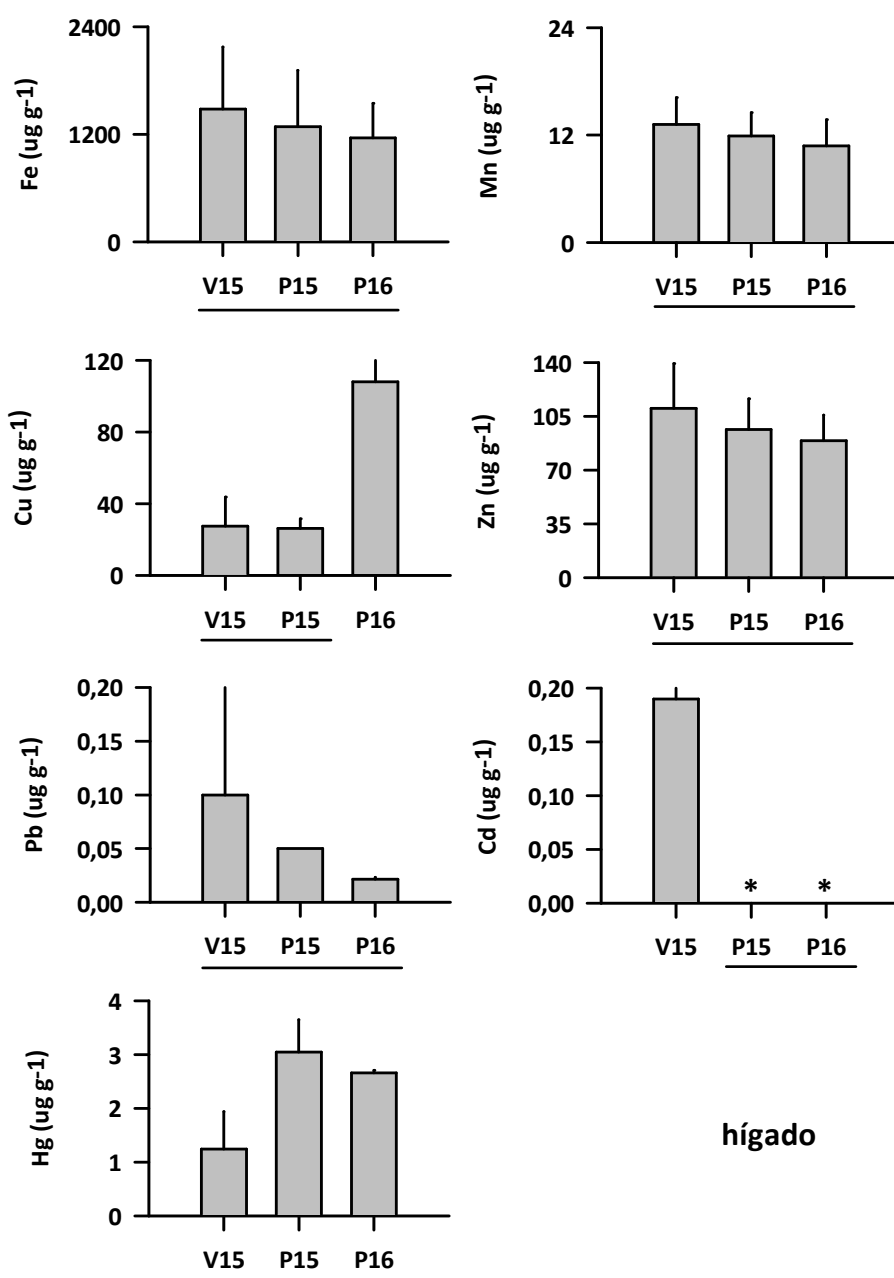


Figura 4.2.7.3.1. Concentraciones de metales pesados en tejidos hepáticos de *Ardea alba*, recolectados durante los años 2015 (verano y primavera; V15 y P15, respectivamente) y 2016 (primavera; P16). Los valores son promedios con una desviación estándar. * = no detectado; *i.e.*, bajo el límite de detección del método utilizado. Barras horizontales inferiores separadas = presencia de diferencias significativas ($p < 0,05$); una sola barra horizontal inferior = ausencia de diferencias significativas ($p > 0,05$).

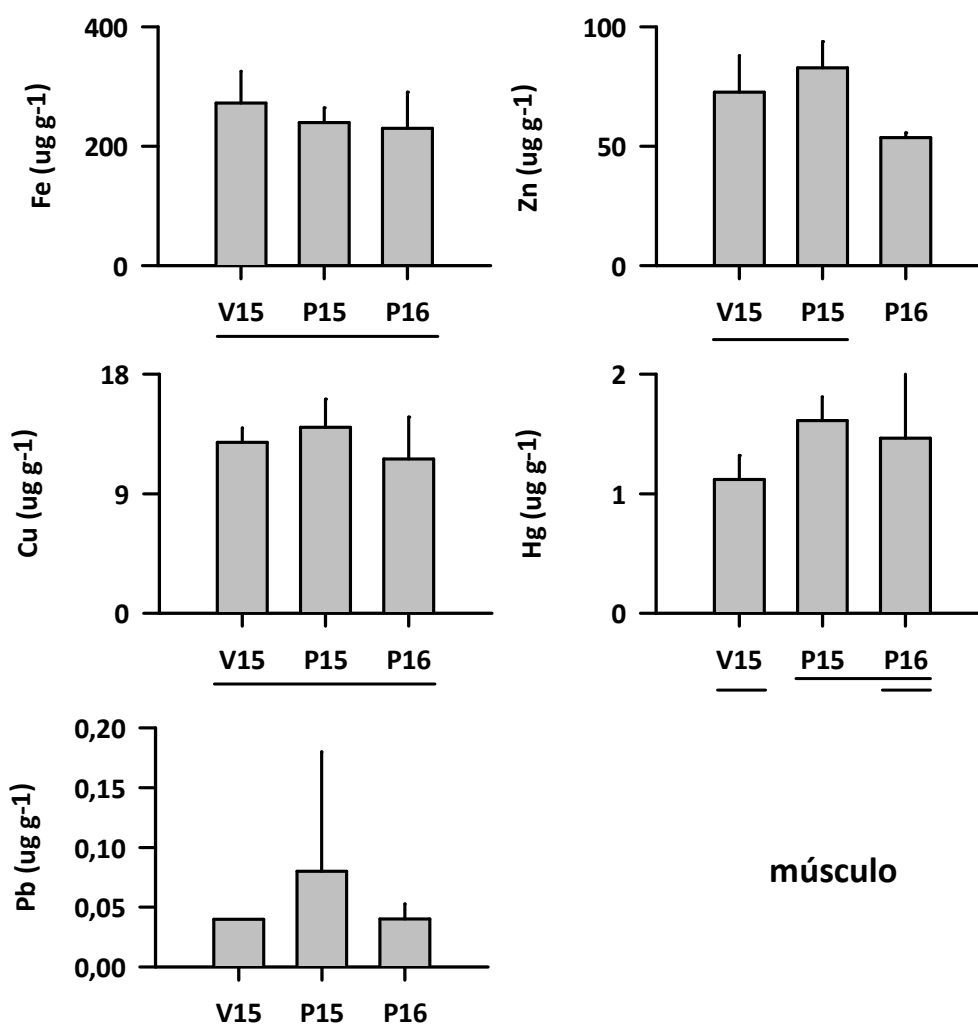


Figura 4.2.7.3.2. Concentraciones de metales pesados en tejidos musculares de *Ardea alba*, recolectados durante los años 2015 (verano y primavera; V15 y P15, respectivamente) y 2016 (primavera; P16). Los valores son promedios con una desviación estándar. * = no detectado; *i.e.*, bajo el límite de detección del método utilizado. Barras horizontales inferiores separadas = presencia de diferencias significativas ($p < 0,05$); una sola barra horizontal inferior = ausencia de diferencias significativas ($p > 0,05$).

Tabla 4.2.7.3.11. Valores de F (Andeva) y p resultantes de análisis destinados a evaluar eventuales diferencias significativas en las concentraciones de metales pesados en tejidos hepáticos y musculares de la Garza blanca grande y entre campañas (verano 2015, primavera 2015 y primavera 2016). Los valores de p en negrilla son significativos (<0,05) para cada prueba. (*) = cumple al menos una prueba de normalidad; **No cumple normalidad ni homocedasticidad; ND= no detectado.

metales pesados	hígado	músculo
Hierro	F=0,23 ; p=0,801	F=1,75 ; p=0,199
Manganeso	F=0,65 ; p=0,542	ND
Cobre	F=6,75 ; p=0,012	F=2,35 ; p=0,120*
Zinc	F=0,77 ; p=0,485*	F=17,22 ; p<0,001
Plomo	F=0,79 ; p=0,478*	F=3,21 ; p=0,06
Mercurio	F=14,52 ; p<0,001	F=3,72 ; p=0,042

Ácidos grasos

La Tabla 4.2.7.3.12 y Figura 4.2.7.3.3, muestran que las concentraciones de Ácidos grasos en las garzas estudiadas han sido más altas en tejidos hepáticos que en musculares: promedios de 2.094,50; 3.449,75 y 1.642,50 $\mu\text{g g}^{-1}$ en hígados analizados durante el verano 2015, primavera 2015 y primavera 2016, respectivamente, *versus* 1.602,27; 2.506,48 y 1.307,00 $\mu\text{g g}^{-1}$ respectivamente en tejidos musculares estudiados durante las mismas campañas.

Las concentraciones de Ácidos grasos en tejidos hepáticos y musculares fueron significativamente más altas ($p<0,05$), en los tejidos de garzas estudiados durante la primavera del año 2015 (Fig. 4.2.7.3.3).

Tabla 4.2.7.3.12. Concentraciones de Ácidos grasos en tejidos hepáticos y musculares de la Garza blanca grande, recolectados durante los años 2015 (verano y primavera) y 2016 (primavera). Los valores en paréntesis son desviaciones estándar (dos lecturas para cada garza).

campaña	sectores de captura	Ácidos grasos ($\mu\text{g g}^{-1}$)	
		hígado	músculo
verano 2015	Santa Clara (eje central del río Cruces)	1.986,00	1.673,53 (25,0)
	Tres Bocas (eje central del río Cruces)	2.123,00	1.362,29 (123,0)
	Punucapa (eje central del río Cruces)	1.870,00	1.373,61 (565,0)
	Punucapa (eje central del río Cruces)	2.399,00	1.999,65 (113,0)
	promedio	2.094,50 (227,8)	1.602,27 (301,6)
primavera 2015	Santa María (eje central del río Cruces)	3.084,00	2.386,80 (189,3)
	Santa Clara (eje central del río Cruces)	3.468,70	2.685,58 (39,9)
	Tres Bocas (eje central del río Cruces)	3.522,90	2.482,60 (210,7)
	río Pichoy (río tributario del HRC)	3.723,40	2.470,95 (115,1)
	promedio	3.449,75 (267,3)	2.506,48 (126,8)
primavera 2016	Santa María (eje central del río Cruces)		1.262,5 (28,7)
		1.544,2	
	Santa María (eje central del río Cruces)		1.328,0 (20,7)
	Santa María (eje central del río Cruces)		1.388 (273,7)
		1.740,8	
	Fuerte San Luis (eje central del río Cruces)		1.249,7 (60,9)
	promedio	1.642,50 (139,0)	1.307,00 (122,1)

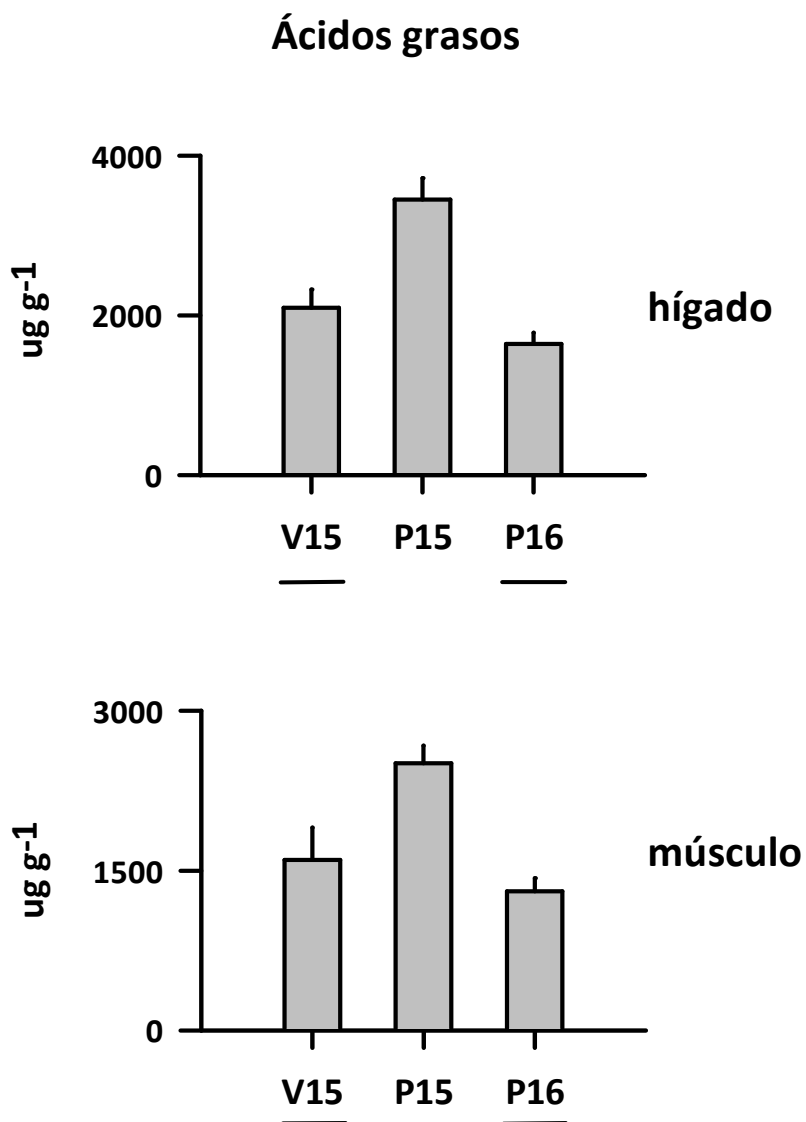


Figura 4.2.7.3.3. Concentraciones de Ácidos grasos en tejidos hepáticos y musculares de la Garza blanca grande recolectados durante los años 2015 (verano y primavera; V15 y P16, respectivamente) y 2016 (primavera; P16). Los valores son promedios con una desviación estándar. Barras horizontales inferiores separadas = presencia de diferencias significativas ($p < 0,05$). Resultados de Andeva para tejidos hepáticos: $F = 51,38$, $p < 0,001$; para tejidos musculares: $F = 55,18$, $p < 0,001$.

Ácidos resínicos

La Tabla 4.2.7.3.13 muestra que durante el verano y primavera del año 2015 y la primavera del año 2016, no se detectaron Ácidos resínicos en los tejidos de las garzas analizadas.

Tabla 4.2.7.3.13. Resultados de los análisis tendientes a evaluar concentraciones de Ácidos resínicos en tejidos hepáticos y musculares de la Garza blanca grande, recolectados durante los años 2015 (verano y primavera) y 2016 (primavera). Los valores en negrilla corresponden al límite de detección del método utilizado. SM = sin muestras.

Campaña	sectores de captura	Ácidos resínicos ($\mu\text{g g}^{-1}$)	
		hígado	músculo
verano 2015	Santa Clara (eje central del río Cruces)	0,01	0,01
	Tres Bocas (eje central del río Cruces)	0,01	0,01
	Punucapa (eje central del río Cruces)	0,01	0,01
	Punucapa (eje central del río Cruces)	0,01	0,01
primavera 2015	Santa María (eje central del río Cruces)	SM	0,01
	Santa Clara (eje central del río Cruces)	SM	0,01
	Tres Bocas (eje central del río Cruces)	SM	0,01
	río Pichoy (río tributario del HRC)	SM	0,01
primavera 2016	Santa María (eje central del río Cruces)	0,01	0,01
	Santa María (eje central del río Cruces)	0,01	0,01
	Santa María (eje central del río Cruces)	0,01	0,01
	Fuerte San Luis (eje central del río Cruces)	0,01	0,01

AOX

La Tabla 4.2.7.3.14, muestra que las concentraciones de AOX fueron más altas en tejidos hepáticos que en tejidos musculares.

Las concentraciones de AOX en los tejidos hepáticos examinados en las garzas capturadas durante la primavera del año 2015, fueron 1,9 y 2,5 veces más altas que las medidas durante el verano del mismo año y la primavera del año 2016 (Fig. 4.2.7.3.4); en contraste a lo anterior, las concentraciones de AOX medidas en tejidos musculares han sido similares ($p>0,05$; resultados de Andeva) durante las tres campañas hasta ahora realizadas (Fig. 4.2.7.3.4).

Tabla 4.2.7.3.14. Concentraciones de AOX en tejidos hepáticos y musculares de la Garza blanca grande, recolectados durante los años 2015 (verano y primavera) y 2016 (primavera). Los valores en paréntesis son desviaciones estándar (dos lecturas para cada garza).

Campaña	sectores de captura	AOX ($\mu\text{g g}^{-1}$)	
		hígado	músculo
verano 2015	Santa Clara (eje central del río Cruces)	26,25	13,51 (3,4)
	Tres Bocas (eje central del río Cruces)	18,56	10,66 (0,8)
	Punucapa (eje central del río Cruces)	26,14	11,75 (1,1)
	Punucapa (eje central del río Cruces)	10,65	12,21 (1,7)
	promedio	20,40 (7,4)	12,03 (1,2)
primavera 2015	Santa María (eje central del río Cruces)	35,11 (5,1)	7,04 (0,2)
	Santa Clara (eje central del río Cruces)	32,31 (5,1)	8,87 (2,4)
	Tres Bocas (eje central del río Cruces)	52,60 (0,0)	18,37 (3,9)
	río Pichoy (río tributario del HRC)	32,23 (3,2)	6,71 (1,1)
	promedio	38,06 (9,8)	10,25 (5,5)
primavera 2016	Santa María (eje central del río Cruces)		13,48 (0,8)
		16,83	
	Santa María (eje central del río Cruces)		15,37 (0,8)
	Santa María (eje central del río Cruces)		9,55 (1,5)
		12,65	
	Fuerte San Luis (eje central del río Cruces)		9,07 (0,4)
	promedio	14,74 (3,0)	11,87 (2,9)

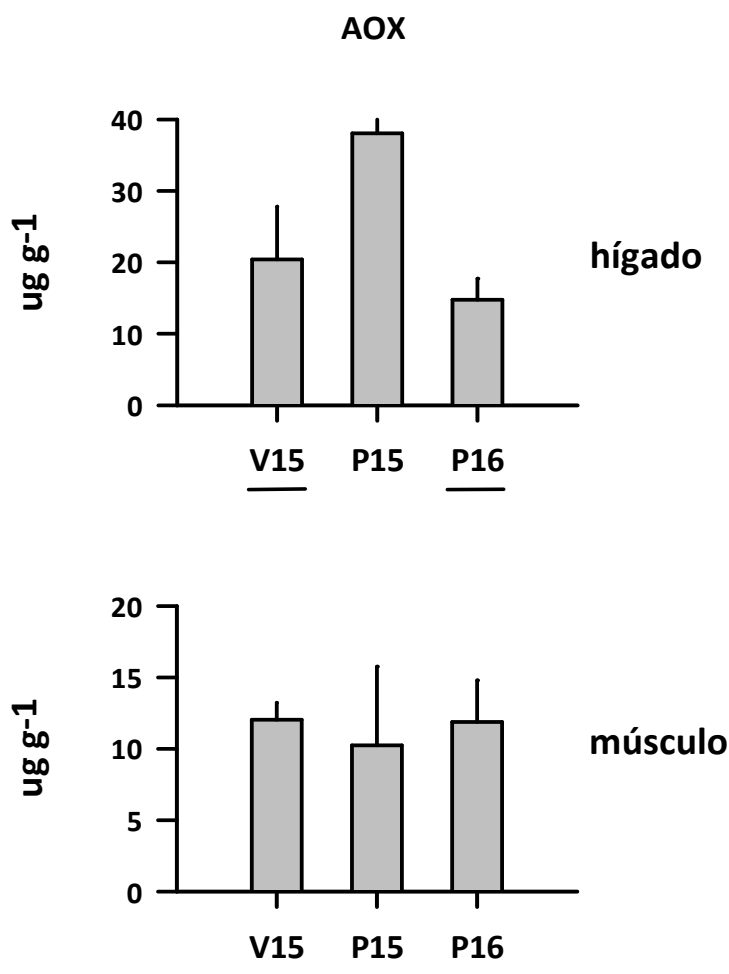


Figura 4.2.7.3.4. Concentraciones de AOX en tejidos hepáticos y musculares de la Garza blanca grande recolectados durante los años 2015 (verano y primavera; V15 y P15, respectivamente) y 2016 (primavera; P16). Los valores son promedios con una desviación estándar. Barras horizontales inferiores separadas = presencia de diferencias significativas ($p < 0,05$); una sola barra horizontal inferior = ausencia de diferencias significativas ($p > 0,05$). Resultados de Andeva para tejidos hepáticos: $F = 9,18$, $p = 0,005$; para tejidos musculares: $F = 1,55$, $p = 0,236$.

Dioxinas, Furanos y Equivalentes Tóxicos

La Tabla 4.2.7.3.15 muestra que las concentraciones promedio de Dioxinas en tejidos musculares de la Garza blanca grande fueron más altas durante la primavera del año 2015. Sin embargo, solo se detectaron diferencias estadísticamente significativas al comparar los datos de esa primavera con los del verano del año 2015 (Fig. 4.2.7.3.5; (resultados de Andeva: $F = 4,5$, $p = 0,025$).

No se detectaron diferencias significativas ($p > 0,05$) al comparar los valores de Furanos y Equivalentes tóxicos (Fig. 4.2.7.3.5) presentes en los tejidos musculares analizados durante el verano y primavera del año 2015 y verano del año 2016 (Tabla 4.2.7.3.15; resultados de Andeva para: Furanos: $F = 0,90$, $p = 0,424$; Equivalentes tóxicos: $F = 0,32$, $p = 0,730$).

Durante la campaña de la primavera del año 2016, fue posible determinar la presencia de estos compuestos en tejidos hepáticos; las concentraciones de Dioxinas en los mismos fueron más altas que las registradas en tejidos musculares para el mismo período (*cf.*, Tablas 4.2.7.3.16 y 4.2.7.3.15). Con anterioridad a la primavera del año 2016, no fue posible realizar análisis similares, ya que la cantidad de tejido hepático recolectado fue insuficiente para este tipo de estudios.

Durante las tres campañas (verano y primavera del año 2015 y primavera del año 2016), se detectó en los tejidos musculares analizados, la presencia de las Dioxinas 2,3,7,8-TCDD y 1,2,3,7,8-PCDD (Tabla 4.2.7.3.17 y Fig. 4.2.7.3.6); las concentraciones de las mismas no difirieron significativamente ($p > 0,05$) entre campañas (resultados de Andeva para: 2,3,7,8-TCDD: $F = 0,58$, $p = 0,568$; para el caso de 1,2,3,7,8-PCDD : $F = 0,16$, $p = 0,850$) (Fig. 4.2.7.3.6).

Durante la primavera del año 2016, se detectó la presencia de las Dioxinas 2,3,7,8-TCDD y 1,2,3,7,8-PCDD, en tejidos hepáticos de la Garza blanca grande y en concentraciones similares a las detectadas en tejidos musculares (Tabla 4.2.37.3.18).

Tabla 4.2.7.3.15. Concentraciones de Dioxinas, Furanos y ETQs en tejidos musculares de Garza blanca grande, recolectados durante los años 2015 (verano y primavera) y 2016 (primavera). Los valores en paréntesis son desviaciones estándar (dos lecturas para cada garza).

campaña	sectores de captura	Dioxinas (ng g ⁻¹)	Furanos (ng g ⁻¹)	ETQs (ng g ⁻¹)
verano 2015	Santa Clara (eje central del río Cruces)	0,00275 (0,00007)	0,00235 (0,00035)	0,00144 (0,00003)
	Tres Bocas (eje central del río Cruces)	0,00505 (0,00078)	0,00460 (0,00056)	0,00199 (0,00034)
	Punucapa (eje central del río Cruces)	0,00155 (0,00007)	0,00110 (0,00028)	0,00080 (0,00011)
	Punucapa (eje central del río Cruces)	0,00060 (0,00014)	0,00105 (0,00007)	0,00041 (0,00000)
	promedio	0,00249 (0,00192)	0,00228 (0,00166)	0,00116 (0,00070)
primavera 2015	Santa María (eje central del río Cruces)	0,01280 (0,01485)	0,00145 (0,00035)	0,00074 (0,00094)
	Santa Clara (eje central del río Cruces)	0,00950 (0,00127)	0,00085 (0,00049)	0,00112 (0,00080)
	Tres Bocas (eje central del río Cruces)	0,00190 (0,00071)	0,00155 (0,00092)	0,00062 (0,00033)
	río Pichoy (río tributario del HRC)	0,02085 (0,00559)	0,00240 (0,00014)	0,00268 (0,00030)
	promedio	0,01126 (0,00785)	0,00156 (0,00064)	0,00129 (0,00095)
primavera 2016	Santa María (eje central del río Cruces)	0,00407 (0,00046)	0,00229 (0,00064)	0,00213 (0,00024)
	Santa María (eje central del río Cruces)	0,00207	0,00127	0,00036
	Santa María (eje central del río Cruces)	0,00193	0,00133	0,00109
	Fuerte San Luis (eje central del río Cruces)	0,00474 (0,00005)	0,00165 (0,00082)	0,00169 (0,00010)
	promedio	0,00361 (0,00129)	0,00174 (0,00064)	0,00151 (0,00070)

Tabla 4.2.7.3.16. Concentraciones de Dioxinas, Furanos y ETQs en tejidos hepáticos de Garza blanca grande, recolectados durante la primavera del año 2016. Los valores en paréntesis son desviaciones estándar. No fue posible realizar análisis similares durante el verano y primavera del año 2015, ya que la cantidad de tejido hepático recolectado fue insuficiente para este tipo de estudios.

campaña	sectores de captura	Dioxinas (ng g⁻¹)	Furanos (ng g⁻¹)	ETQs (ng g⁻¹)
diciembre 2016	Santa María (2)	0,00584	0,00140	0,00135
	Santa María (1) y Fuerte San Luis (1)	0,00557	0,00195	0,00183
	promedio	0,00571 (0,00019)	0,00167 (0,00039)	0,00159 (0,00034)

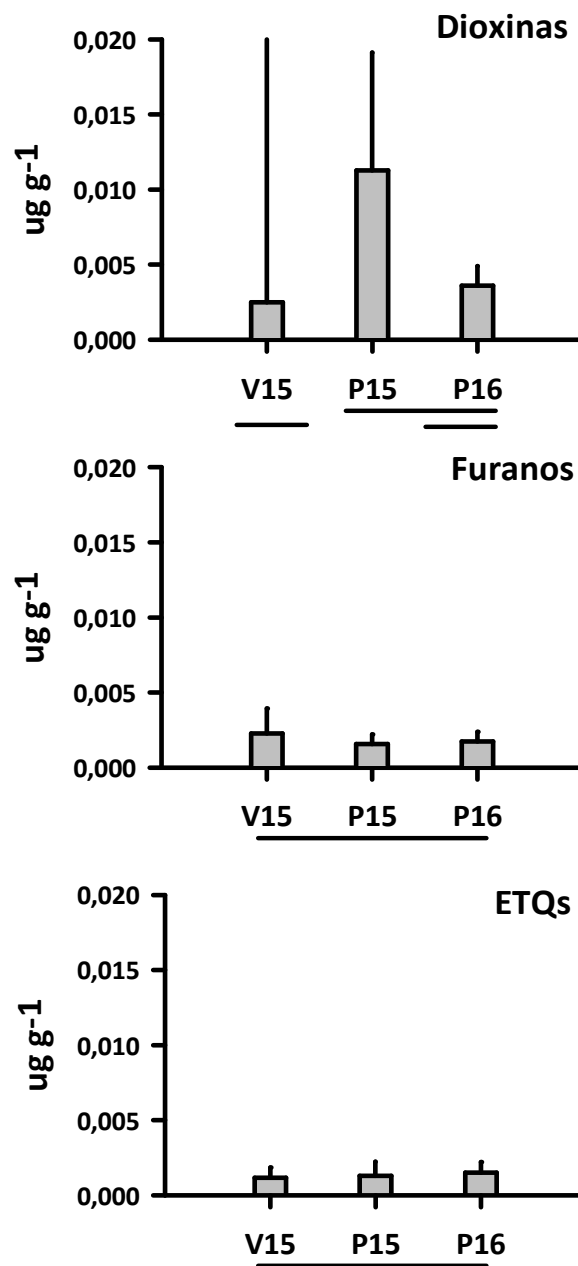


Figura 4.2.7.3.5. Concentración de Dioxinas, Furanos y ETQs en tejidos musculares de *Ardea alba* recolectados durante los años 2015 (verano y primavera; V15 y P15, respectivamente) y 2016 (primavera; P16). Los valores son promedios con una desviación estándar. Las barras horizontales indican campañas que no difieren significativamente entre sí ($p > 0,05$).

Tabla 4.2.7.3.17. Concentraciones de las Dioxinas 2,3,7,8-TCDD y 1,2,3,7,8-PCDD en tejidos de músculo de especímenes de la Garza blanca grande, recolectados durante los años 2015 (verano y primavera) y 2016 (primavera). Los valores en paréntesis son desviaciones estándar (dos lecturas para cada garza).

campaña	sectores de captura	2,3,7,8-TCDD (ng g ⁻¹)	1,2,3,7,8-PCDD (ng g ⁻¹)
verano 2015	Santa Clara (eje central del río Cruces)	0,00040 (0,00000)	0,00080 (0,00000)
	Tres Bocas (eje central del río Cruces)	0,00050 (0,00028)	0,00105 (0,00007)
	Punucapa (eje central del río Cruces)	0,00015 (0,00007)	0,00055 (0,00007)
	Punucapa (eje central del río Cruces)	0,00015 (0,00007)	0,00015 (0,00007)
	promedio	0,00030 (0,00020)	0,00064 (0,00036)
primavera 2015	Santa María (eje central del río Cruces)	0,00020 (0,00028)	0,00040 (0,00056)
	Santa Clara (eje central del río Cruces)	0,00040 (0,00000)	0,00050 (0,00070)
	Tres Bocas (eje central del río Cruces)	0,00020 (0,00000)	0,00020 (0,00028)
	río Pichoy (río tributario del HRC)	0,00075 (0,00007)	0,00145 (0,00021)
	promedio	0,00039 (0,00026)	0,00064 (0,00063)
primavera 2016	Santa María (eje central del río Cruces)	0,00078 (0,00001)	0,00096 (0,00021)
	Santa María (eje central del río Cruces)	0,00005	0,00018
	Santa María (eje central del río Cruces)	0,00009	0,00077
	Fuerte San Luis (eje central del río Cruces)	0,00050 (0,00002)	0,00086 (0,00001)
	promedio	0,00045 (0,00032)	0,00077 (0,00031)

Tabla 4.2.7.3.18. Concentraciones de las Dioxinas 2,3,7,8-TCDD y 1,2,3,7,8-PCDD en tejidos de hígado de especímenes de Garza blanca grande, recolectados durante primavera del año 2016. Los valores en paréntesis son desviaciones estándar.

campaña	sectores de captura	2,3,7,8-TCDD (ng g⁻¹)	1,2,3,7,8-PCDD (ng g⁻¹)
diciembre 2016	Santa María (2)	0,00031	0,00073
	Santa María (1) y Fuerte San Luis (1)	0,00048	0,00088
	promedio	0,00039 (0,00011)	0,00080 (0,00011)

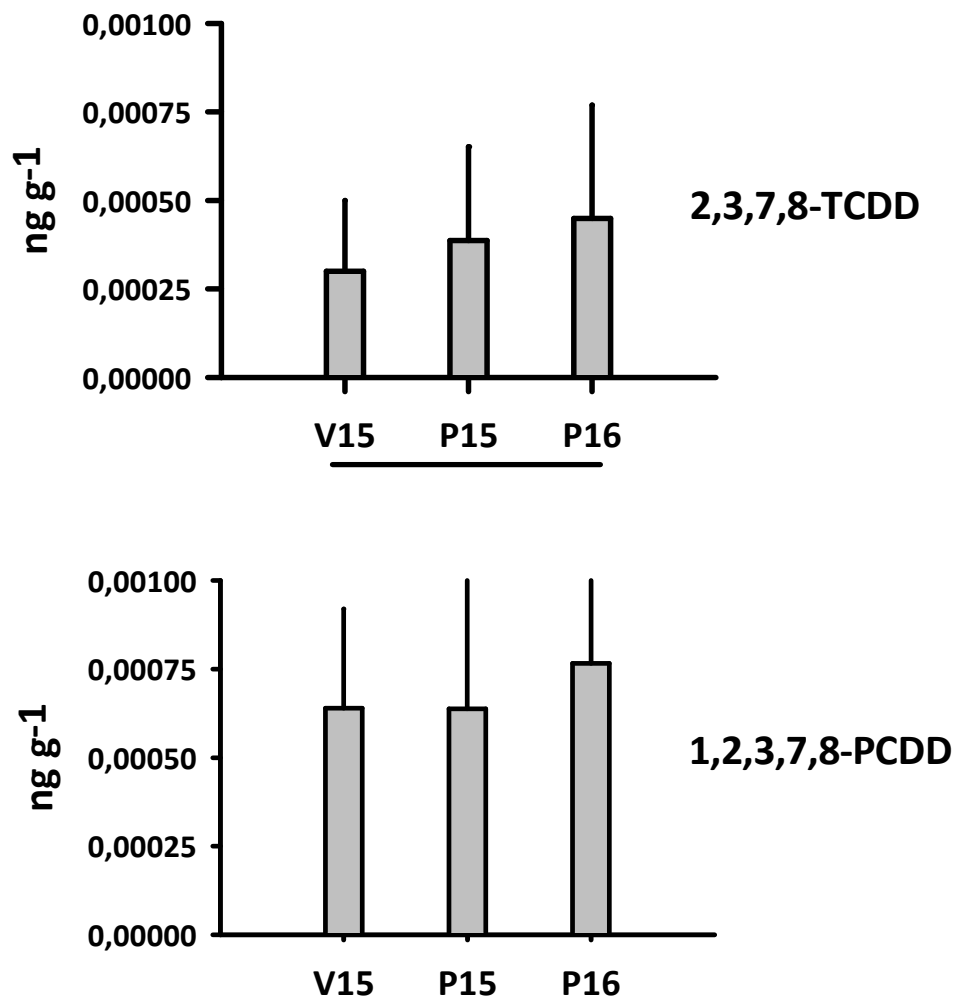


Figura 4.2.7.3.6. Concentraciones de las Dioxinas 2,3,7,8-TCDD y 1,2,3,7,8-PCDD en tejidos musculares de la Garza blanca grande, recolectados durante los años 2015 (verano y primavera; V15 y P16, respectivamente) y 2016 (primavera; P16). Los valores son promedios con una desviación estándar. Las barras horizontales indican campañas que no difieren significativamente entre sí ($p > 0,05$).

4.2.7.3.5. Conclusiones

- En general, las concentraciones de metales pesados en tejidos de la Garza Blanca grande, estudiados durante el verano y la primavera del año 2015 y la primavera del año 2016, han sido más altas en tejidos hepáticos que en tejidos musculares.
- No se ha detectado Aluminio y Arsénico en ninguno de los tejidos hasta ahora analizados, a la vez que el Manganeso no se ha detectado en tejidos musculares. El Cadmio solo se ha detectado en los tejidos hepáticos analizados durante el verano del año 2015.
- Las concentraciones de Cobre fueron significativamente más altas ($p < 0,05$) en tejidos hepáticos analizados durante la primavera del año 2016, a la vez que las de Zinc fueron significativamente más bajas ($p < 0,05$) en tejidos musculares estudiados durante la misma primavera. Las concentraciones de Mercurio fueron significativamente más bajas ($p < 0,05$) en tejidos hepáticos analizados durante el verano 2015 y significativamente más altas ($p < 0,05$) en tejidos musculares estudiados durante la primavera del año 2015 *versus* las analizados durante el verano del mismo año (Tabla 4.2.7.3.11 y Fig. 4.2.7.3.2).
- Las concentraciones de Ácidos grasos en las garzas estudiadas han sido más altas en tejidos hepáticos que en musculares y con valores significativamente ($p < 0,05$) más altos durante la primavera del año 2015.
- Hasta ahora no se han detectado Ácidos resínicos en los tejidos analizados.
- Las concentraciones de AOX en los tejidos hepáticos examinados en las garzas capturadas durante la primavera del año 2015, fueron más altas que las medidas durante el verano del mismo año y la primavera del año 2016; en contraste, las concentraciones de AOX medidas en tejidos musculares han sido similares.
- Las concentraciones promedio de Dioxinas en tejidos musculares de la Garza blanca grande fueron más altas durante la primavera del año 2015. No se han detectado diferencias significativas ($p > 0,05$) al comparar los valores de Furanos y Equivalentes tóxicos en los tejidos musculares hasta ahora analizados durante los años 2015 y 2016.

- Durante las tres campañas hasta ahora realizadas (verano y primavera del año 2015 y primavera del año 2016), se ha detectado en los tejidos musculares analizados, la presencia de las Dioxinas 2,3,7,8-TCDD y 1,2,3,7,8-PCDD; sin embargo, no se han detectado diferencias significativas ($p > 0,05$) entre campañas.

4.2.8. MAMÍFEROS ACUÁTICOS

4.2.8.1. Antecedentes

La presencia o ausencia de mamíferos acuáticos en humedales, ha sido utilizada para describir el estado de salud ambiental de estos ecosistemas acuáticos; es decir, estos vertebrados pueden ser utilizados como bioindicadores de calidad ambiental, como es el caso del Huillín en las riberas del humedal del río Cruces (Oporto, 2006, 2009). Por otra parte, mamíferos como el Coipo han sido mencionados como controladores de la composición vegetal en humedales, reduciendo la propagación de plantas acuáticas emergentes y/o natantes (Crooks, 2002; Carter & Leonard, 2002; Guichón, 2003). En lo que compete a la presencia de especies invasoras en humedales chilenos, como es el caso del Visón, este afectaría negativamente las poblaciones de especies nativas a tal punto que son consideradas la segunda mayor causa de extinciones de especies después de la pérdida de hábitat (Wilcove *et al.*, 1998; Crego & Jiménez, 2013), lo que pone en riesgo la conservación de la biodiversidad local.

En este Capítulo se entrega información obtenida a partir de censos realizados a lo largo de las riberas del humedal del río Cruces (HRC), sus ríos tributarios y parte de los ríos Calle Calle y Valdivia, durante el segundo año del Programa de Monitoreo Ambiental del HRC (abril 2016 - marzo 2017). También se comparan estos resultados con los resultados obtenidos durante el primer año del monitoreo (abril 2015 - marzo 2016) y el Programa de Diagnóstico Ambiental del HRC.

4.2.8.2. Objetivos

- Estudiar la presencia de coipos (*Myocastor coypus*), huillines (*Lontra provocax*) y visones (*Neovison vison*), en las riberas del HRC y partes de los ríos Calle Calle y Valdivia durante el segundo año del Programa de Monitoreo Ambiental del humedal (abril 2016 - marzo 2017).

- Comparar los resultados obtenidos durante el segundo año del Programa de Monitoreo, con aquellos resultantes del primer año del mismo (abril 2015 - marzo 2016) y del Programa de Diagnóstico Ambiental del HRC (abril 2014 - marzo 2015).

4.2.8.3. Material y métodos

La Tabla 4.2.8.1 muestra las fechas durante las cuales se realizaron salidas a terreno, para eventuales avistamientos de coipos, huillines y visones en las riberas del área de estudio (Fig.4.2.8.1).

Tabla 4.2.8.1. Fechas de salidas a terreno para la realización de eventuales avistamientos de coipos, huillines y visones, durante el desarrollo del Programa de Monitoreo (primer y segundo año) y Diagnóstico Ambiental del HRC.

Programa	período	fechas para salidas de avistamientos
segundo año Monitoreo Ambiental del HRC	abril 2016 - marzo 2017	28 - 30 abril 2016 13 - 15 julio 2016 28 - 30 noviembre 2016 25 - 27 enero 2017
primer año Monitoreo Ambiental del HRC	abril 2015 - marzo 2016	28 - 30 septiembre 2015 28 - 30 noviembre 2015 27 - 29 enero 2016
Diagnóstico Ambiental del HRC	abril 2014 - marzo 2015	15 - 17 enero 2015

La Figura 4.2.8.1 muestra los sectores de muestreo, para determinar y evaluar la presencia de coipos, huillines y visones en el área de estudio. En cada uno de los mismos se revisaron secciones lineares o transectos ordenados visualmente a lo largo de las riberas y cuyas longitudes aproximadas fueron de 500 m.

Los puntos iniciales y finales de cada sección linear se georreferenciaron en coordenadas UTM (huso WGS-84) con un GPS (Global Position System) GARMIN 60CSx. Se anotó la presencia de estos mamíferos acuáticos, los que fueron observados desde un bote Zodiac.

Durante las actividades de terreno relacionadas con los dos primeros años del Programa de Monitoreo Ambiental y con el Programa de Diagnóstico Ambiental del HRC, se registró todo avistamiento directo de coipos, huillines y visones en el área de estudio, así como también la actividad biológica de los mismos (*e.g.* huellas, madrigueras, fecas, comederos, etc.).

Todos estos datos, han sido incluidos en la Tabla 4.2.8.3 y representan antecedentes complementarios a los avistamientos a lo largo de las riberas del área de estudio. Tales avistamientos y registros se georreferenciaron en coordenadas UTM (huso WGS-84) con un GPS (*Global Position System*) GARMIN modelo 60CSx. Tales actividades fueron realizadas por las mismas personas; es decir, no hubo diferencias de experticia durante la obtención de tales observaciones y datos.

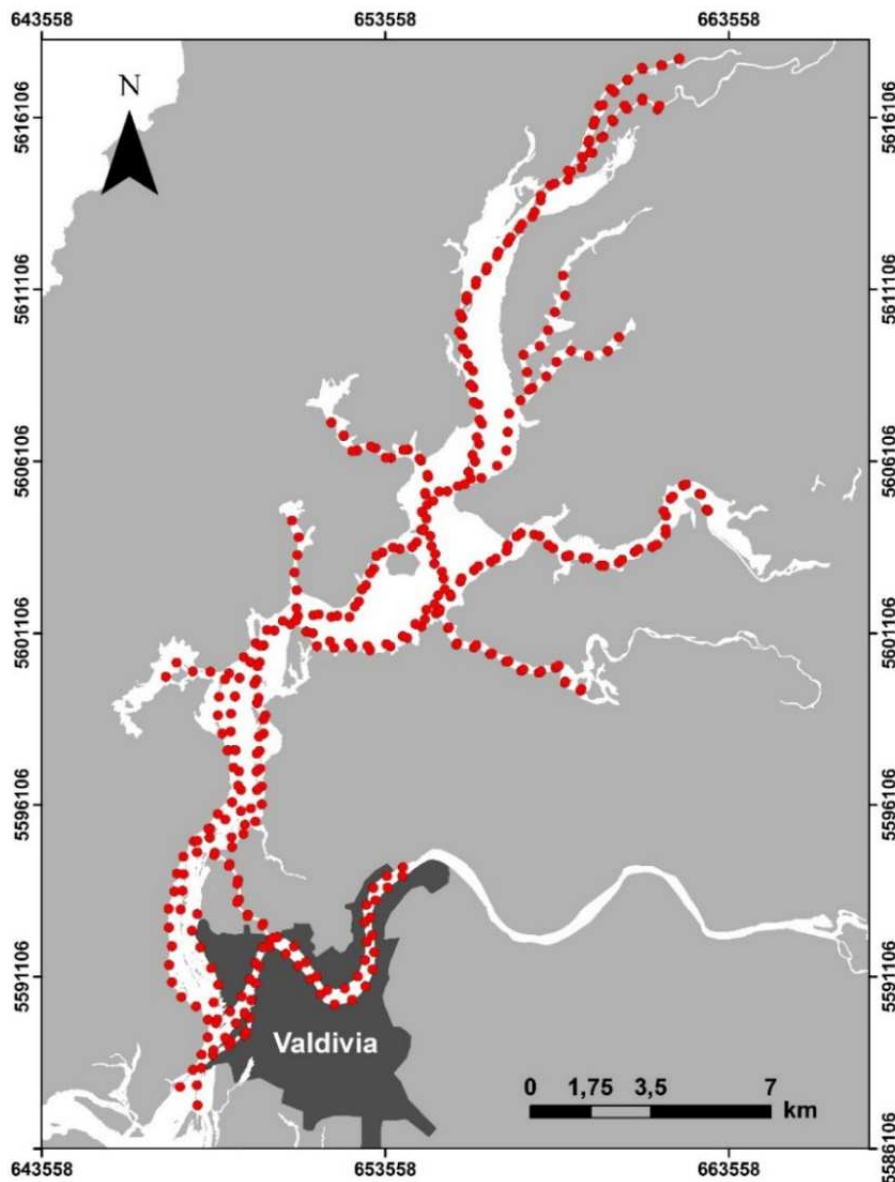


Figura 4.2.8.1. Esquema con líneas punteadas en rojo señalando el recorrido de navegación seguido para el eventual avistamiento de coipos, huillines y visones en el HRC.

4.2.8.4. Resultados

La Tabla 4.2.8.2 y Figura 4.2.8.2, muestran el número de avistamientos directos de mamíferos acuáticos durante el desarrollo de la totalidad de recorridos realizados durante el transcurso de los dos primeros años del Programa de Monitoreo del HRC y del Programa de Diagnóstico Ambiental del HRC.

Tabla 4.2.8.2. Avistamientos exitosos de mamíferos acuáticos el área de estudio, durante los dos primeros años del Programa de Monitoreo y durante el Programa de Diagnóstico Ambiental del HRC.

Programas y campañas	especie avistada	localización del sector de avistamiento
segundo año Programa de Monitoreo (abril 2016 - marzo 2017)		
28 - 30 abril 2016	2 Coipos	uno en totorales cercanos a desembocadura del río Pichoy (hacia sector Plaza de Armas) y otro en totorales río San José, frente a Cuyinhue
	1 Huillín	en río Cruces, frente a Fundo San Martín
13 - 15 julio 2016	1 Coipo	en totorales ubicados entre las desembocaduras de los ríos Pichoy y Cayumapu
	2 Huillínes	uno en canal mareal Cau Cau, frente a Facultad de Medicina UACH y otro en río Pichoy, aguas abajo del puente Pichoy
	1 Visón	en río Cruces, frente a Fundo San Martín
28 - 30 noviembre 2016	1 Visón	En río Cruces, aguas abajo del Fuerte San Luis
primer año Programa de Monitoreo (abril 2015 - marzo 2016)		
28 - 30 septiembre 2015	1 Coipo	en totorales del río Cayumapu, aguas abajo del sector la isla
	1 Huillín	en río Nanihue, aguas arriba de la confluencia de este con río Cudico
	2 Visones	uno en río Calle Calle, aguas arriba playa Collico y otro en el mismo río, pero aguas arriba puente Santa Elvira
28 - 30 noviembre 2015	1 Coipo	en totorales río Cruces, sector Plaza de Armas
27 - 29 enero 2016	1 Coipo	en totorales río Cruces, cerca de Isla Rialejo

Los avistamientos realizados dentro de las cuatro campañas del segundo año del Programa de Monitoreo (abril, julio y noviembre del año 2016 y enero del año 2017), detectaron la ocurrencia de coipos, huillines y visones en el área de estudio (Fig. 4.2.8.2).

Durante el año 2016, julio fue el mes con mayor número de avistamientos exitosos y presencia simultánea de las tres especies objeto de estudio; durante enero del año 2017 no se realizaron avistamientos exitosos dentro del área de estudio (Figura 4.2.8.2). La mayor parte de los avistamientos exitosos de mamíferos acuáticos durante este segundo año del Programa de Monitoreo, ocurrió aguas arriba del sector Punucapa (Tabla 4.2.8.2).

Durante el primer año del Programa de Monitoreo (septiembre y noviembre del año 2015 y enero del año 2016), el número de avistamientos exitosos fue en general menor con co - ocurrencia de coipos, huillines y visones en el mes de septiembre del año 2015 (Fig. 4.2.8.2). Con excepción del Huillín avistado en el área del canal mareal Cau - Cau durante septiembre, todos los avistamientos ocurrieron en la zona superior del HRC (Tabla 4.2.8.2).

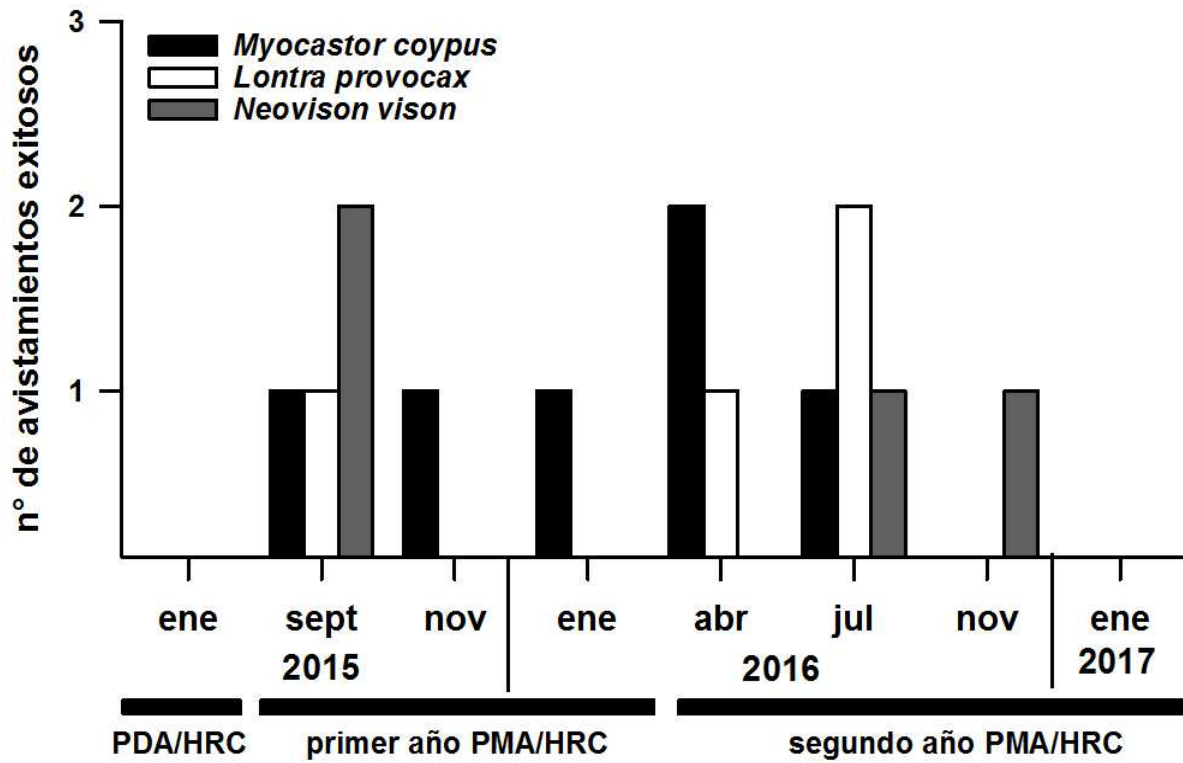


Figura 4.2.8.2. Número de avistamientos de Coipo (*Myocastor coypus*), Huillín (*Lontra provocax*) y Visón (*Neovison vison*), realizados durante los recorridos planificados como parte de las actividades del primer y segundo año del Programa de Monitoreo (PMA / HRC) y del Programa de Diagnóstico Ambiental del HRC (PDA / HRC).

Tabla 4.2.8.2. Avistamientos exitosos de mamíferos acuáticos el área de estudio, durante los dos primeros años del Programa de Monitoreo y durante el Programa de Diagnóstico Ambiental del HRC.

Programas y campañas	especie avistada	localización del sector de avistamiento
segundo año Programa de Monitoreo (abril 2016 - marzo 2017)		
28 - 30 abril 2016	2 Coipos	uno en totorales cercanos a desembocadura del río Pichoy (hacia sector Plaza de Armas) y otro en totorales río San José, frente a Cuyinhue
	1 Huillín	en río Cruces, frente a Fundo San Martín
13 - 15 julio 2016	1 Coipo	en totorales ubicados entre las desembocaduras de los ríos Pichoy y Cayumapu
	2 Huillínes	uno en canal mareal Cau Cau, frente a Facultad de Medicina UACH y otro en río Pichoy, aguas abajo del puente Pichoy
	1 Visón	en río Cruces, frente a Fundo San Martín
28 - 30 noviembre 2016	1 Visón	En río Cruces, aguas abajo del Fuerte San Luis
primer año Programa de Monitoreo (abril 2015 - marzo 2016)		
28 - 30 septiembre 2015	1 Coipo	en totorales del río Cayumapu, aguas abajo del sector la isla
	1 Huillín	en río Nanihue, aguas arriba de la confluencia de este con río Cudico
	2 Visones	uno en río Calle Calle, aguas arriba playa Collico y otro en el mismo río, pero aguas arriba puente Santa Elvira
28 - 30 noviembre 2015	1 Coipo	en totorales río Cruces, sector Plaza de Armas
27 - 29 enero 2016	1 Coipo	en totorales río Cruces, cerca de Isla Rialejo

El hecho de que durante enero de los años 2016 (parte del Programa de Diagnóstico Ambiental del HRC) y 2017, no se avistara ninguno de estos mamíferos acuáticos (Fig. 4.2.8.2), está probablemente relacionado a la actividad estival humana propia del área, lo cual se traduce en el aumento del tráfico de embarcaciones menores en el humedal, tanto de turismo como particulares.

Por otra parte, el escaso número de avistamientos exitosos de visones en el HRC, podría estar relacionado al efecto de las actividades de remoción de los mismos mediante trampeo (ver Fig. 4.2.8.3), actividades realizadas por la Corporación Nacional Forestal (CONAF) con apoyo del Servicio Agrícola Ganadero (SAG) desde mediados del año 2014; las mismas se han ido intensificando en el tiempo con la ejecución de nuevos programas como el Proyecto FNDR Control Comunitario del Visón (SAG) lo que se traduce en la adquisición de un número mayor de trampas, aumentando los sectores de captura y la frecuencia de las mismas lo que se observa claramente en la Figura 4.2.8.3, la que muestra el bajo número de avistamientos exitosos realizados en este estudio y el alto número de visones capturados en trampas en diferentes partes del área de estudio (fuentes: CONAF y SAG).

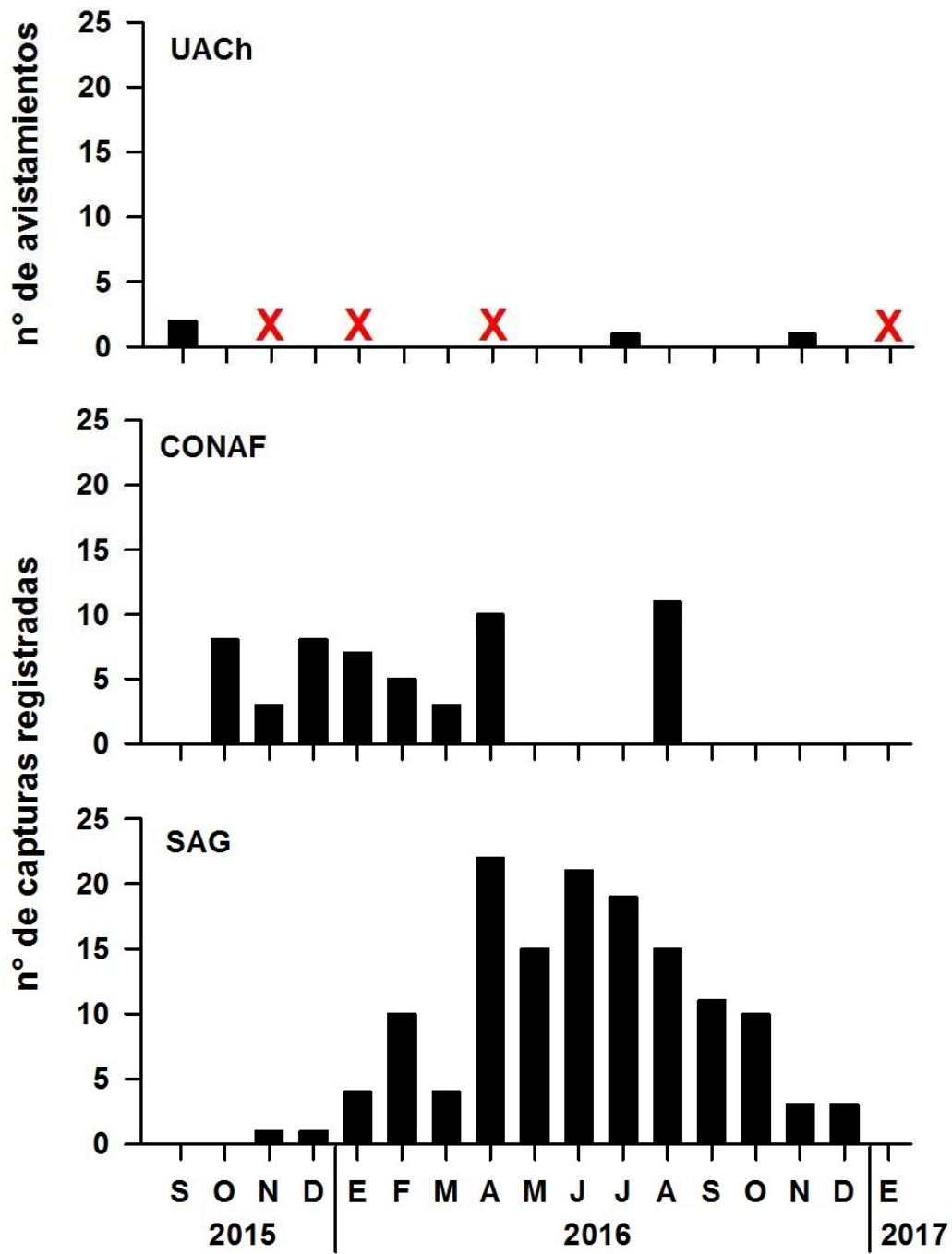


Figura 4.2.8.3. Número de avistamientos exitosos (barras negras) y fallidos (X rojas) de visiones en el HRC (fuente: UACH) y número de capturas

de estos mamíferos acuáticos en el área de estudio (fuentes: CONAF y SAG).

La Tabla 4.2.8.3 resume la totalidad de avistamientos y registros de signos biológicos de presencia de mamíferos acuáticos durante el desarrollo de las actividades de

terreno del Programa de Diagnóstico Ambiental y de los dos primeros años del Programa de Monitoreo Ambiental del HRC.

En general, la mayor parte de los avistamientos exitosos de Coipos y Huillines han ocurrido en áreas del HRC más alejadas de la zona urbana y la actividad turística local; es decir aguas arriba de la localidad de Punucapa. Por el contrario, los avistamientos exitosos de visones no muestran mayor tendencia espacial de ocurrencia (Tablas 4.2.8.2 y 4.2.8.3).

Tabla 4.2.8.3. Registros de avistamientos y signos de presencia de Copio (*Myocastor coypus*), Huillín (*Lontra provocax*) y Visón (*Neovison vison*, (Coipo) en el área del HRC, sus ríos tributarios y los ríos Calle Calle y Valdivia, durante el desarrollo del Programa de Diagnóstico Ambiental del HRC (abril 2014 - marzo 2015) y los dos primeros años del Programa de Monitoreo Ambiental del HRC (abril 20015 - marzo 2016 y abril 2016 - marzo 2017).

Programa de Diagnóstico Ambiental del HRC (abril 2014 – marzo 2015).							
sector	fecha	coordenadas		Especies			observaciones
		X	Y	Coipo	Huillín	Visón	
río Cruces, sector Ciruelos	07/04/14	687860	5622468		X		fecas frescas
río Cruces, San Luis	14/04/14	658770	5614409			X	fecas frescas
canal mareal Cau Cau	09/04/14	650214	5592490			X	muelle, marina Jesús Brieva
río Cruces/Cau- Cau	09/04/14	647779	5594774		X		letrinas en buen estado y frescas
río Pichoy	11/04/14	662677	5605173		X		letrinas en buen estado y frescas
río Cruces, sector La Dehesa.	20/04/14	650059	5598753				fecas frescas
río Cruces, sector Punucapa	29/05/14	649098	5596161		X		un individuo en el agua
río Cruces, sector Punucapa	15/07/14	648710	5595837		X		un individuo en el agua
río Cruces, sector Punucapa	16/09/14	648959	5597732		X		un individuo en el agua
río Cruces, sector Punucapa	16/09/14	648973	5597704			X	fecas frescas
río Cruces, sector Punucapa	16/09/14	649027	5597548		X		fecas frescas y antiguas
río Cruces, sector Rucaco	04/10/14	680173	5620035			X	fecas y huellas
río San Ramón	28/10/14	648431	5599994			X	fecas frescas
río cruces, sector San Ramón	28/10/14	649415	5600396			X	fecas frescas
río Cayumapu	04/11/14	655423	5601330			X	fecas frescas
río Cayumapu	05/11/14	659018	5600192	X			Individuo capturado en trampa
río Pichoy	13/11/14	659654	5603185			X	fecas frescas
Fuerte San Luis	19/11/14	659386	5614643	X			comederos y madrigueras
río Cruces, sector Plaza de Armas	19/11/14	656221	5605814	X			comederos frescos.
río Cruces, sector Isla Rialejo	19/11/14	654277	5603803	X			comederos y madrigueras
río cruces, sector Isla Rialejo	19/11/14	654551	5602891	X			comederos frescos
río cruces, sector Isla Rialejo	19/11/14	653565	5602457	X			comederos y madrigueras
Río Tambillo	02/12/14	650961	5603343			X	fecas frescas

San Martín	10/12/14	655776	5609604		X	un individuo en el agua
San Martín	10/12/14	655764	5610122		X	un individuo en el agua
sector tres Bocas, río Tambillo	14/12/14	651020	5602212	X		un individuo entre totoras

Continuación **Tabla 4.2.8.3.**

Primer año del Programa de Monitoreo Ambiental del HRC (abril 2015 - marzo 2016).							
sector	fecha	coordenadas		Especies			observaciones
		X	Y	Coipo	Huillín	visión	
río Cruces, sector Carriquilda	08/04/15	667373	5620511		X		un individuo en el agua
canal mareal Cau Cau	15/04/15	650214	5592490			X	muelle, marina Jesús Brieva
canal mareal Cau Cau, sector baliza ARMADA de Chile	21/04/15	648635	5594726			X	fecas y huellas frescas, playa de arena
río Cruces, sector Isla Teja	21/04/15	647772	5594769		X		letrinas en buen estado y frescas
río Cruces, sector Península de San Ramón	22/04/15	649516	5600512			X	fecas frescas
río Cruces, sector Punucapa (baliza)	13/05/15	649068	5597518		X		un individuo en el agua
río Cayumapu, sector interior.	13/05/15	658010	5599957	X			un individuo en el agua
río Cruces, sector San Martín	29/09/15	656084	5608684		X		un individuo en el agua
río Cayumapu, sector interior	29/09/15	658233	5600086	X			un individuo en el agua
río Calle Calle, sector urbano	28/09/15	653161	5592448			X	un individuo alimentándose
río Calle Calle, sector urbano	28/09/15	654120	5594318			X	un individuo corriendo por la ribera
río Cruces sector Plaza de Armas	19/11/15	655551	5605284	X			un individuo en el agua
río Nanihue, sector interior	19/11/15	658460	5610224		X		un individuo en el agua
río Tambillo, sector interior	07/01/16	650811	5602606			X	un individuo en el agua
río Cruces sector Isla Rialejo	19/01/16	653200	5602981	X			un individuo en el agua

Segundo año del Programa de Monitoreo Ambiental del HRC (abril 2016 - marzo 2017).

sector	fecha	coordenadas		Especies			observaciones
		X	Y	Coipo	Huillín	visón	
río Calle Calle, sector quita calzón	01/04/16	655360	5594723			X	un individuo corriendo por la ribera
río Cruces, sector planicies Punucapa	01/04/16	649246	5596441		X		un individuo en el agua
río San Ramón, sector muelle	01/04/16	648443	5600007			X	fecas frescas
río Cruces, sector península de San Ramón	01/04/16	649436	5600438			X	fecas frescas
río Cruces, sector Isla Teja	18/04/16	647595	5594501		X		letrinas frescas
canal mareal Cau Cau, sector baliza ARMADA de Chile	25/04/16	648670	5594734			X	fecas y huellas frescas, playa de arena
río Cruces, sector Carriquilda	05/05/16	667372	5620523		X		un individuo en el agua
río Cruces, sector planicies Punucapa	10/05/16	648559	5595558		X		un individuo en el agua
río Cruces, sector baliza Punucapa	01/06/06	649047	5597550		X		fecas frescas
río Cruces, sector totoral Punucapa	01/06/16	649316	5597530	X			un individuo en el agua
río Calle Calle, sector urbano Collico	21/07/16	653195	5592294			X	un individuo en muelle viejo
canal mareal Cau Cau, entrada marina	21/07/16	650149	5592393		X		un individuo en el agua
canal mareal Cau Cau, interior marina	21/07/16	650214	5592484			X	un individuo en el muelle
río Cruces, muelle La Dehesa	21/07/16	650081	5598745			X	fecas frescas
entrada río Pichoy	21/07/16	655916	5602715	X			un individuo en el agua
río Cruces, sector Santa María	21/07/16	656068	5608770		X		un individuo en el agua
río Cruces, sector planicie San Luis	21/07/16	658031	5613389	X			huellas y comederos frescos
río Cruces, sector Isla Rialejo	09/11/16	653146	5602827	X			un individuo en el agua
río Cruces, sector totoral Isla Rialejo	09/11/16	654155	5602558	X			comederos
salida río Cayumapu hacia río Pichoy	09/11/16	655409	5602081	X			un individuo en el agua
río Cruces, sector San Martín	09/11/16	655754	5609785		X		un individuo en el agua
río San José	09/11/16	660726	5617327	X			un individuo en el agua
río Cruces, muelle viejo	09/11/16	656032	5608692			X	fecas frescas
sector Santa María							
canal mareal Cau Cau, entrada marina	29/12/16	650113	5592413			X	un individuo en el agua
entre desembocaduras río Cayumapu y Pichoy	29/12/16	655517	5602208		X		un individuo en el agua
sector plaza de armas, entrada río Pichoy	24/01/17	656951	5603404	X			Individuo comiendo sector totoras
cerca sector planicie Fuerte San Luis	24/01/17	657888	5613225			X	un individuo en el agua

4.2.8.5. Conclusiones

- La mayor parte de los avistamientos exitosos de coipos y huillines ha sido en la parte media y superior del HRC y sus ríos tributarios; *i.e.*, aguas arriba del sector Punucapa.
- En contraste a lo anterior, los avistamientos exitosos de visones no muestran mayor tendencia espacial de ocurrencia.
- Destaca la frecuencia de avistamientos no exitosos de mamíferos acuáticos durante los meses de enero, situación que puede estar relacionada a la expansión que ocurre hacia el interior del humedal durante el período estival por parte de las actividades turísticas.
- La baja frecuencia de avistamientos exitosos de visones durante la primavera del año 2015 y el año 2016, podría estar relacionada a la remoción de estos mamíferos desde el HRC, debido a las actividades de trampeo llevadas a cabo o supervisadas por CONAF y el SAG en el área.

4.2.8.6. Referencias

- Carter, J & B. Leonard. 2002. A review of the literature on the worldwide distribution, spread of, and efforts to eradicate the coypu (*Myocastor coypus*). *Wildlife Society Bulletin*, 30:162-175.
- Crooks, J. 2002. Characterizing ecosystem-level consequences of biological invasions: the role of ecosystem engineers. *OIKOS* 97: 153–166.
- Crego, R. & Jimenez J. 2013. Informe sobre estudio piloto de aspectos ecológicos del visón Americano (*Neovison vison*) exótico en isla Navarino, Chile. 50 pp.
- Guichón, M. 2003. Tesis Doctoral: Distribución espacial, comportamiento y estructura de poblaciones del coipo *Myocastor coypus* en la cuenca del Río Luján (Buenos Aires, Argentina). www.digital.bl.fcen.uba.ar.
- Oporto, J. 2006. Prospección del Huillín (*Lontra provocax*) en la zona media del río Cruces, Provincia de Valdivia. Corporación Terra Australis. 2006. 31 pp.

Oporto, J. 2009. Monitoreo del Huillín (*Lontra provocax*) y su hábitat en la zona de influencia de la planta Valdivia de Celulosa Arauco y Constitución, Región de los Ríos. 70 pp.

Wilcove, D.S., D. Rothstein, J. Dubow, A. Phillips & E. Losos. 1998. Threats to imperiled quantifying species in the United States. *BioScience* 48: 607–615.

4.3. ANALISIS COMPARATIVOS DE DATOS OBTENIDOS EN PROGRAMAS DE DIAGNOSTICO Y MONITOREO CON ESTUDIOS PREVIOS DE RIESGO ECOLOGICO

4.3.1. Antecedentes

Con el objeto de realizar predicciones y evaluar tempranamente las condiciones del ecosistema del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios (HRC), el Comité Científico y Social sugirió considerar dentro del diseño final del Programa de Diagnóstico Ambiental del HRC y sus ríos tributarios (2014), una metodología que incluyera la evaluación del riesgo ecológico local.

Durante el desarrollo del Programa de Diagnóstico Ambiental del HRC, se contrastaron los resultados obtenidos de los estudios de calidad de agua realizados durante el mismo, con los datos referenciales señalados en los estudios de Riesgo Ecológico realizados por Encina *et al.* (2011) - dentro de la misma área estudiada - aplicando una aproximación teórica utilizando los valores “end point” ecotoxicológicos de bioensayos agudos realizados con Hierro, Aluminio y Manganeso para especies representativas en el HRC (Encina *et al.*, 2009).

En este contexto y con el objetivo de evaluar las condiciones químicas del agua superficial del área de estudio en cuanto a las concentraciones de los metales disueltos encontrados en mayor proporción (Hierro, Aluminio y Manganeso), se realizaron análisis comparativos entre las concentraciones obtenidos durante el Programa de Diagnóstico (abril, mayo y julio 2014) y durante los dos primeros años del Programa de Monitoreo del

HRC (abril y julio de los años 2015 y 2016, respectivamente), con las estudiadas por Encina *et al.* (2011), en sus estudios de riesgo ecológico utilizando especies locales de relevancia ecológica dentro de este mismo sistema (Encina *et al.*, 2009).

4.3.2. Objetivos

- Realizar una comparación entre las concentraciones de Hierro, Aluminio y Manganeso disueltos en aguas superficiales registradas dentro del Programa de Diagnóstico (abril, mayo y julio 2014) con aquellos obtenidos durante los dos primeros años del Programa de Monitoreo Ambiental del HRC (abril y julio 2015 y 2016, respectivamente), con las concentraciones de efectos no observados (NOEC) obtenidas para siete especies locales de importancia ecológica (Encina *et al.*, 2011).

- Evaluar el Riesgo Ecológico Potencial de las siete especies locales utilizadas, en base a los resultados derivados de los análisis de las comparaciones contempladas en el objetivo anterior.

4.3.3. Material y métodos

Basados en los resultados obtenidos por el estudio realizado por Encina *et al.* (2011), cuyo segundo objetivo general fue “determinar los niveles de sensibilidad crónica (efectos subletales) a determinados xenobióticos (Hierro, Aluminio y Manganeso disueltos) sobre siete especies locales de mayor relevancia ecológica” del HRC, se utilizaron los valores de NOEC (“No Observed Effect Concentration”) para evaluar y comparar las concentraciones de tres metales objeto de estudio dentro de los capítulos de calidad de agua y sedimentos, tanto del Programa de Diagnóstico (2014) como de los dos primeros años del Programa de Monitoreo Ambiental del HRC (2015 y 2016).

El fundamento teórico de la estimación de estos valores de protección ecológica, contempla la exposición de una concentración alta que no causa efecto (*e.g.* mortalidad,

alteraciones reproductivas, cambios en comportamientos, alimentación, etc.) en la población estudiada al ser comparada con un efecto control (NOEC) de manera experimental. Por lo general, estos valores son usados con frecuencia como un indicador general de la toxicidad aguda de alguna sustancia específica presente en el medio acuático (Newman & Unger, 2003).

Teniendo en cuenta estos valores de concentraciones, se trabajó en base a un esquema conceptual, representado por un gráfico X-Y, donde el eje "X" incluye las concentraciones de un elemento determinado en el medio (*e.g.*, Hierro, Aluminio y Manganese disueltos) y el eje "Y" representa el riesgo ecológico potencial de ese elemento al sistema o especie modelo objetivo (Fig. 4.3.1).

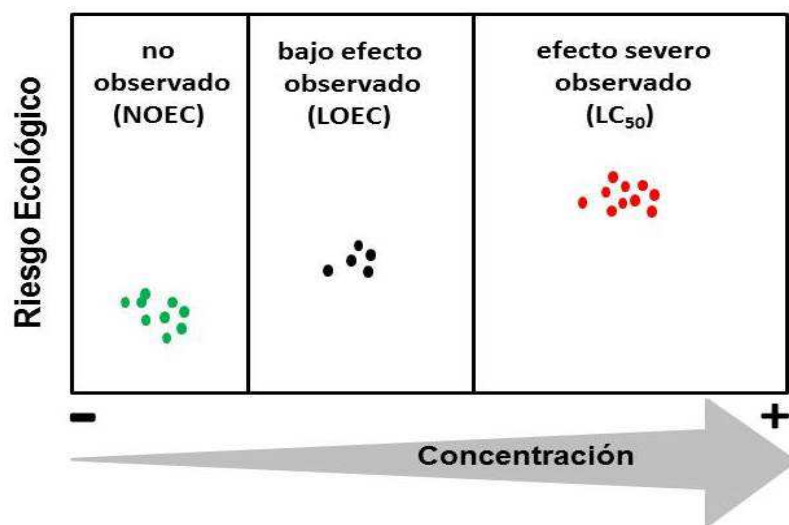


Figura 4.3.1. Esquema conceptual para evaluar los valores de las concentraciones de Hierro, Aluminio y Manganese disueltos obtenidos por Encina *et al.* (2011), *versus* los valores de las concentraciones de estos parámetros registrados en las estaciones establecidas en el Programa de Diagnóstico y Monitoreo del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios. NOEC: No Observed Effect Concentration; LOEC: Lowest Observed Effect Concentration y LC₅₀: Median Lethal Concentration.

En base a este esquema conceptual de evaluación y los valores de las concentraciones recopilados de los bioensayos toxicológicos realizados por Encina (Tabla 4.3.1) y de los análisis de metales pesados llevados a cabo en las ocho estaciones de muestreo del Programa de Monitoreo y sus equivalentes del Programa de Diagnóstico Ambiental del HRC (Tabla 4.3.2 a la 4.3.4), la metodología final utilizada para la comparación es la siguiente:

- Mediante un programa de diseño de gráficos (SigmaPlot 11.0), se confeccionaron gráficos “X-Y”, donde en el eje “X” se representan las ocho estaciones utilizadas en el Programa de Monitoreo del HRC y en el eje “Y” las concentraciones registradas para Hierro, Aluminio y Manganeso disueltos de la totalidad de las campañas realizadas en el periodo comprendido entre los años 2014 y 2016 (Fig. 4.3.2 a 4.3.4).
- Una vez confeccionados los gráficos anteriores, se marcó mediante una línea paralela al eje “X” los valores NOEC para cada una de los siete taxa utilizados en los bioensayos de toxicología realizados por Encina *et al.* (2011) (Fig. 4.3.2 a 4.3.4).
- Posteriormente, se evaluó la proximidad de los valores de las concentraciones de Hierro, Aluminio y Manganeso disueltos obtenidas en el agua superficial de las ocho estaciones del área de estudio del Programa de Monitoreo a la línea referencial representada por los valores NOEC obtenidos por Encina *et al.* (2011). Esto permitió establecer el Riesgo Ecológico Potencial (REP) estimado para cada una de los taxa utilizados en este análisis, según las concentraciones registradas durante los años 2014, 2015 y 2016.

4.3.4. Resultados

Ya aclarados y corregidos los errores en los valores correspondientes a las concentraciones de Hierro, Aluminio y Manganeso disueltos, obtenidas de los bioensayos de toxicidad del rotífero del género *Brachionus*, utilizado en los estudios de Encina *et al.*

(2011) (ver Capítulo 4.3 del Informe Anual correspondiente al período abril 2015 - marzo 2016 del Programa Ambiental Actualizado del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios PM/HRC), se presentan a continuación los resultados derivados de las comparaciones correspondientes a los datos obtenidos durante el Programa de Diagnóstico del HRC (abril, mayo y julio 2014) con aquellos recolectados durante los dos primeros años del Programa de Monitoreo Ambiental del HRC (abril y julio 2015 y 2016, respectivamente).

Con los nuevos valores corregidos para el NOEC de *Brachionus* sp., esta especie sería la única que presentaría un riesgo potencial en relación a los valores obtenidos para las concentraciones de Hierro, Aluminio y Manganeso disuelto en aguas superficiales del área de estudio, riesgo que se traduciría en un efecto adverso en cuanto a la reproducción de huevos (Fig. 4.3.2 a la 4.3.4). El Hierro y Manganeso presentarían valores que sobrepasan los valores NOEC para esta especie (Fig. 4.3.2 y 4.3.4). En cuanto al Aluminio, este presentaría para el año 2016 una disminución de sus concentraciones las que casi en la totalidad de las estaciones, se encuentran por debajo de los valores NOEC (Fig. 4.3.3).

Tabla 4.3.1. Resumen de las concentraciones ($\mu\text{g/L}$) obtenidas para tres diferentes metales utilizados en Bioensayos de Toxicidad para NOEC y LC_{50} en siete especies locales del humedal del río Cruces. Los datos fueron extraídos de Encina *et al.* (2011).

especies	grupo	metal	NOEC	LC_{50}
Microalga <i>Scenedesmus quadricauda</i>	Fitoplancton	Fe	1200	6300
	Clase Chlorophyceae	Al	4600	9700
		Mn	5200	9400
Microalga del género <i>Chlorella</i>	Fitoplancton	Fe	600	1200
	Clase Chlorophyceae	Al	1500	7200
		Mn	900	1400
Cladóceros del género <i>Simocephalus</i>	Zooplancton	Fe	750	1500
	Clase Branchiopoda	Al	1000	5500
	Orden Cladocera	Mn	2200	7300
Rotíferos del género <i>Brachionus</i>	Zooplancton	Fe	1,3	4,3
	Clase Rotífera	Al	4,8	5,5
		Mn	0,8	1,0
Copépodos del género <i>Mesocyclops</i>	Zooplancton	Fe	600	1800
	Clase Crustacea	Al	800	1600
	Orden Copepoda	Mn	400	800
Insecto de la familia Leptophlebiidae	Macrobentos	Fe	500	4300
	Clase Insecta	Al	800	3000
	Orden Ephemeroptera	Mn	500	7500
Insecto de la familia Chironomidae	Macroinvertebrado	Fe	5500	9100
	Clase Insecta	Al	5500	24700
	Orden Diptera	Mn	5800	36000

Tabla 4.3.2. Concentraciones de Hierro disuelto en el agua superficial de las ocho estaciones del área de estudio correspondiente al Programa de Diagnóstico (abril, mayo y julio 2014) y durante los dos primeros años del Programa de Monitoreo Ambiental del HRC (abril y julio 2015 y 2016, respectivamente). Los valores son promedios con su desviación estándar en paréntesis.

estaciones	Hierro ($\mu\text{g/L}$)				
	año 2014			año 2015	
	abril	mayo	julio	abril	julio
Eje central del río Cruces (sector límnic)					
1 (sector Ciruelos)	111,2 (31,0)	47,2 (5,6)	45,6 (4,3)	138,5 (31,4)	44,8 (19,2)
2 (sector Rucaco)	10,7 (3,7)	47,8 (7,9)	46,6 (12,4)	68,33 (23,0)	45,3 (16,1)
Eje central del río Cruces (sector estuarial)					
3 (sector San Luis)	65,2 (13,6)	46,8 (0,7)	40,0 (6,2)	83,8 (2,2)	64,6 (3,7)
4 (sector Santa Clara)	57,2 (7,4)	100,3 (1,7)	53,9 (12,0)	31,1 (3,2)	64,5 (2,0)
5 (sector Punucapa)	44,0 (2,1)	64,8 (6,7)	52,7 (15,3)	15,5 (2,8)	71,3 (2,1)
Ríos tributarios del río Cruces					
6 (río Pichoy)	117,5 (38,1)	136,1 (53,8)	63,9 (4,9)	103,9 (0,6)	114,7 (1,8)
7 (río Cayumapu)	93,0 (1,2)	112,0 (24,3)	66,5 (1,2)	34,2 (6,1)	100,1 (34,9)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios					
8 (río Calle Calle)	23,7 (0,2)	33,2 (0,0)	23,7 (0,2)	43,5 (2,8)	25,2 (9,9)

Continuación **Tabla 4.3.2**

estaciones	Hierro ($\mu\text{g/L}$)	
	año 2016	
	abril	julio
Eje central del río Cruces (sector límnico)		
1 (sector Ciruelos)	93,7 (2,6)	68,3 (2,6)
2 (sector Rucaco)	20,9 (3,9)	22,2 (0,4)
Eje central del río Cruces (sector estuarial)		
3 (sector Fuerte San Luis)	68,9 (7,1)	39,3 (2,1)
4 (sector Santa Clara)	45,5 (0,9)	37,0 (0,7)
5 (sector Punucapa)	15,7 (0,3)	15,4 (0,3)
Ríos tributarios del río Cruces		
6 (río Pichoy)	90,1 (0,3)	102,1 (0,7)
7 (río Cayumapu)	55,0 (1,8)	61,9 (0,3)
Fuera del humedal del río Cruces y ríos tributarios		
8 (río Calle Calle)	33,8 (0,3)	30,5 (1,6)

Tabla 4.3.3. Concentraciones de Aluminio disuelto en el agua superficial de las ocho estaciones del área de estudio correspondiente al Programa de Diagnóstico (abril, mayo y julio 2014) y durante los dos primeros años del Programa de Monitoreo Ambiental del HRC (abril y julio 2015 y 2016, respectivamente). Los valores son promedios con su desviación estándar en paréntesis.

estaciones	Aluminio ($\mu\text{g/L}$)				
	año 2014			año 2015	
	abril	mayo	julio	abril	julio
Eje central del río Cruces (sector límnic)					
1 (sector Ciruelos)	9,9 (2,0)	8,2 (1,1)	20,4 (1,4)	10,5 (1,6)	18,6 (4,2)
2 (sector Rucaco)	6,3 (0,6)	11,2 (0,9)	23,4 (7,0)	10,1 (0,4)	18,3 (4,9)
Eje central del río Cruces (sector estuarial)					
3 (sector Fuerte San Luis)	7,6 (1,5)	11,6 (0,3)	11,9 (1,2)	10,8 (0,4)	20,7 (0,1)
4 (sector Santa Clara)	12,9 (1,4)	14,8 (1,2)	17,9 (2,1)	8,2 (1,1)	21,8 (0,1)
5 (sector Punucapa)	9,0 (0,5)	11,8 (0,8)	13,5 (3,2)	5,7 (0,1)	25,5 (1,0)
Ríos tributarios del río Cruces					
6 (río Pichoy)	12,6 (1,8)	21,0 (5,3)	28,3 (1,0)	12,0 (0,0)	44,4 (0,7)
7 (río Cayumapu)	6,6 (0,5)	19,2 (2,8)	38,5 (1,6)	1,3 (0,2)	48,7 (14,6)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios					
8 (río Calle Calle)	5,3 (0,6)	20,0 (1,1)	10,5 (1,7)	6,3 (0,0)	24,6 (6,5)

Continuación **Tabla 4.3.3**

Estaciones	Aluminio ($\mu\text{g/L}$)	
	año 2016	
	abril	julio
Eje central del río Cruces (sector límnico)		
1 (sector Ciruelos)	7,0 (0,01)	4,4 (0,41)
2 (sector Rucaco)	7,7 (0,70)	3,9 (0,38)
Eje central del río Cruces (sector estuarial)		
3 (sector Fuerte San Luis)	8,2 (0,57)	5,3 (0,73)
4 (sector Santa Clara)	11,2 (0,01)	5,1 (0,09)
5 (sector Punucapa)	4,1 (0,58)	3,4 (0,71)
Ríos tributarios del río Cruces		
6 (río Pichoy)	7,5 (0,02)	14,4 (0,55)
7 (río Cayumapu)	3,6 (0,13)	5,9 (0,03)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios		
8 (río Calle Calle)	7,3 (0,13)	4,3 (0,27)

Tabla 4.3.4. Concentraciones de Manganeso disuelto en el agua superficial de las ocho estaciones del área de estudio correspondiente al Programa de Diagnóstico (abril, mayo y julio 2014) y

durante los dos primeros años del Programa de Monitoreo Ambiental del HRC (abril y julio 2015 y 2016, respectivamente). Los valores son promedios con su desviación estándar en paréntesis.

estaciones	Manganeso ($\mu\text{g/L}$)				
	año 2014			año 2015	
	abril	mayo	julio	abril	julio
Eje central del río Cruces (sector límnic)					
1 (sector Ciruelos)	17,7 (0,3)	4,7 (0,2)	1,4 (0,2)	11,4 (1,1)	2,6 (0,5)
2 (sector Rucaco)	24,4 (0,5)	5,5 (0,5)	1,6 (0,4)	25,3 (0,9)	2,8 (0,2)
Eje central del río Cruces(sector estuarial)					
3 (sector Fuerte San Luis)	26,5 (1,5)	10,0 (0,1)	2,2 (0,0)	3,5 (0,3)	2,8 (0,0)
4 (sector Santa Clara)	0,9 (0,1)	9,2 (5,5)	2,0 (0,0)	0,2 (0,0)	1,3 (0,0)
5 (sector Punucapa)	1,4 (0,2)	0,8 (0,0)	2,5 (0,3)	1,8 (0,1)	1,5 (0,0)
Ríos tributarios del río Cruces					
6 (río Pichoy)	27,0 (0,3)	19,1 (0,4)	22,6 (0,9)	19,7 (2,9)	8,8 (0,2)
7 (río Cayumapu)	22,4 (0,2)	4,9 (0,5)	5,4 (0,1)	27,8 (1,9)	9,8 (0,6)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios					
8 (río Calle Calle)	3,5 (0,1)	0,9 (0,1)	1,8 (0,3)	3,4 (0,0)	2,3 (0,2)

Continuación **Tabla 4.3.4**

Estaciones	Manganeso ($\mu\text{g/L}$)	
	año 2016	
	abril	julio
Eje central del río Cruces (sector límnic)		
1 (sector Ciruelos)	13,5 (0,02)	14,4 (0,28)
2 (sector Rucaco)	18,5 (0,29)	16,2 (0,36)
Eje central del río Cruces (sector estuarial)		
3 (sector Fuerte San Luis)	1,5 (0,21)	12,0 (0,92)
4 (sector Santa Clara)	0,8 (0,13)	0,4 (0,01)
5 (sector Punucapa)	8,6 (0,16)	1,7 (0,02)
Ríos tributarios del río Cruces		
6 (río Pichoy)	13,4 (0,21)	4,1 (0,05)
7 (río Cayumapu)	27,7 (0,16)	0,7 (0,02)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios		
8 (río Calle Calle)	0,6 (0,01)	3,3 (0,23)

Para las seis especies locales restantes (Tabla 4.3.1), los valores registrados durante el periodo 2014-2016 para Hierro (valores extremos de 138,5 y 10,7 $\mu\text{g/L}$), Aluminio (valores extremos de 48,7 y 1,3 $\mu\text{g/L}$) y Manganeso (valores extremos de 27,8 y 0,2 $\mu\text{g/L}$) disueltos en el agua de las ocho estaciones monitoreadas, no alcanzó valores próximos a los indicados por Encina *et al.* (2011) como productores de efectos adversos en las especies por estos autores. Por el contrario, las concentraciones de Hierro, Aluminio y Manganeso disueltos en el agua se encuentran por debajo de las concentraciones nocivas reportadas por ese estudio en cuestión (ver Fig. 4.3.2 a 4.3.4).

La integración de los resultados de Encina *et al.* (2011) con las concentraciones de Hierro, Aluminio y Manganeso disueltos en el agua de las ocho estaciones estudiadas durante el Programa de Diagnóstico Ambiental del HRC (abril, mayo y julio 2014) y los dos primeros años del Programa de Monitoreo Ambiental del HRC (abril y julio 2015 y 2016, respectivamente), se presenta en las Figuras 4.3.2 a la 4.3.4. Debido a las grandes diferencias en las magnitudes de los valores representados en los ejes “Y” de los gráficos (concentraciones de metales), fue necesario utilizar escalas logarítmicas para reducir esas diferencias a rangos más cercanos y obtener así una representación más apropiada para una mejor comprensión gráfica de los resultados.

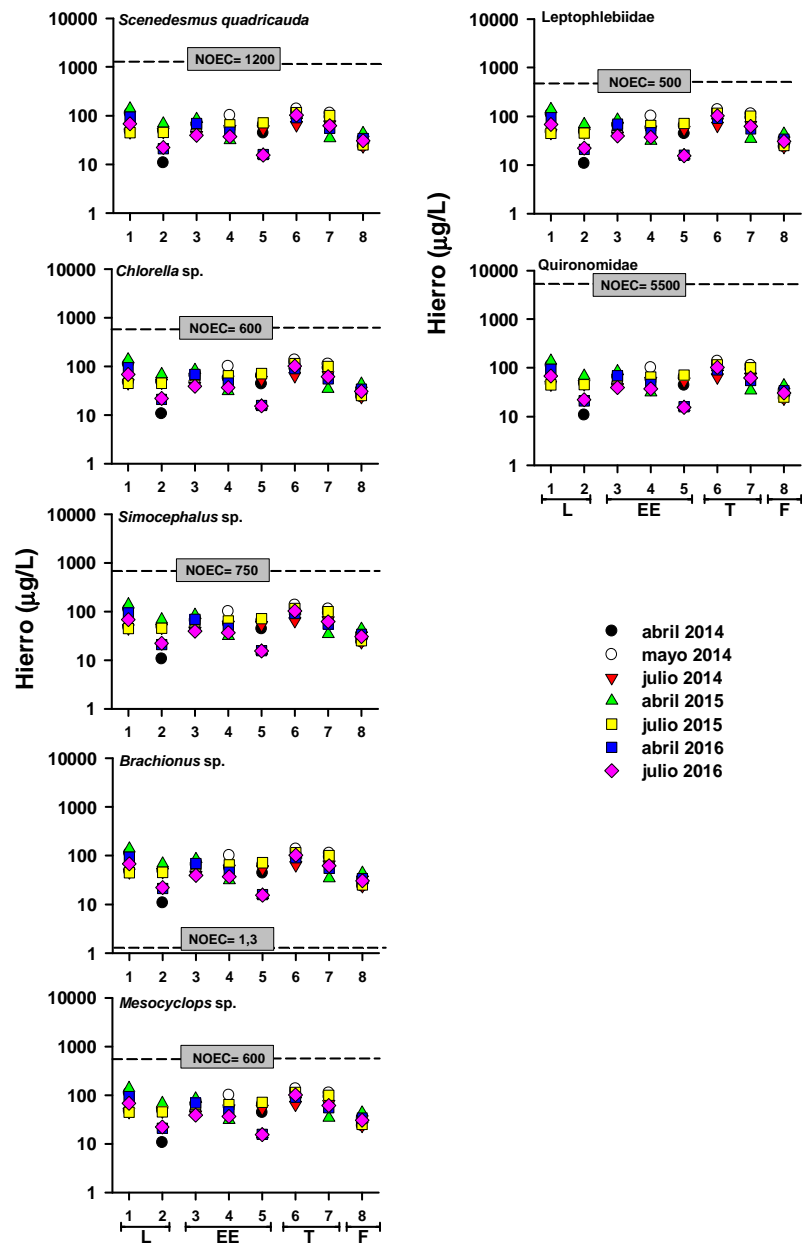


Figura 4.3.2. Resumen gráfico de la comparación de valores NOEC para Hierro disuelto en las siete especies sometidas a bioensayos toxicológicos por Encina *et al.* (2011) y concentraciones de Hierro disuelto en el agua superficial de las ocho estaciones estudiadas durante el Programa de Diagnóstico y durante los dos primeros años del Programa de Monitoreo Ambiental del HRC. Las estaciones de muestreo se agrupan en cuatro sectores: límnic o L (estaciones 1 y 2), eje central y estuarial del río Cruces o EE (estaciones 3, 4 y 5), ríos tributarios o T (estaciones 6 y 7) y fuera del humedal del río Cruces o F (estación 8). Nótese que la escala del eje Y es logarítmica.

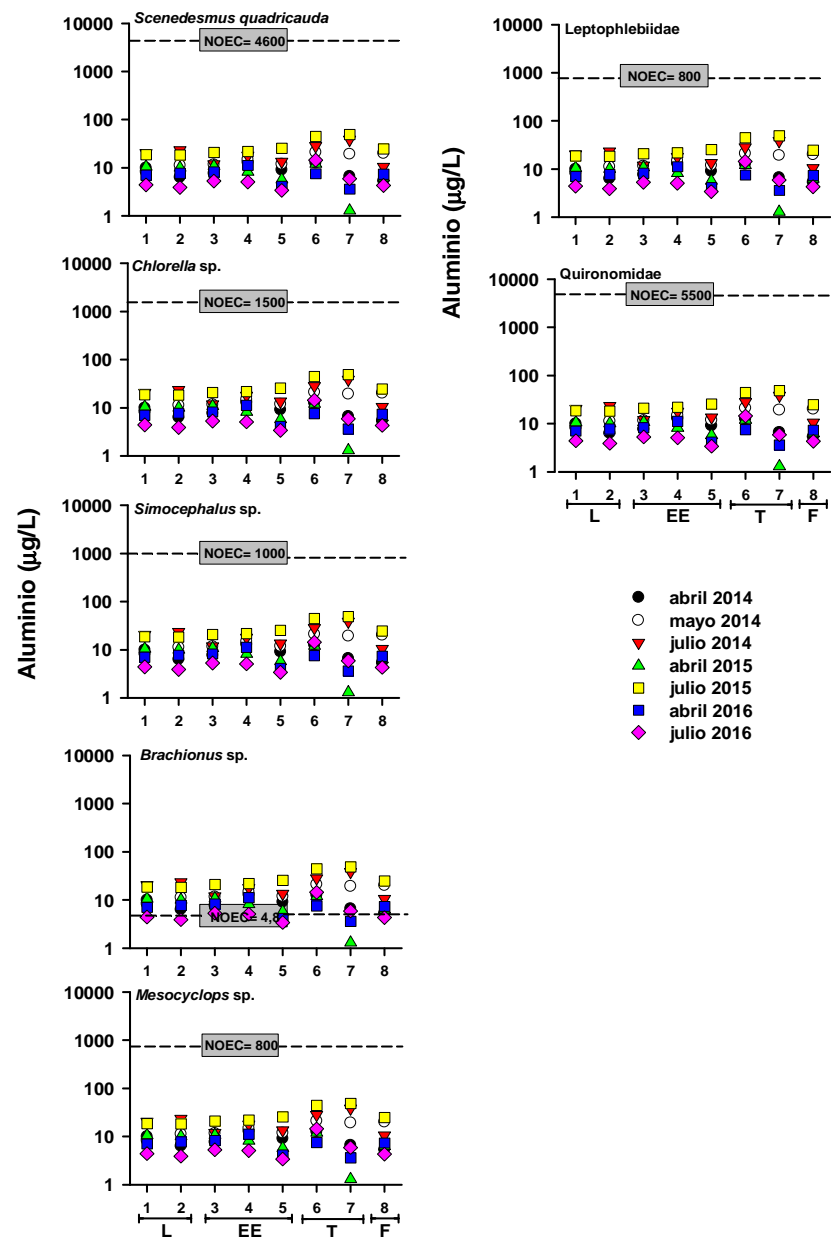


Figura 4.3.3. Resumen gráfico de la comparación de valores NOEC para Aluminio disuelto en las siete especies sometidas a bioensayos toxicológicos por Encina *et al.* (2011) y concentraciones de Aluminio disuelto en el agua superficial de las ocho estaciones estudiadas durante el Programa de Diagnóstico y durante los dos primeros años del Programa de Monitoreo Ambiental del HRC. Las estaciones de muestreo se agrupan en cuatro sectores: límnic o L (estaciones 1 y 2), eje central y estuarial del río Cruces o EE (estaciones 3, 4 y 5), ríos tributarios o T (estaciones 6 y 7) y fuera del humedal del río Cruces o F (estación 8). Nótese que la escala del eje Y es logarítmica.

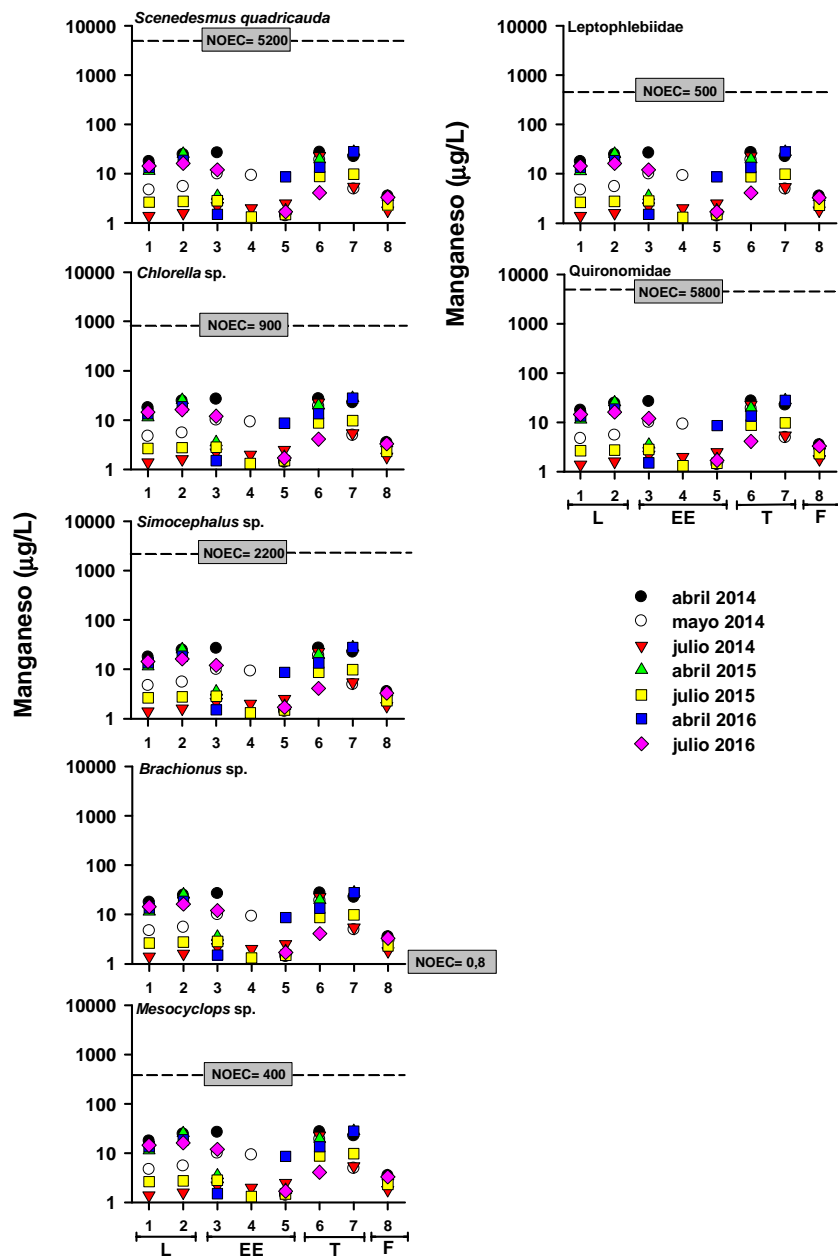


Figura 4.3.4. Resumen gráfico de la comparación de valores NOEC para Manganese disuelto en las siete especies sometidas a bioensayos toxicológicos por Encina *et al.* (2011) y concentraciones de Manganese disuelto en el agua superficial de las ocho estaciones estudiadas durante el Programa de Diagnóstico y durante los dos primeros años del Programa de Monitoreo Ambiental del HRC. Las estaciones de muestreo se agrupan en cuatro sectores: límpnico o L (estaciones 1 y 2), eje central y estuarial del río Cruces o EE (estaciones 3, 4 y 5), ríos tributarios o T (estaciones 6 y 7) y fuera del humedal del río Cruces o F (estación 8). Nótese que la escala del eje Y es logarítmica.

4.3.5. Discusión

Los análisis comparativos realizados en este estudio, evidencian que de mantenerse las concentraciones de Hierro, Aluminio y Manganeso disuelto en aguas del HRC y sus ríos tributarios (rangos registrados en el periodo 2014 -2016), estas no presentarían ningún riesgo ecológico potencial en las especies objetivo seleccionadas para este estudio, con excepción del rotífero *Brachionus* sp.

4.3.6. Conclusiones

- Durante el periodo comprendido entre los años 2014, 2015 y 2016, las concentraciones de Hierro, Aluminio y Manganeso disuelto en el agua del área de estudio alcanzaron valores extremos de 138,5 - 10,7; 48,7 - 1,3 y 27,8 - 0,2 µg/L respectivamente.
- Las concentraciones registradas entre los años 2014 y 2016 estuvieron muy por debajo de las concentraciones que según Encina *et al.* (2011), producen efectos no observados (NOEC) en seis de las siete especies objetivo de estudio presentadas en la Tabla 4.13.1. La única especie en riesgo ecológico potencial sería un rotífero del género *Brachionus*; *i.e.* durante el período 2014 y 2016, los resultados en cuanto a NOEC para este rotífero.
- Durante julio de 2016 y para la totalidad de las aguas de las estaciones de muestreo, las concentraciones de Aluminio fueron las únicas que mostraron valores más bajos en relación con años anteriores.
- Por lo tanto, las actuales condiciones de calidad de agua en el área del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios y sólo en relación a las concentraciones de Hierro, Aluminio y Manganeso disuelto, no presentarían un riesgo ecológico para casi la totalidad de las especies locales contempladas por el estudio de Encina *et al.* (2011).

4.3.7. Referencias

Encina, F. 2009. Aproximación Ecotoxicológica y Evaluación de Riesgo Ecológico teórico en apoyo a la elaboración del Anteproyecto de Normas Secundarias de Calidad Ambiental para la protección de las aguas de la cuenca del río Valdivia. 185 pp.

Encina, F. 2011. Evaluación de Riesgo Ecológico (Crónico) para el Santuario de la Naturaleza Carlos Anwandter como apoyo a la elaboración del Anteproyecto de las Normas Secundarias de Calidad Ambiental para la protección de las aguas de la cuenca del río Valdivia. 74 pp.

Newman, M. C., and M. A. Unger. 2003. Fundamentals of ecotoxicology. Second Edition. Lewis Publishers, CRC Press. Boca Raton, USA. 458 pp.

4.4. CAMBIOS DE USO DEL SUELO

4.4.1. Antecedentes

Una cuenca hidrográfica se entiende como un sistema de alta complejidad formado por el sistema natural, el sistema socio económico y el sistema construido, y sus múltiples interacciones entre ellos. Estos sistemas de carácter socio ambiental, requieren indispensablemente de un análisis integral, ya que se trata de entidades naturales en las cuales las alteraciones que se producen en los sistemas sociales o económicos, se transfieren a las mismas, receptor final de los cambios. En este contexto, resulta absolutamente necesario y pertinente realizar un análisis de la forma en que se comportan los sistemas socio económicos en la cuenca del humedal del río Cruces (HRC), de manera de aproximarse a la comprensión de su estado actual y tendencias evolutivas.

Por ello, en el caso del HRC resulta importante monitorear el comportamiento de una de las expresiones de los cambios en los sistemas socio económicos, como es el cambio en los usos y cobertura superficial del suelo. Uno de estos cambios dice relación expresa con la expansión de las áreas construidas, tanto para fines residenciales como productivos. Ambas son generadoras de efectos sobre el sistema natural (cambios en cobertura del suelo, efectos sobre el escurrimiento de aguas lluvia, modificaciones topográficas y problemas derivados de la disposición final de los desechos domiciliarios y/o productivos), todos los cuales resultarán en cambios en el sistema hidrológico.

4.4.2. Objetivos

- Caracterizar la distribución de las coberturas del suelo al año 2016.
- Evaluar las transferencias entre coberturas de uso del suelo entre noviembre del año 2015 y octubre del año 2016.
- Analizar los cambios ocurridos en el poblamiento del área de influencia sobre el HRC.
- Comparar los resultados obtenidos en el segundo año del Programa de Monitoreo Ambiental del HRC (año 2016) con los del primer año de ese programa

(año 2015) y con los resultados del Programa de Diagnóstico Ambiental del HRC y sus ríos tributarios (año 2014).

4.4.3. Material y métodos

El área monitoreada corresponde a una superficie de 335.576,2 hectáreas, la que abarca la totalidad de la cuenca del río Cruces y que drena hacia el HRC y sus ríos tributarios. Su área se extiende desde el sur de la ciudad de Villarrica (Región de La Araucanía) hasta la ciudad de Valdivia (Región de Los Ríos) (Fig. 4.4.1).

Para estudiar de forma más detallada los usos en la cercanía del humedal y sus ríos tributarios, se generó una cobertura de información que contiene los usos de la tierra, ubicados a una distancia aproximada de 1 kilómetro de los cursos de agua. Esta zona de influencia (o zona “buffer”) representa una superficie total de 65.107,4 ha. La Figura 4.4.2 presenta el área de influencia del HRC, superficie que fue utilizada en el análisis de los cambios ocurridos en la población y el poblamiento.

CUENCA DEL HUMEDAL RIO CRUCES

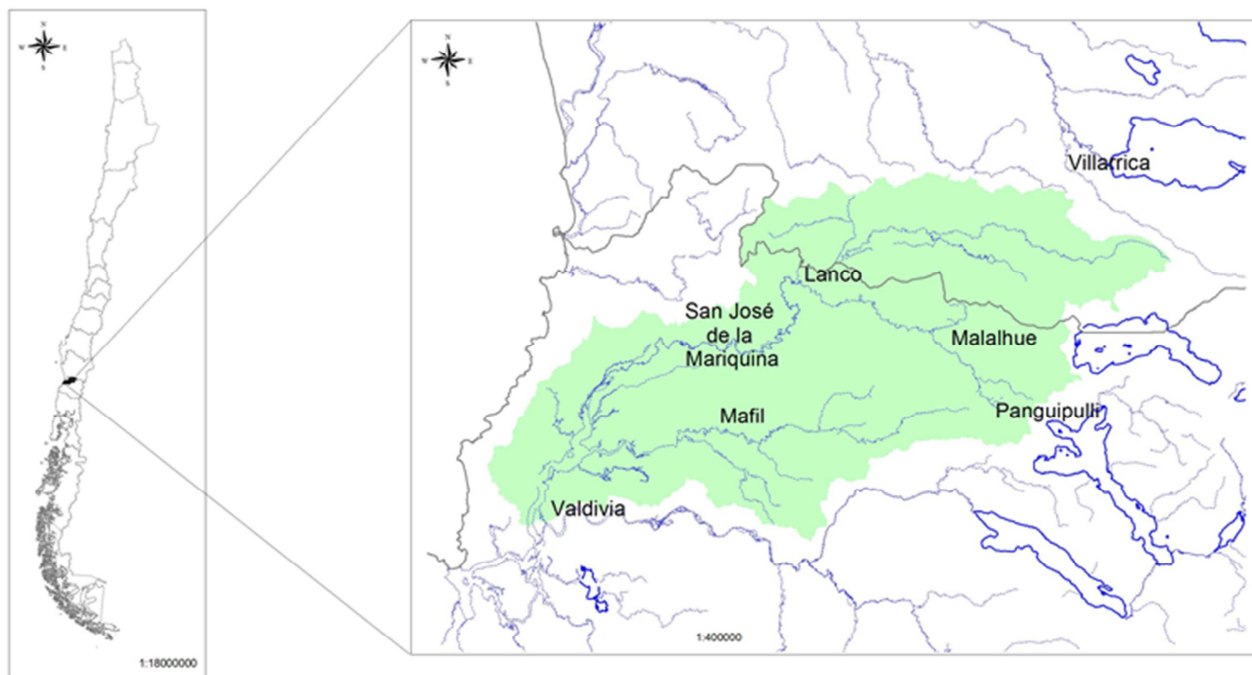


Figura 4.4.1. Área de estudio en verde claro.

Zona de Influencia de los "Humedales" y "Cursos de Agua"

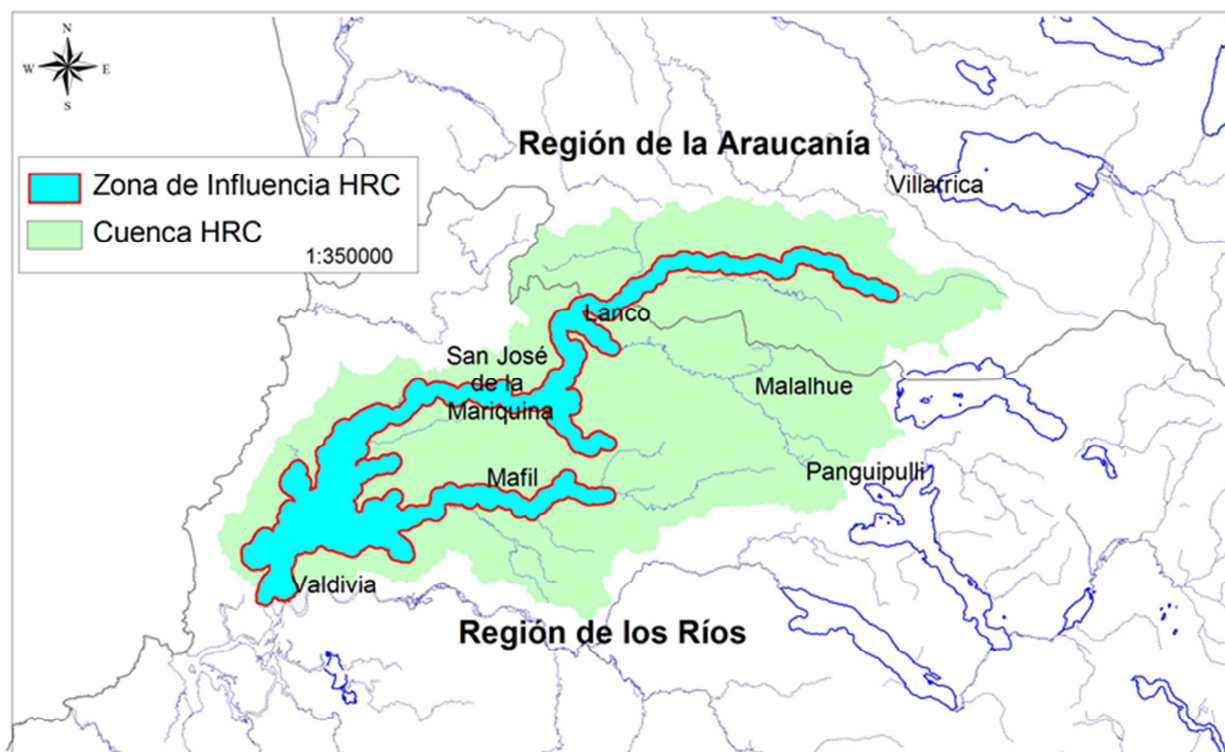


Figura 4.4.2. Ubicación de la zona de influencia del HRC.

El monitoreo de los cambios en el uso del suelo se realizó utilizando imágenes Landsat 8, comparando las imágenes de noviembre del año 2015 con la de octubre del año 2016. El programa Landsat 8 dispone de 11 bandas que captan el espectro visible, infrarrojo cercano (NIR) e infrarrojo de onda corta (SWIR). Este tiene una resolución de 15 metros en pancromático y de 30 m en multi-espectral.

Sobre la base de la información resultante del análisis de las imágenes, se confeccionaron las matrices de transferencia de superficie del periodo analizado. Esta matriz se elabora mediante la cuantificación de las superficies que han cambiado de uso en el periodo estudiado.

Durante el primer año del Programa de Monitoreo Ambiental del HRC (2015), se detalló la información de la población y el poblamiento a nivel de localidad y entidad de población, para el área de influencia directa sobre el HRC o zona “buffer”. El análisis corresponde así al área de un kilómetro aproximadamente, a ambos lados del eje del río Cruces y de sus principales ríos tributarios, la que se constituye en el área de influencia directa sobre el humedal y que corresponde a la misma superficie definida en el monitoreo de cambios en el uso del suelo. Similar criterio se siguió durante el año 2016 o segundo año del Programa de Monitoreo Ambiental del HRC.

La metodología empleada en el monitoreo de los cambios en población y poblamiento, consistió en un levantamiento de las viviendas presentes en la mencionada área de influencia, tanto con un trabajo de campo como por información obtenida de imágenes aerofotográficas y satelitales, apoyado en la información disponible en Google Earth. Luego se estimó la población a partir de una aproximación del número de habitantes por vivienda, calculado sobre la base de la información del censo del año 2002 e imágenes del año 2004.

4.4.4. Resultados

Los resultados obtenidos en esta etapa del Programa de Monitoreo del HRC se presentan a continuación, comenzando por los cambios en el uso del suelo, tanto a escala de la cuenca del río Cruces en su totalidad, como al área de influencia directa. Para el caso del análisis de población, los resultados se refieren solo al área de influencia.

Balance de superficies de uso actual en el periodo noviembre 2015 a octubre 2016

La Tabla 4.4.1 presenta el detalle de los resultados obtenidos en el proceso de monitoreo de superficies y los cambios del uso del suelo, realizado en octubre del año 2016, respecto a la base cartográfica elaborada en noviembre en el año 2015. La Figura

4.4.3 presenta los usos del suelo al año 2015 y que corresponden a la base cartográfica de monitoreo para el año 2016.

Tabla 4.4.1. Balance regional uso actual del suelo, período noviembre 2015 - octubre 2016.

Uso Actual	2015 (noviembre)		2016 (octubre)		Cambio 2016- 2015	
	Superficie (ha)	%	Superficie (ha)	%	Superficie (ha)	%
1. Áreas Urbanas- Industriales	2079,4	0,6	2211,9	0,7	132,5	6,4
1.1 Ciudades-Pueblos- Zonas Indus.	1711,9	0,5	1824,1	0,5	112,2	6,6
1.2 Minería Industrial	367,5	0,1	387,8	0,1	20,3	5,5
2. Terrenos Agrícolas	22251,3	6,6	22207,3	6,6	-44,0	-0,2
2.1 Terrenos de Uso Agrícola	3483,4	1,0	3483,4	1,0	0,0	0,0
2.2 Rotación Cultivo- Pradera	18767,9	5,6	18723,9	5,6	-44,0	-0,2
3. Praderas y Matorrales	97263,5	29,0	97136,1	28,9	-127,4	-0,1
3.1 Praderas	86925,9	25,9	86815,4	25,9	-110,5	-0,1
3.2 Matorral-pradera	2333,6	0,7	2309,8	0,7	-23,8	-1,0
3.3 Matorral	3761,2	1,1	3774,3	1,1	13,1	0,3
3.4 Matorral Arborescente	4242,8	1,3	4236,6	1,3	-6,2	-0,1
4. Bosques	205113,2	61,1	205113,5	61,1	0,3	0,0
4.1 Plantaciones	79922,4	23,8	80042,7	23,9	120,3	0,2
4.2 Bosque Nativo	120670,5	36,0	120572,5	35,9	-98,0	-0,1
4.3 Bosque Mixto	4520,3	1,3	4498,3	1,3	-22,0	-0,5
5. Humedales	5794,0	1,7	5829,6	1,7	35,6	0,6

5.1 Vegetación herbácea en orillas de ríos	1680,2	0,5	1680,2	0,5	0,0	0,0
5.2 Marismas Herbáceas	396,5	0,1	396,5	0,1	0,0	0,0
5.3 Ñadis Herbáceos	2853,1	0,9	2853,1	0,9	0,0	0,0
5.6 Vegas	493,2	0,1	498,4	0,1	5,2	1,1
5.7 Otros terrenos húmedos	371,0	0,1	401,4	0,1	30,4	8,2
6. Áreas Sin Vegetación	36,9	0,0	45,9	0,0	9,0	24,4
6.7 Otros Terrenos Sin Vegetación	1,4	0,0	2,9	0,0	1,5	107,1
6.8 Cajas de Rio	35,5	0,0	43,0	0,0	7,5	21,1
8. Cuerpos de Agua	3037,8	0,9	3031,8	0,9	-6,0	-0,2
8.2 Ríos	2870,2	0,9	2869,0	0,9	-1,2	0,0
8.3 Lago-Laguna-Embalse-Tranque	167,6	0,0	162,8	0,0	-4,8	-2,9
Total general	335576,2	100,0	335576,1	100,0	-0,1	0,0

Los usos más representativos en superficie para el periodo noviembre 2015 - octubre 2016 continúan siendo “Bosques” y “Praderas y Matorrales”, constituyendo más del 90% de la matriz de superficie de la cuenca. Los “Terrenos Agrícolas” ocupan menos del 7%, mientras que los “Humedales” representan alrededor del 2% de la superficie del área de estudio.

El principal cambio en el uso del suelo detectado en el periodo de estudio, entre noviembre 2015 y octubre 2016, ocurre en las “Áreas urbanas” que registran un aumento de un 6.4% (132,5 hectáreas), seguido, en términos absolutos, por una disminución de “Praderas y Matorrales” en un 0,1% (127.4 hectáreas). Esto último revela una disminución

en la actividad de habilitación de praderas que se realiza en el ámbito rural en un periodo anual. También se puede observar un aumento de la superficie de plantaciones en 120 ha.

Localización de usos - Cuenca del Río Cruces

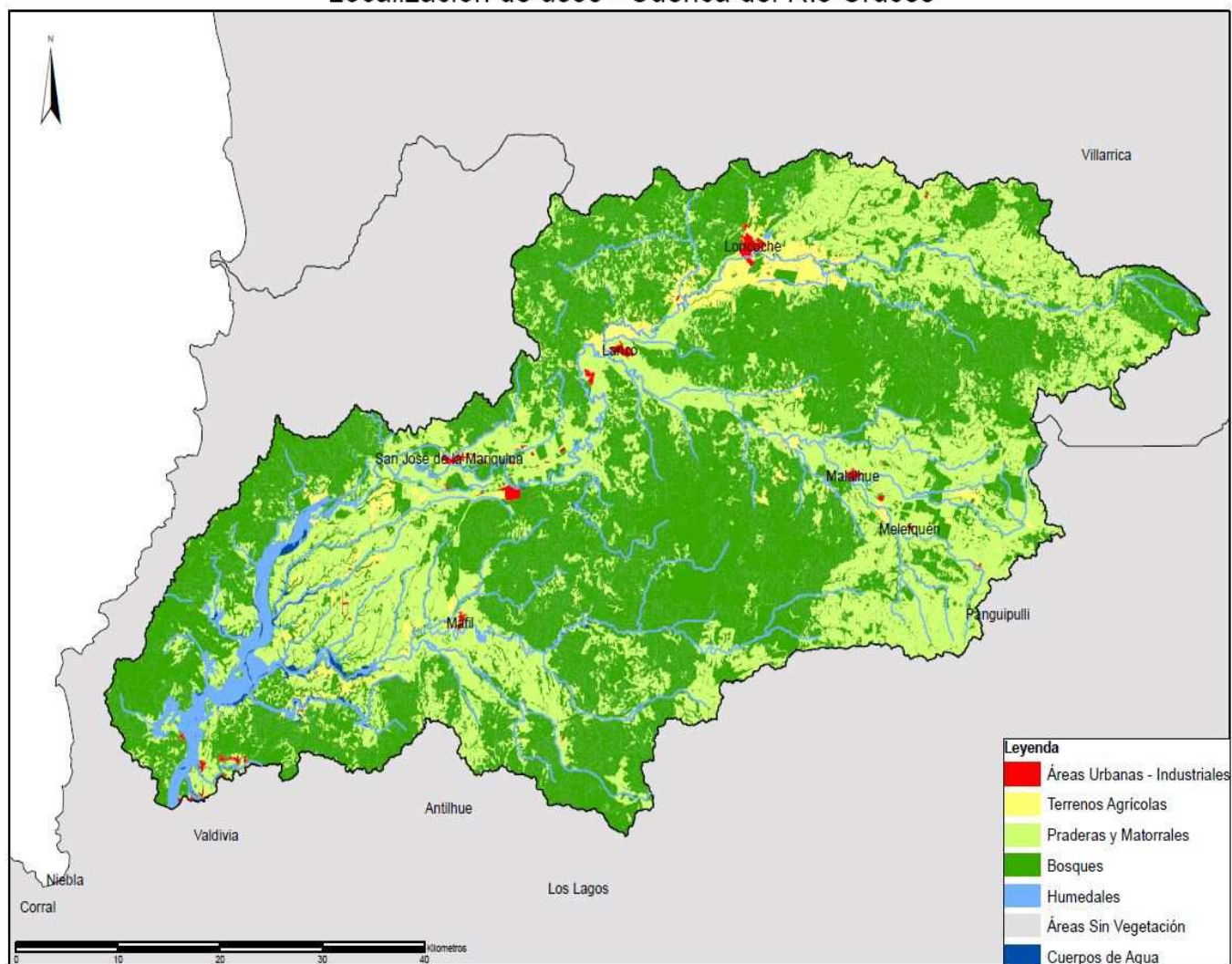


Figura 4.4.3. Distribución de los cambios de usos del suelo: año 2015.

Las Figuras 4.4.4 y 4.4.5 muestran la distribución de la superficie del suelo según sus usos para los años señalados.

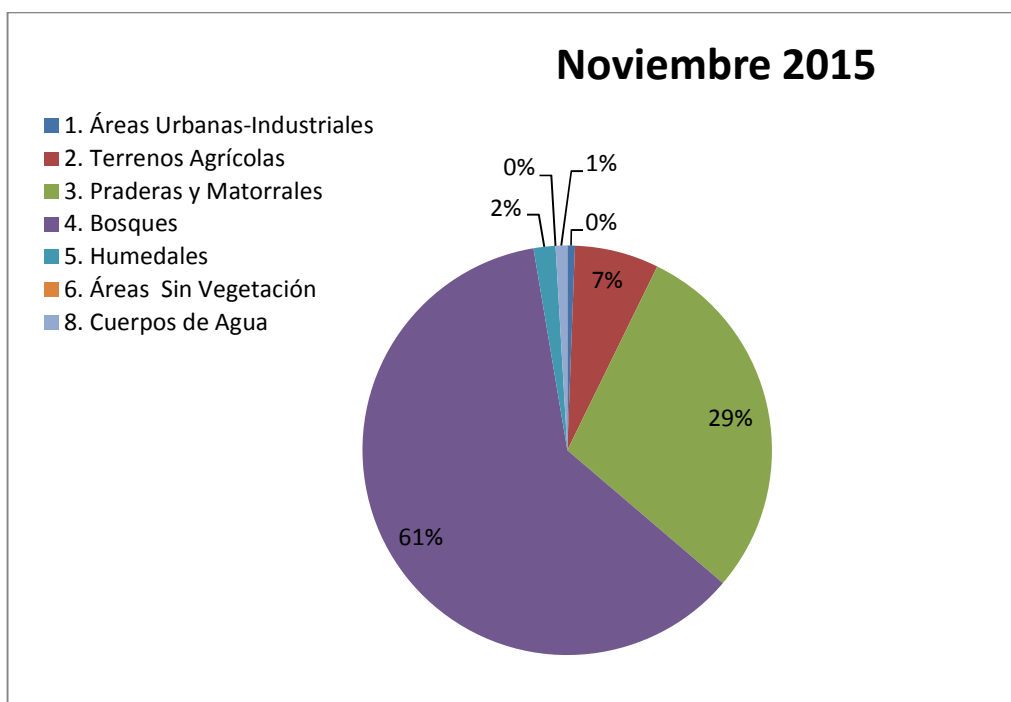


Figura 4.4.4. Distribución de superficie por uso del suelo: noviembre 2015.

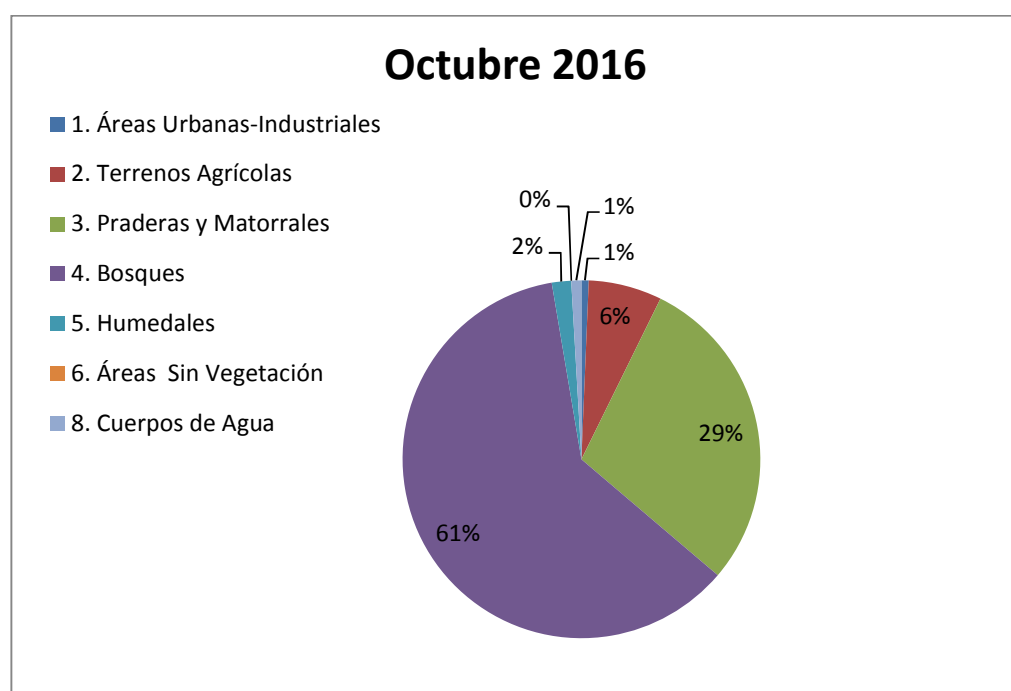


Figura 4.4.5. Distribución de superficie por uso del suelo: octubre 2016

Transferencia de superficies de uso del suelo entre periodos

La matriz que se presenta en la Tabla 4.4.2, indica la modificación detectada en los usos de suelo y su cuantía en superficie por categorías de uso del suelo según COT (Carta de Ocupación de la Tierra).

Durante este período (noviembre 2015 - octubre 2016) se observó que las principales transferencias se produjeron desde el uso “Praderas” a “Plantaciones” con 74.3 ha y de “Terrenos Agrícolas” hacia el uso “Urbano” con 72.6 hectáreas; es decir, se produjo una transferencia, principalmente a través de la habilitación de praderas para uso forestal y de agrícola para expansión de zonas contruidas.

Esta transferencia de praderas y matorrales a plantaciones explica el aumento en superficie del uso “Bosque”. De la misma manera se observó un aumento de 72,6 hectáreas en el uso “Áreas urbanas e industriales”.

Tabla 4.4.2. Matriz de transferencia de superficies por uso de suelo período noviembre 2015 -octubre 2016.

USO ACTUAL AÑO 2015 (noviembre)	USO ACTUAL AÑO 2016 (octubre)															Total general año 2015
	1	2	3,1	3,2	3,3	3,4	4,1	4,2,1	4,2,2	4,2,3	4,2,4	4,3	05	06	08	
1 Áreas Urbanas e Industriales	2077,9														1,5	2079,4
2 Terrenos Agrícolas	72,6	22170,6			7,6		0,6									22251,4
3.1 Praderas	48,7		86777	15,4	3,5		74,3						6,3		0,7	86925,9
3.2 Matorral Pradera		36,7	10,9	2250,8	6,2		28,9									2333,5
3.3 Matorral	2,6		2,1	1,9	3734,5		14,3							5,8		3761,2
3.4 Matorral Arborescente			3,4	2,8		4236,6										4242,8
4.1 Plantaciones	2,4				11,7		79884,6						22,2	1,5		79922,4
4.2.1 Bosque Nativo Adulto			1,7				1,4	16838,8								16841,9
4.2.2 Bosque	7,7		15	38,9	10,8		21,9		90640,8						0,6	90735,7

Nativo Renoval																	
4.2.3 Bosque Nativo Adulto Renoval										12600,3							12600,3
4.2.4 Bosque Nativo Achaparrado											492,6						492,6
4.3 Bosque Mixto			5,3				16,7					4498,3					4520,3
5 Humedales													5794				5794
6 Áreas Desprovistas de Vegetación															36,9		36,9
8 Cuerpos de Agua													7,1	1,7	3029		3037,8
Total general año 2016	2211,9	22207,3	86815	2309,8	3774,3	4236,6	80042,7	16838,8	90640,8	12600,3	492,6	4498,3	5829,6	45,9	3031,8		335576,1

Detalle en la zona de influencia directa del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios (zona “buffer” de 1000 m alrededor del HRC)

Para estudiar de forma más detallada los usos en la cercanía del humedal y sus ríos tributarios, se generó una cobertura de información que contiene los usos de la tierra ubicados a una distancia de 1 kilómetro de los usos “Humedales” y “Cursos de Agua”. Esta zona de influencia o zona “buffer”, representa una superficie total de 65.107,4 hectáreas y se representa en la Figura 4.4.2.

La matriz presentada en la Tabla 4.4.3 indica la modificación detectada en los usos de suelo y su cuantía en superficie por categorías de uso del suelo según COT (Carta de Ocupación de la Tierra), para el periodo, en el área “buffer”.

4.2.2 Bosque Nativo Renoval	7,7		6,2	17	7,6				14131,7						0,6	14170,8
4.2.3 Bosque Nativo Adulto Renoval										1192,2						1192,2
4.2.4 Bosque Nativo Achaparrado											270,9					270,9
4.3 Bosque Mixto						2,4						1080,1				1082,5
5 Humedales													5495,7			5495,7
6 Áreas Desprovistas de Vegetación														35,5		35,5
8 Cuerpos de Agua														1,7	2958,6	2960,3
Total general 2016	1419	7512,2	19530,2	879	764,6	750,4	8651	419,6	14131,7	1192,2	270,9	1080,1	5502	44,5	2959,9	65107,3

Para el período noviembre 2015 - octubre 2016, la principal modificación del uso del suelo en el área “buffer”, ocurre con la transferencia desde el uso “Terrenos agrícolas” hacia uso “Urbano” con 70,7 ha. Las restantes modificaciones son de menor cuantía.

Población y poblamiento del área de influencia sobre el HRC

Según el censo del año 2002, el total de población en el área de estudio alcanza a 18.792 habitantes. Proyectando esa población a una tasa de crecimiento constante de 1,5% anual, resultante de la tendencia de crecimiento demográfico observada entre los años 1992 y 2002, se llega a la cifra de 22.468 habitantes para el año 2014 y 22.805 habitantes al año 2015.

La Figura 4.4.6 muestra la distribución de las viviendas existentes en el área de influencia directa que fue definida para este estudio. En el informe del Primer año del Programa de Monitoreo (2015), se analizó específicamente el caso de las localidades de Cabo Blanco y Punucapa, por ser las que mostraron el mayor grado de crecimiento del área construida de carácter residencial.

El análisis de la información correspondiente al año 2016, permite advertir que a estas dos localidades se agrega Cayumapu, que presenta importantes proyectos de construcción, en diferentes etapas de ejecución.

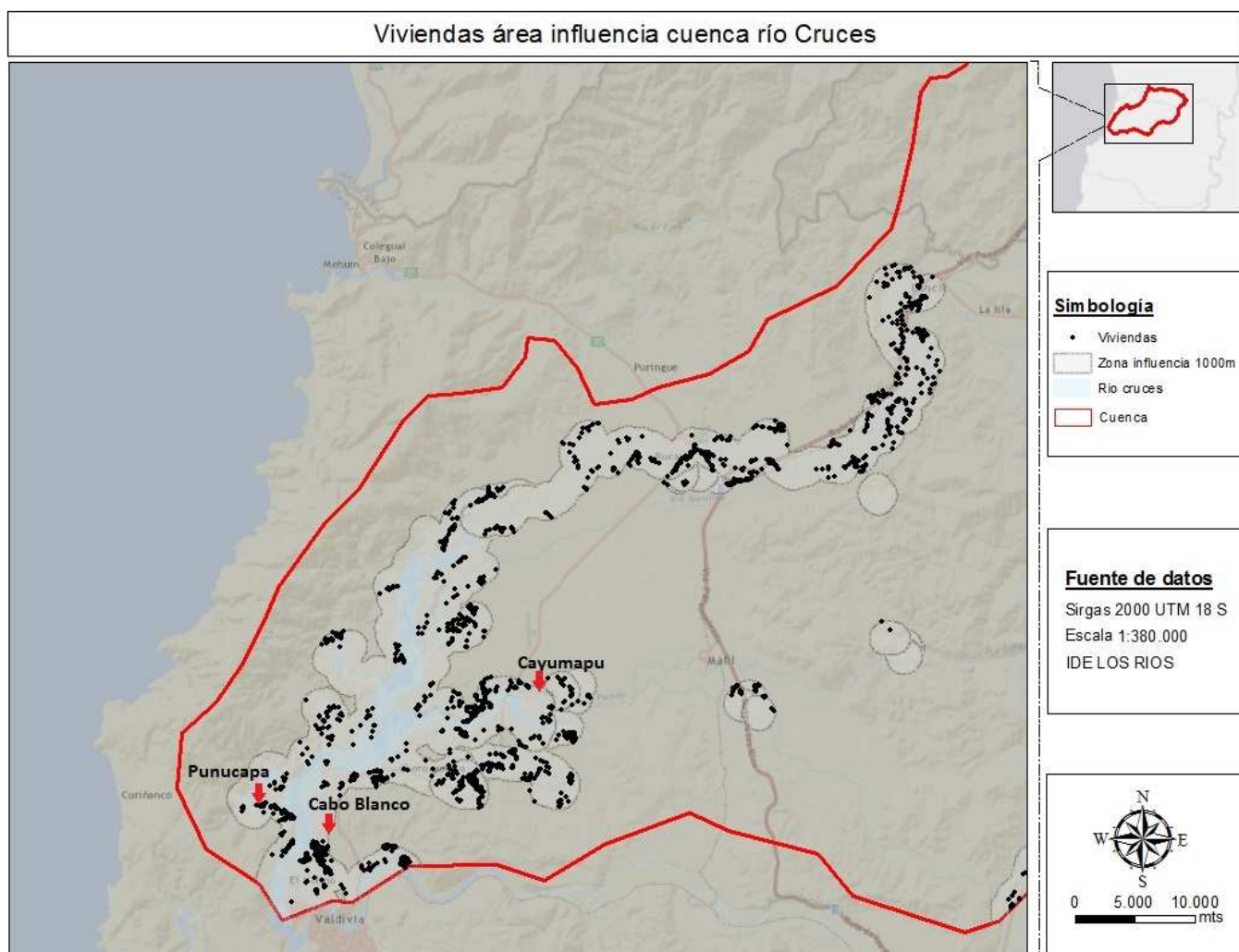


Figura 4.4.6. Distribución de viviendas en el área de influencia directa sobre el HRC.

En el caso de la localidad de Cabo Blanco (Fig. 4.4.7), se sigue apreciando el incremento del área construida, tendencia que se ha visto fortalecida por la pavimentación del camino que une a esta localidad con Valdivia. Esto implica una notable reducción en los tiempos de viaje, lo que como ocurre en otras ciudades, constituye un incentivo para la radicación de habitantes urbanos en áreas de condiciones más cercanas a lo natural, pero en las inmediaciones del centro urbano.

La Figura 4.4.7 presenta la variación en el número de viviendas en Cabo Blanco las que muestran un incremento de 47 viviendas entre 2015 y 2016. Manteniendo el procedimiento de cálculo de población empleado en el Programa de Diagnóstico Ambiental del HRC, de 2,25 habitantes por vivienda, resultaría un incremento de alrededor de 100 personas, pasando de 234 a 334 habitantes. En la misma Figura 4.4.7 se puede apreciar cómo esta localidad va adquiriendo un patrón de poblamiento de carácter más urbano. Este patrón de poblamiento responde a una reducción del tamaño de los predios, lo que se observa en la Figura 4.4.8 donde se advierte que en una superficie de aproximadamente tres hectáreas, se encuentra un total de nueve viviendas, quedando aún por ocupar otros tres predios. Esto lleva a una densidad superior a la permitida en predios rústicos, ya que según la normativa los predios rústicos no pueden tener una superficie menor a media hectárea (Decreto Ley 3.516, año 1980). En este caso, se tendría un total de seis predios y por lo tanto seis viviendas.

Se debe dejar claro que no existe evidencia de una transgresión a la normativa, ya que existen alternativas legales para justificar una subdivisión a menor tamaño. Lo que se quiere dejar establecido, es que se está generando un paisaje de carácter más urbano, en la medida en que las densidades empiezan a ser mayores.

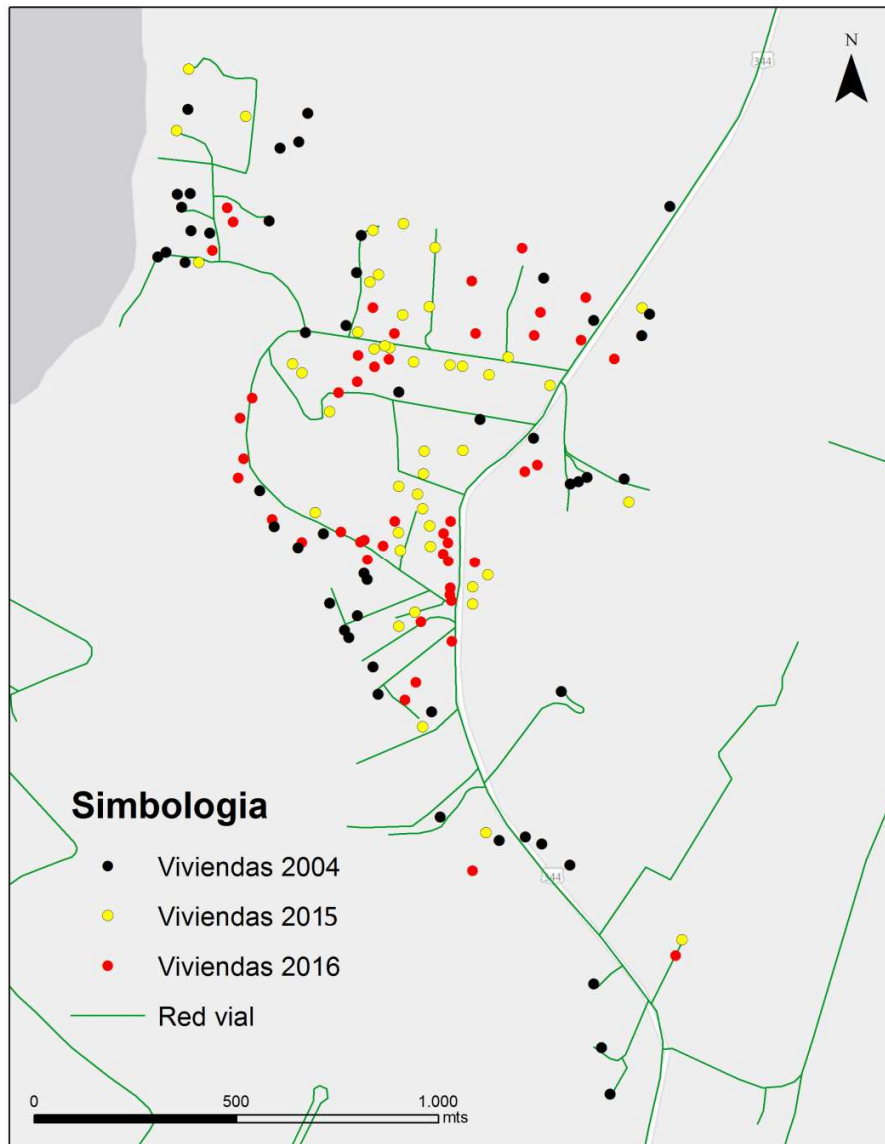


Figura 4.4.7. Variación del número de viviendas en Cabo Blanco: años 2004, 2015 y 2016.



Figura 4.4.8. Subdivisiones y densificación en un área seleccionada en Cabo Blanco. Fuente: levantamiento de información en terreno sobre imagen Google Earth.

En el sector Cayumapu, se ha podido constatar la existencia de un nuevo loteo que comprende una superficie de más de 40 hectáreas, ocupando una terraza del río Cayumapu (Fig. 4.4.9). Este loteo dispone de 75 parcelas de media hectárea cada una, las cuales cuentan con conexión eléctrica y aseguran agua de pozo. Al momento existen ya construidas cinco viviendas y otras tantas se encuentran en proceso de construcción. Además, hay varias parcelas ya cercadas y por lo tanto vendidas. No se advierte la existencia de áreas de servicios comunes.

Este loteo se viene a agregar al ya existente y a la villa Cayumapu, configurando un área de poblamiento nuevo (Fig. 4.4.10) que aprovecha las ventajas de comunicación carretera con Valdivia.



Figura 4.4.9. Nuevo loteo de parcelas en sector Cayumapu. Fuente: levantamiento de información en terreno sobre imagen Google Earth.



Figura 4.4.10. Urbanización en sector Cayumapu. Fuente: levantamiento de información en terreno sobre imagen Google Earth.

La Figura 4.4.11 presenta la variación en las viviendas en el caso de la localidad de Punucapa. Como se puede apreciar, continúa la construcción de nuevas viviendas en este sector, como manifestación de la búsqueda, por parte de habitantes de Valdivia, de áreas de mejores condiciones para vivir, específicamente por la posibilidad de disponer de mayores espacios a precios aún comparativamente convenientes. El análisis de la información permite registrar 257 viviendas en el año 2016, lo que implica una población del orden de 578 personas.

Si bien queda fuera del área definida como la de influencia directa sobre el humedal, es importante tener en consideración, la profusión de viviendas que se está produciendo en las

laderas de la Cordillera de la Costa, que se orienta hacia el HRC. Estas viviendas constituyen un tema a tener presente en el futuro mediano, por cuanto sus efectos en cuanto a movimientos de tierra y disposición de residuos, junto a otros efectos, recaerán finalmente en el HRC.

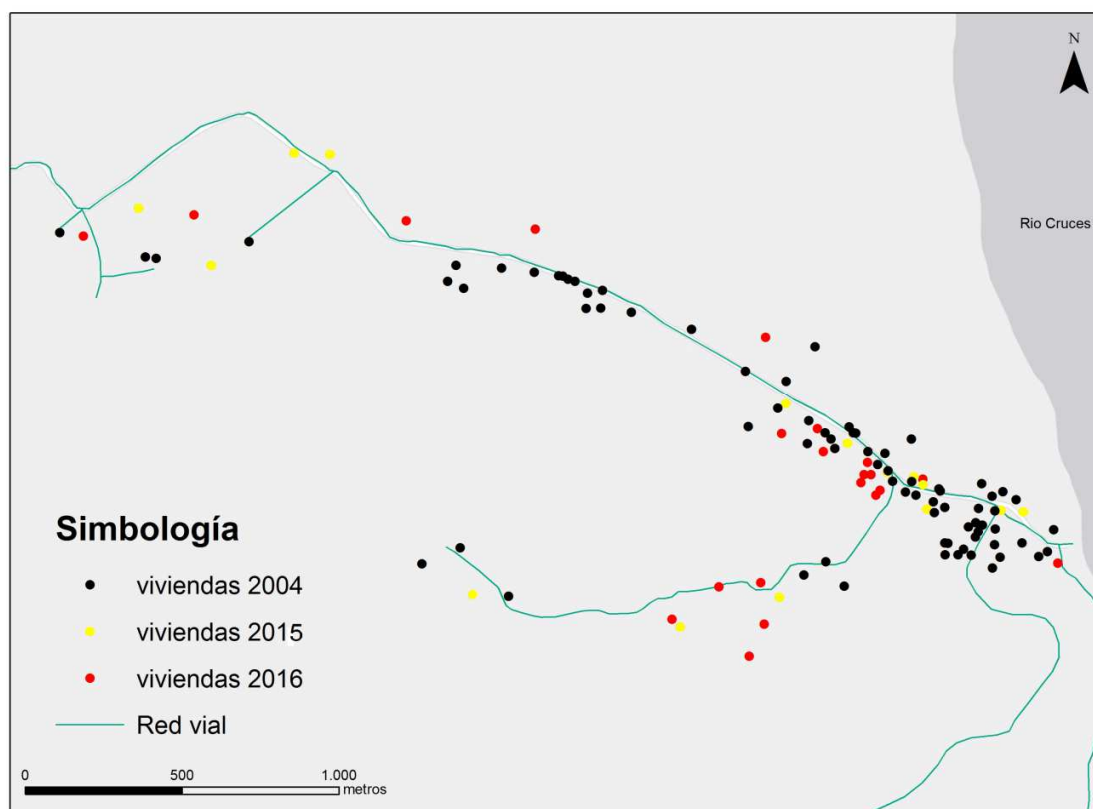


Figura 4.4.11. Variación del número de viviendas en Punucapa: años 2004, 2015 y 2016.

A los sectores ya mencionados, se agrega en este Informe el análisis del sector Pichiguape, correspondiente a un loteo tipo condominio localizado en el sector de Cayumapu, precisamente frente a la villa Cayumapu (Fig. 4.4.12), y del sector El Rebellón que corresponde a un sector de parcelamiento. En este caso no se dispone de la situación para el año 2015, por lo que la comparación se realiza con los años 2004 y 2011, información obtenida por análisis de las imágenes de Google Earth.

Como se advierte en la Figura 4.4.12, este sector de Pichiguape también viene experimentando un proceso de densificación del área construida, pasando de nueve viviendas en el año 2004 a 53 en el año 2011 y 78 al año 2016, lo que significa un crecimiento en población de 20 personas en el año 2004 a 175 en el 2016. Esta situación, como ya se mencionó anteriormente, genera la configuración de un amplio espacio urbanizado que se extiende en los alrededores de la villa Cayumapu. Esta villa corresponde a un villorrio campesino construido hace ya un par de décadas y que manifiesta un muy reducido dinamismo hasta el momento.

Para el caso de El Rebellín, la situación es parecida a las anteriores (Fig. 4.4.13), representando un ejemplo aún más típico de la migración por amenidad, ya que se trata de un poblamiento inmerso en el bosque. El Rebellín registraba 36 viviendas en el año 2004, aumentó a 90 en el año 2011 y al año 2016 presenta 155 viviendas, es decir habría pasado de un total de unas 80 personas en el año 2004 hasta unas 349 en el año 2016.

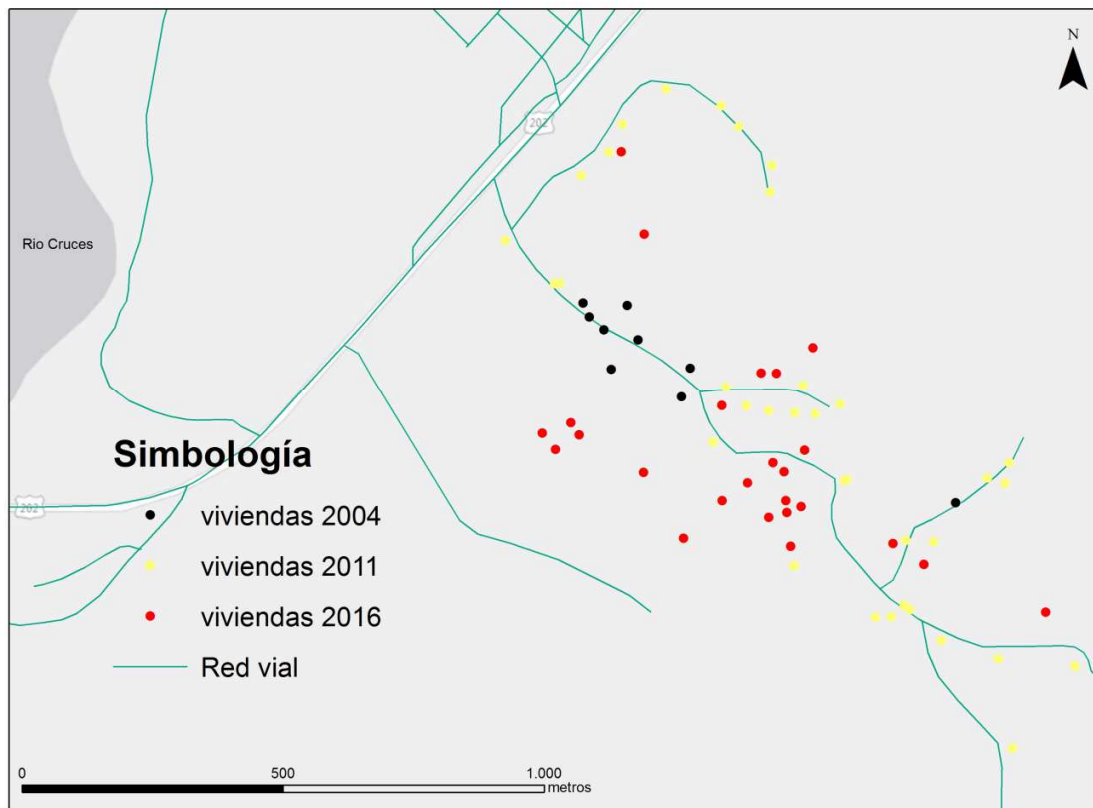


Figura 4.4.12. Variación del número de viviendas en sector Pichiguape, Cayumapu: años 2004, 2011 y 2016.

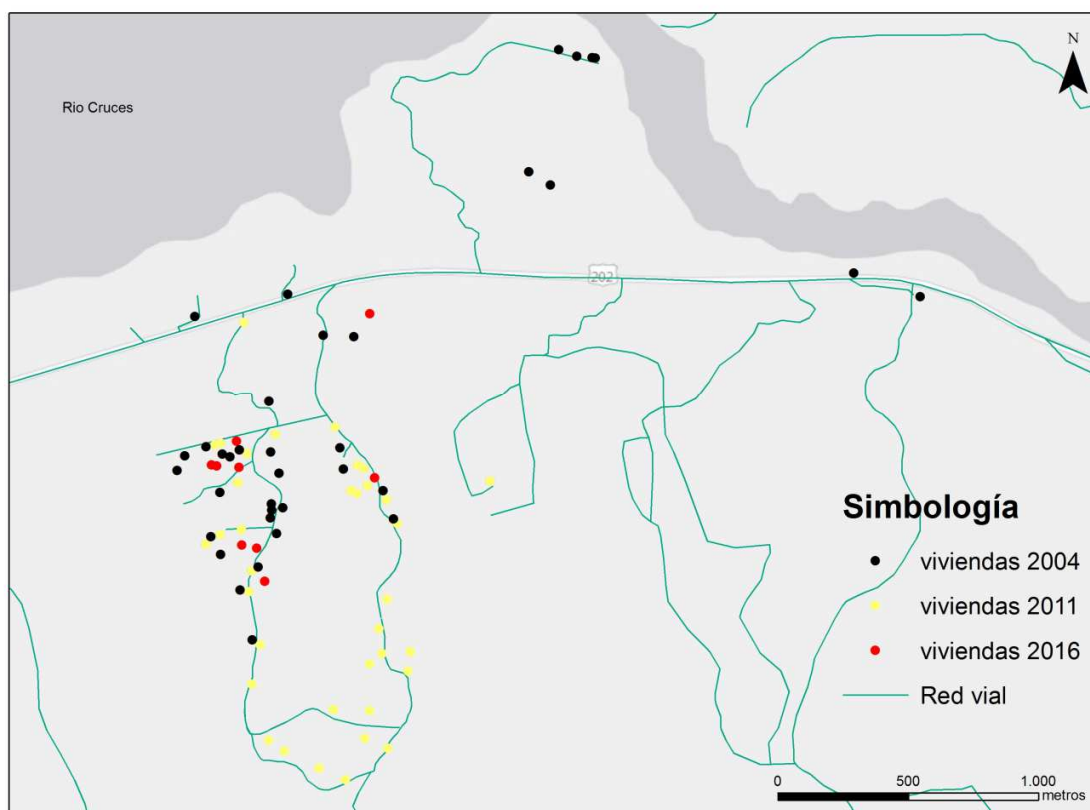


Figura 4.4.13. Variación del número de viviendas en sector El Rebellín: años 2004, 2011 y 2016.

Como se señaló en el informe del primer año del Programa de Monitoreo Ambiental del HRC (2015) y en el Informe Final del Programa de Diagnóstico Ambiental del HRC realizado durante el año 2014 y parte del 2015, el eje caminero de la carretera que une a Valdivia con San José de la Mariquina, se está comportando como un eje de expansión de las actividades urbanas de la ciudad capital de la Región de los Ríos.

La Figura 4.4.14 presenta esquemáticamente la situación que se ha configurado en torno a esta carretera. En ella se han comenzado a localizar instalaciones industriales, de almacenaje y de empresas de transporte, que requieren de espacios mayores de los que ofrece la ciudad y además aprovechan la localización en la carretera.

A estos espacios de carácter económico que comienzan a aparecer en este eje, se suma la densificación de viviendas en Cabo Blanco, impulsada tanto por la disponibilidad de espacios como por el mejoramiento de las comunicaciones terrestres con Valdivia. Otro tanto es lo que ocurre con el ya mencionado sector de Cayumapu.



Figura 4.4.14. Eje de expansión de instalaciones residenciales y productivas asociadas funcionalmente a la ciudad de Valdivia.

4.4.5. Conclusiones

- La principal modificación en el uso del suelo ocurre con la transferencia de 70,7 has desde el uso “Terrenos agrícolas” hacia el uso “Urbano”. Las restantes modificaciones son de menor cuantía.
- La dinámica demográfica del área de influencia estudiada, mantiene un ritmo moderado no apreciándose modificaciones de relevancia, excepto en los sectores de Cabo Blanco, Punucapa y Cayumapu, tratados en forma específica en este Informe.
- Se comienza a configurar un eje de expansión de las actividades urbanas de Valdivia, siguiendo la carretera Valdivia - San José de la Mariquina.
- El área de estudio aún carece de un Instrumento de Ordenamiento Territorial que le otorgue algún grado de protección legal.
- Los nuevos loteos en áreas rurales y la configuración de nuevos conjuntos sub urbanos, no aparecen registrados en el Sistema de Evaluación Ambiental, lo que implica la carencia de control de los efectos ambientales que ellos pudieran ocasionar. Esto se suma a la inexistencia de instrumentos de ordenamiento territorial que regule la expansión del área urbanizada de la comuna.
- En términos generales, se mantiene la tendencia observada en el Programa de Diagnóstico Ambiental del HRC, en cuanto a los cambios en la cobertura del suelo, dado que sigue presentándose una transferencia de terrenos desde praderas y matorrales hacia plantaciones. Además respecto a población y poblamiento, la tendencia sigue siendo el incremento de viviendas en áreas de la periferia lejana de la ciudad de Valdivia, lo que además se refleja en la transferencia de superficie desde praderas a áreas urbanas e industriales.

4.5. CONOCIMIENTO ECOLOGICO LOCAL

4.5.1. Antecedentes

Entre las orientaciones planteadas por el Consejo Científico Social para el diseño del Programa de Diagnóstico Ambiental del humedal del río Cruces (HRC) y sus ríos tributarios, estuvo “considerar la participación de la comunidad y su conocimiento ecológico local en el diseño y la implementación del diagnóstico”. Entre los años 2014 y 2015, se desarrolló la etapa de diagnóstico para el componente de Conocimiento Ecológico Local (CEL). El trabajo realizado en dicha etapa tuvo como objetivo general identificar aspectos relevantes del CEL en las comunidades asentadas en el área de influencia del humedal y, a su vez, generar parámetros que contribuyeran a otras líneas del diagnóstico y a las futuras acciones de monitoreo con el propósito general de conservar el HRC. Los parámetros definidos para dicho momento de la investigación fueron:

a) Interpretación de percepciones y experiencias: se identificaron *hitos* de experiencias compartidas por los habitantes del humedal.

b) Identificación de transformaciones o cambios detectados por los actores locales en el HRC que constituyen *socio-bio-indicadores* registrados durante el período 2004-2014.

c) Identificación de amenazas o transformaciones, asociadas a aspectos negativos para la mantención y mejoramiento de la vida social y la calidad ambiental del HRC.

d) Indicaciones para el monitoreo del HRC.

Se realizó una investigación social cualitativa que relevó la importancia del CEL a partir de discursos y prácticas de actores sociales situados en el HRC y sus ríos

tributarios. La metodología empleada se basó en una estrategia de aproximación y registro etnográfico llamada, en términos generales, Enfoque Orientado al Actor (EOA) (Long, 2000). Para fines metodológicos y de organización de la información, se dividió el área de estudio en cuatro zonas: Norponiente, Nororiente, Surponiente y Suroriente. Las técnicas utilizadas para recabar información fueron: observación, observación participante, caminatas y navegaciones de transecto, entrevistas informales, entrevistas semi-estructuradas y entrevistas grupales.

A partir del conocimiento obtenido y los aprendizajes logrados durante la primera etapa de diagnóstico, se planificó el trabajo de monitoreo del CEL durante el año 2016 en torno a dos ejes: 1) profundizar en la historia social del HRC y 2) elaborar un programa de monitoreo del HRC en conjunto con escuelas situadas en zonas aledañas al humedal.

La perspectiva utilizada desde el inicio del estudio se ha mantenido, a saber, el EOA y sus principales herramientas teóricas, así como los aportes desde la teoría de los sistemas de conocimiento, específicamente sobre el Conocimiento Ecológico Local o Tradicional (Gómez-Baggethun, 2009). Por último, se ha trabajado con herramientas de investigación cualitativa y, para el caso de la elaboración del programa de monitoreo en escuelas, se ha realizado un proceso de planificación conjunta con los profesores y directivos de las escuelas rurales.

4.5.2. Objetivos

- Profundizar en el conocimiento de la historia social del humedal, a partir de un trabajo de campo enfocado especialmente en adultos mayores de larga trayectoria en el territorio.
- Elaborar un programa de monitoreo ecológico local en cuatro escuelas piloto situadas en el territorio de estudio, orientado al fortalecimiento de capacidades y conocimientos en los niños, que permee en la red social comunitaria a través de las actividades que se desarrollen en las escuelas y que favorezca la incorporación

de nuevas prácticas de relacionamiento de las comunidades locales con el HRC, permitiendo usar el conocimiento como una herramienta para encarar nuevas situaciones ambientales.

4.5.3. Material y métodos

Para reconstruir la historia social del humedal, se realizó una investigación cualitativa a partir de las memorias de adultos mayores y habitantes radicados en el HRC por largo tiempo, recabadas en los Programas de Diagnóstico Ambiental y Monitoreo del componente conocimiento ecológico local. Durante el trabajo de campo se realizaron:

- Observaciones
- Observación participante
- Entrevistas semi - estructuradas
- Grupos de discusión
- Entrevistas informales
- Caminatas y navegaciones de transecto
- Registros fotográficos

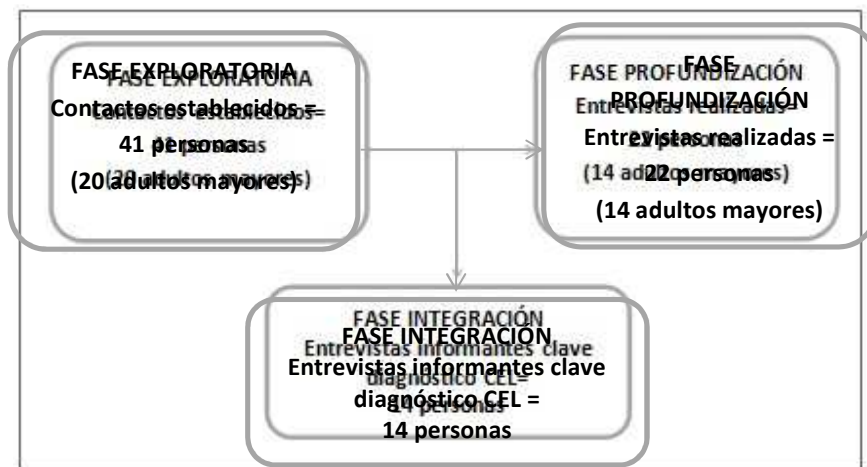


Figura 4.5.1. Fases del trabajo de campo.

En todos los casos se acordó con los informantes, mantener el anonimato de sus respuestas y entregar de regreso las grabaciones de las entrevistas con una copia de las fotografías tomadas.

Para abordar el objetivo de elaborar un programa de monitoreo participativo con escuelas del HRC, se realizó un proceso de planificación conjunto con los profesores de las escuelas. Dicho trabajo estuvo precedido por sesiones de trabajo con los estudiantes en que, a través de una metodología creativa de representación de su relación con el HRC, fue posible lograr una aproximación a las formas de relacionamiento actual de los estudiantes y su territorio. Dado que el programa implica la formación de ellos como monitores del humedal, la actividad permitió identificar conocimientos ecológicos actuales de los estudiantes así como diferencias en las formas de relacionamiento con el humedal en distintas escuelas.

La división de la zona de estudio se realizó durante la etapa de diagnóstico en base al principio de *situacionalidad* (Ingold, 2000), el cual asume que los individuos tienen un conocimiento diferenciado por su experiencia de habitar un determinado lugar y formas

de organización social distintivas en base al mismo factor. Por esto, los habitantes de una localidad observan, exploran y se relacionan con el HRC y sus ríos tributarios desde una perspectiva específica.

Atendiendo a un criterio amplio de *situacionalidad*, se hizo una división en 4 grandes zonas. Si bien se trata de delimitaciones que tienen asidero empírico en hitos geográficos locales (ríos y esteros), constituye principalmente una división de utilidad metodológica. A continuación se presenta la delimitación operacional y una breve caracterización

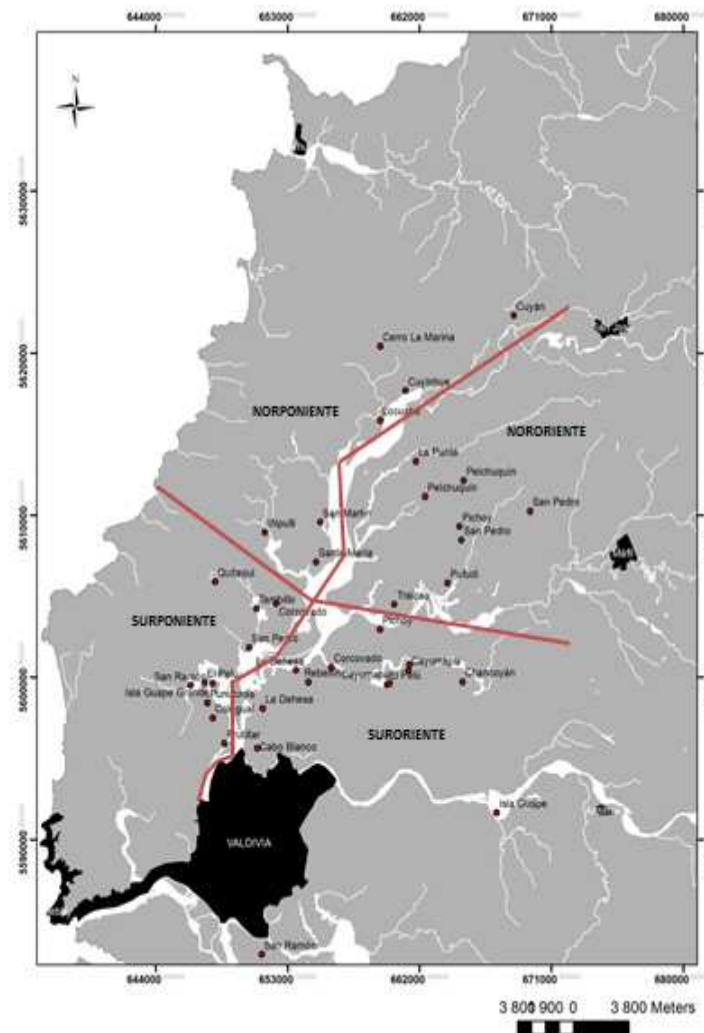


Figura 4.5.2. División del territorio en zonas de estudio.

a) Caracterización Zona Nororiente: esta zona limita al sur con el río Pichoy y al oeste con el río Cruces. Asentamientos de esta zona son Tralcao, Pufudi, Pelchuquín, La Punta y Plaza de Armas, las cuales administrativamente forman parte de la comuna de Mariquina. Corresponde a un área inundable de tierras bajas donde es posible encontrar principalmente fundos de lecherías, pastoreo y viveros hortícolas y forestales. La zona también destaca por la presencia de pequeños productores frutícolas.

De las localidades de la zona nororiente, la más poblada es Pelchuquín, cuya historia se encuentra marcada por la instalación de la misión capuchina en 1863 como consecuencia de los procesos de incorporación del sur al territorio nacional. De esta manera, las características identitarias de Pelchuquín se fundan en el sincretismo entre las culturas williche-mapuche, española y – aunque con posterioridad – alemana, las cuales se encuentran en torno a la influyente labor religiosa en la zona (Villanueva, 2014). Actualmente, el legado religioso se expresa en la masiva fiesta de la Inmaculada Concepción cuando cada 8 de diciembre las/os habitantes de comunidades como Tralcao, La Punta y Pufudi peregrinan a la iglesia de San Antonio de Padua en Pelchuquín (Villanueva 2014). Las/los habitantes de esta zona se encuentran organizados en juntas de vecinos (Tralcao, Pelchuquín y La Punta), Comités de adelanto (Pufudi), Comités de agua potable rural (Tralcao y Pufudi), Agrupación de mujeres (Tralcao), Comité de Hortofrutícolas y Agrupación de Cereceros. Asimismo, dada la alta población indígena mapuche en esta zona, se han constituido la Comunidad Indígena de Tralcao, la Asociación Indígena de Tralcao y la Comunidad Mapuche La Punta.

b) Caracterización Zona Norponiente: esta zona limita al sur con el estero Santa María y al este con el río Cruces. Los principales asentamientos humanos que se ubican en esta zona son Iñipulli, Santa María, San Martín, Locuche, Cerro La

Marina, Cuyinhue y Cuyán. La historia de esta zona del humedal se encuentra fuertemente marcada por la construcción de San Luis de Alba en 1649 a orillas del río Cuyinhue, que al ser navegable por cualquier embarcación durante todo el año permitía mantener la conectividad entre Valdivia y Concepción ofreciendo seguridad y fácil tránsito a los viajeros (Saldivia, 2011). La instalación de una fortificación hispana en Mariquina respondía, por una parte, a la intención de controlar a la población *williche* del Valle de Mariquina, pero también a que el territorio ofrecía amplias praderas para alimento del ganado y tierras fértiles para la cosecha de maíz y cereales (Saldivia, 2011).

Más tarde, en el marco del proceso de colonización, Pedersen (1992) señala que en 1849 Guillermo Frick realizó la mensura de los terrenos fiscales del Valle de Mariquina, comprobando que en los ríos Cruces, Pichoy y Cuyinhue hasta San José de la Mariquina, los terrenos estaban ocupados por chilenos o mapuches. No obstante, un reducido número de alemanes lograron adquirir tierras. En Santa María, a orillas del río Cruces, se formó la primera sociedad de alemanes compuesta por setenta personas para dedicarse al cultivo de lino, sin embargo debido a desacuerdos terminan por dispersarse a otros lugares (Saldivia, 2011).

Las/los habitantes de esta zona se encuentran organizados en juntas de vecinos (Iñipulli, Locuche, Cuyán), Comité de Adelanto (Cerro La Marina), Comité de Agua Potable (Cuyinhue-Cerro La Marina) y dos comunidades indígenas (Comunidad Indígena de Iñipulli y Comunidad Indígena Cuyin Mapu de Cuyinhue y Cerro La Marina). En términos productivos, destaca la Agrupación de Turismo La Ruta del Castillo cuyos integrantes pertenecen a diferentes localidades de esta zona.

La zona cuenta con suelos fértiles aptos para cultivos agrícolas y para la actividad ganadera, coexistiendo medianos productores agrícolas y agricultura

familiar campesina. Destacan además en la zona la presencia del Fundo San Martín de la Universidad Austral de Chile y el Fundo Santa María. En la zona hay producción de madera nativa de pequeña escala y grandes fundos forestales con escasa integración de mano de obra local debido a la mecanización de las faenas forestales. La actividad turística tuvo en las décadas anteriores un mayor auge ya que se desarrollaba en torno al Santuario de la Naturaleza y al Castillo San Luis de Alba. Actualmente se están diseñando iniciativas para crear una oferta integrada de productos turísticos, mejorando la asociatividad y conectividad.

c) Caracterización Zona Suroriente: esta zona limita al norte con el río Pichoy y al sur con el río Calle Calle, por lo que administrativamente corresponde a la comuna de Valdivia. Los principales asentamientos humanos de esta zona son Cayumapu, Chancoyán, La Dehesa, Rebellín y Cabo Blanco.

La Villa Cayumapu, se formó hace más de 20 años, a partir de un grupo de empleados de la empresa lechera COVAL que deciden comprar el terreno para hacer sus casas (Barrientos s/f). En ese entonces llegaron 43 familias, las que contaban con servicios básicos de agua, luz y alcantarillado. Con el tiempo la comunidad ha crecido rápidamente, asociado a procesos de parcelación de las propiedades agrícolas, lo que ha implicado que durante los últimos años el Estado haya debido invertir recursos en el desarrollo urbanístico de la localidad, financiando proyectos de dotación de agua potable, ampliación del sistema de alcantarillado y la construcción de una planta de tratamiento de las aguas servidas.

En el caso de Cabo Blanco, hasta mediados de la década de los noventa se trataba de una localidad donde habitaban familias de colonos que se asentaron en esa zona para dedicarse a la agricultura y la pequeña ganadería. A partir de esta fecha la comunidad comenzó a crecer, debido al loteo de varias hijuelas para

parcelas de agrado, configurando de esta forma su imagen actual de sector residencial del área periurbana de la ciudad de Valdivia (Barrientos s/f).

Las/los habitantes de la zona suroriente se encuentran organizados en juntas de vecinos (Villa Cayumapu, Camino Real, Chancoyán y Cabo Blanco), comités de agua potable rural (Cayumapu y Cabo Blanco) y comité de salud (Cayumapu).

En cuanto a las características económicas y productivas de la zona, en el caso de Cayumapu hasta el cierre de la planta Lácteos Valdivia (Quesos Las Parcelas) a comienzos del año 2013 una parte importante de su población se empleaba en otras empresas del sector, como Sone S.A, Viveros BOPAR, Alessandrini, Celulosa Arauco y Viveros Araucano (Barrientos s/f). En el caso de Cabo Blanco, la gran mayoría de sus habitantes vive del trabajo asalariado realizado en Valdivia y existe un grupo minoritario de personas que se emplean como obreros agrícolas o de forma particular en el trabajo en el campo, ya que actualmente sólo subsisten dos lecherías de tamaño mediano y muy pocos predios agrícolas.

d) Caracterización Zona Suroriente: esta zona limita al norte con el estero Santa María, al este con el río Cruces y al oeste con el Cerro Oncol (cordillera de la costa). Las principales localidades y fundos de esta zona son Corcovado, Quitaqui, Tambillo, San Pedro, Isla Guape Grande, Isla Guape Chica, San Ramón, El Pelú, El Potrero, Punucapa, Colegual y Frutillar.

Entre los pequeños valles que se forman, el asentamiento más poblado es Punucapa, pueblo de existencia previa a la invasión española y cuyos antiguos habitantes de origen williche-mapuche fueron desplazados hacia la costa (Barrientos s/f). Durante el siglo XVIII, la zona se caracterizó por su producción de

frutillas, legumbres, hortalizas, flores y chicha de manzana, otorgando particularmente a esta localidad un importante rol económico como proveedor de la ciudad de Valdivia a través del río y la feria fluvial.

Desde esa época la religión fue concebida como una importante vía de homogenización cultural para la población mapuche. En 1879 comenzó la construcción del santuario de la Virgen de la Candelaria y el 2 de febrero de 1882 se realizó por primera vez su celebración (Bahamonde y Carstens, 2012), transformando a Punucapa en un centro social y religioso de alta importancia para Valdivia y sus comunidades aledañas, lo que contribuyó a fomentar el dinamismo del transporte fluvial.

Los habitantes de esta zona se encuentran organizados en cinco juntas de vecinos (Punucapa, Chabelita, El Potrero, Colegual, y Quitaqui y alrededores), además de diversas organizaciones sociales comunitarias (Comité de adelanto, Comité de artesanos, Comité Luz Eléctrica, Agrupación de artesanos, Agrupación de la Iglesia Católica, Club deportivo, Comités de agua potable, Comité de Salud, Comité del Adulto Mayor).

Los habitantes permanentes de los sectores de Quitaqui y Tambillo son los únicos que actualmente mantienen una relación cotidiana directa con el humedal, puesto que la vía fluvial sigue siendo el único acceso para el transporte público a través de una lancha subsidiada que realiza 1 ó 2 recorridos diarios. Si bien el acceso a Quitaqui también es posible mediante vía terrestre desde el Parque Oncol, el camino se encuentra en condiciones deficientes. El sector de Punucapa tenía, hasta 1987, el río Cruces como única vía de acceso. Actualmente es posible acceder a través del camino costero que va desde Valdivia a Curiñanco, así como también a través de una calzada que bordea la ribera poniente del río, pasando por el sector de Frutillar.

En términos generales, en la zona surponiente se encuentra la mayor diversidad biológica del área de estudio, correspondiente al Parque Oncol, de propiedad de Arauco, y ubicado en la ladera oriental de la cordillera de la costa, donde colinda con paños de plantaciones forestales, también de propiedad privada.

4.5.4. Resultados

El análisis social, que tiene su punto de apoyo en los actores sociales y sus relaciones, permite estructurar la investigación de campo en un nivel micro-social donde el foco de atención está constituido por las formas en que los actores conocen y actúan. A esta doble habilidad, tanto de conocer como de actuar, se la ha denominado *agencia* (Giddens, 1995; Long, 2000). La noción de agencia concibe a los actores sociales como sujetos activos, con capacidad de procesar la experiencia social y desarrollar tácticas o estrategias para lidiar con ella aún bajo formas coercitivas.

El conjunto de formas de conocer y actuar se denominan *prácticas sociales* (Long, 2000). A partir de estas prácticas, de su rutinización y validación social, se constituyen las *estructuras sociales* respecto a las cuales la propia acción individual y grupal se verá tanto posibilitada como limitada. De esta forma, partiendo de la observación y análisis de espacios micro-sociales es posible realizar aproximaciones más generales de comprensión del territorio. Por esto, el Enfoque Orientado al Actor (EOA) es especialmente útil para investigaciones de campo asociadas a la indagación de dinámicas de relacionamiento territorial y conflictos socio-ambientales.

Ahora bien, tal como se planteó, la capacidad de conocer y actuar son los elementos centrales de la agencia. Conocer y actuar constituyen prácticas sociales que influyen en las acciones e interpretaciones propias y de otros actores. En este punto resulta pertinente notar que la agencia no es atribuible sólo a personas o redes de

personas sino también a objetos, entidades no humanas e incluso ideas que influyen en las percepciones de los actores y dan forma a lo que es socialmente posible o imposible. La agencia está siempre encarnada en relaciones sociales y sólo puede ser efectiva a través de ellas (Long, 2000). En este sentido, el HRC constituye un sistema complejo de relaciones donde convergen agencias humanas, individuales y colectivas, así como agencias no humanas. Por lo mismo, los elementos vivos no-humanos que constituyen y dan forma a lo que se denomina *sistema-humedal* impactan e influyen en las experiencias y formas de conocer y actuar de los habitantes humanos del territorio.

A partir de lo planteado anteriormente, cobra especial importancia la identificación de una forma particular de conocimiento asociado al territorio y al reconocimiento de las agencias que operan en él. La teoría de los sistemas de conocimiento (Berkes & Turner, 2005; Gómez-Baggethun, 2009; Haverkort *et al.*, 2013; Reyes-García, 2009) es una perspectiva que pone el acento en la articulación o diálogo (también llamada *interface*) de conocimientos diversos desarrollados de acuerdo a las experiencias de los actores sociales y de su inserción en comunidades de práctica dentro de territorios específicos. Se distinguen, en términos generales, tres tipos de conocimiento:

- **Conocimiento científico:** es de tipo formal, validado a través del método científico y en relación a un ejercicio evaluativo basado en pares externos. Aspira a establecer relaciones causales y generar formulaciones universales.
- **Conocimiento experto:** está inserto en comunidades de profesionales y validado por adscripción institucional. Se orienta a la intervención y evaluación de procesos y por lo tanto tiene una clara orientación normativa e instrumental.
- **Conocimiento local:** tiene reglas específicamente situadas de organización, basado en las experiencias de vida y la validación cultural de esas experiencias. No tiene pretensión universalista, pero es holístico en su referencia a las diversas dimensiones del territorio.

Berkes y Turner (2000; 2005) han argumentado, con interesantes ejemplos, en torno a la importancia de los conocimientos locales para los procesos de conservación ambiental, donde a partir del conocimiento ecológico local se ordenan prácticas territorialmente pertinentes. Más específicamente, los autores se refieren a dos modelos evolutivos de conocimiento de conservación: 1) el modelo de merma en crisis, que se refiere al aprendizaje que se produce a partir de experiencias de la disminución o daño de recursos naturales; y 2) el modelo de comprensión ecológica, que consiste en un aprendizaje de largo plazo y de carácter co-evolutivo entre los habitantes del territorio y la naturaleza. En ambos casos juega un papel fundamental el conocimiento (o saber) que se produce a partir de las experiencias:

"[El conocimiento ecológico local es] un cuerpo acumulativo de conocimientos, prácticas y creencias que evoluciona a través de procesos adaptativos y es transmitido mediante formas culturales de una generación a otra acerca de las relaciones entre seres vivos, incluyendo los seres humanos, y de los seres vivos con su medio ambiente".

(Berkes et al 2000:125)

Estos conocimientos pueden circular en forma de mitologías, leyendas, refranes, dichos, relatos o memorias. Aunque distintos en su forma, estas construcciones lingüísticas contribuyen al acervo de conocimientos locales. Por ejemplo, un informante de Quitaqui entrevistado en la etapa de monitoreo del componente CEL, expresa la conexión entre cuidado de las aves y conocimientos religiosos tradicionales que, según explica, fueron traspasados a él por sus educadores y donde se puede ver un cuidado ecológico fundado en tradiciones que apuntan al origen trascendente de la naturaleza:

"Aquí con mi señora nosotros ni a mis nietos les permitimos que vengan a matar pajaritos, nosotros cuidamos. Nos entretenemos nosotros con mi señora cuando estaba bien, de la ventana viendo a los zorzales [...] aquí no mata nadie un pajarito. Porque hay gente que se dedica a hacer daño [...] Somos enemigos de que maten a los pajaritos porque diosito echó de todo eso, todas esas avecitas silvestres son de arriba, no son de nosotros, que yo soy católico, estudié con los capuchinos en mi infancia...algo me quedó".

(Hombre, Quitaqui)

Siguiendo en la línea de conexión entre cultura y naturaleza, Boege (2008) ha insistido en la fundamental importancia del lenguaje en el proceso de co-evolución entre cultura y biodiversidad. Es un proceso de transformación mutua en que el lenguaje, en tanto creación colectiva e instrumento cultural privilegiado, juega un papel fundamental en el (re)conocimiento de la diversidad natural, en su comprensión clasificatoria y en también en los usos adecuados para su sustentabilidad. Es por esto que Boege (2008), en sus estudios realizados en México, ha insistido en la necesaria imbricación que hay entre multilingüismo y biodiversidad. Siguiendo estas ideas, se puede entender que son las relaciones entre lenguaje, conocimiento y prácticas de utilización de recursos lo que *sitúa* a las comunidades de habitantes/productores en sus territorios. En ese sentido, la pérdida de conocimientos locales implicará un empobrecimiento de las prácticas de uso o relacionamiento que pueden haber llegado a ser sustentables a través de largos aprendizajes. A partir de lo dicho anteriormente, se debe considerar la importancia de las prácticas sociales involucradas en *habitar el humedal*, ya que estas prácticas dan cuenta de formas concretas de relacionarse con los distintos elementos que componen este complejo sistema.

Entre dichas prácticas está el conocimiento basado en la experiencia y la percepción del entorno. A partir de la perspectiva fenomenológica de la acción social (Noë, 2004), entendemos las percepciones como constitutivas de una dimensión de la experiencia. Así, “percibir es una forma de actuar: la percepción no es algo que nos pasa o está en nosotros. Es algo que hacemos” (Noë, 2004:1). En este sentido, toda percepción es intrínsecamente activa, la experiencia perceptual adquiere contenido gracias a las destrezas y la corporalidad desplegada en las actividades del perceptor. Más adelante se verá cómo se expresan estas experiencias perceptuales en la memorias de los habitantes del HRC y cómo se combina esta dimensión de la experiencia con otra de carácter emocional. A partir de esta base fenomenológica es posible enriquecer la noción de conocimiento, dado que este no es sólo una colección de hechos sino que:

“Se refiere a todo el sistema de conceptos, creencias y percepciones que las personas tienen sobre el mundo que les rodea. Esto incluye la forma en que las personas observan y miden lo que está alrededor de ellos, cómo resuelven los problemas, y la forma en que validan la información nueva. También incluye el proceso mediante el cual el conocimiento es generado, almacenado, aplicado y se transmite a los demás”.

(Warburton & Martin 1999:13).

Historia y memoria del HRC

El estudio que aquí se presenta está centrado en la recuperación de relatos de adultos mayores y habitantes que residen en el HRC por largo tiempo. Todos los entrevistados viven en sectores aledaños al río Cruces con anterioridad a 1960, año en que se produjo el terremoto de mayor magnitud registrado instrumentalmente en el sur de Chile y que cambió significativamente la geomorfología del río Cruces. Dichos relatos, recuperados a través de operaciones dialógicas como conversaciones y entrevistas, tienen como contenido las memorias de los adultos mayores y habitantes entrevistados. Estas memorias están constituidas por una diversidad de elementos de base perceptiva y emotiva, pero también por una serie de criterios de valoración social que especifican aquello que tiene o no importancia, definiendo qué debe ser recordado, qué debe ser olvidado y qué, aun siendo recordado, puede o no ser dicho.

Evidentemente el ejercicio de la memoria y sus operaciones no puede ser reducido a la capacidad volitiva de los sujetos ya que existe una dimensión involuntaria -acaso inconsciente- de la memoria, que vincula la rememoración a estímulos externos y, por ende, sitúa ésta en un plano distinto al de la decisión consciente. En ese sentido, las memorias cubren un amplio abanico de experiencias: pueden ser familiares, sociales o laborales, por nombrar algunas, y estas categorías a su vez pueden estar abordadas desde distintos momentos del ciclo de la vida (infancia, juventud o adultez). Ciertamente cuando se habla de memorias se evoca a los recuerdos, remembranzas e imágenes de un pasado lejano. Sin embargo, estas mismas memorias hacen posible una determinada valoración del presente, es decir, de aquello que aún no constituye memoria, de aquello que es aún externo al recuerdo. Por eso, el último capítulo del análisis de relatos está dedicado a

abordar algunas visiones sobre el presente y futuro de las comunidades del humedal, como corolario de los anteriores capítulos de memorias que se proyectan, finalmente, sobre el presente y sobre el futuro desconocido.

Un estudio reciente realizado en torno al humedal Los Batros (Rojas *et al*, 2017), cerca de Concepción, ha destacado la importancia de la relación entre memoria y paisaje. Considerando el paisaje, en este caso del humedal, tanto en sus aspectos físicos como simbólicos, resulta evidente que constituye un espacio/tiempo cargado de afectividad para quienes habitan en él. La observación y el conocimiento del territorio se producen en base a experiencias propias, subjetivas, en relación a un entorno significativo. Ojeda (2017) habla de la *revalorización de las subjetividades del paisaje* para referirse a la importancia actual que desde las ciencias sociales se da al estudio del paisaje considerando las afectividades de los individuos, con el fin de “comprender el lazo generado entre las experiencias depositadas en el lugar” (Ojeda, 2017: 36). La observación y medición de esta realidad debe ser abordada desde un plano cualitativo, que valora el aspecto subjetivo. Además, respecto a la importancia de abordar esta relación entre paisaje y memoria desde los relatos de los adultos mayores Ojeda, citando a Halbwachs, expresa acertadamente que “el anciano tiene mucho más interés por el pasado que el adulto” (2016: 36).

Las memorias recuperadas en los estudios de diagnóstico y monitoreo del componente CEL, en su conjunto, constituyen elementos para la reconstrucción de una *historia social del humedal* de más amplio rango, basada en hitos compartidos por los diversos territorios. De la memoria a la historia hay un paso de agregación que debe obliterar una serie de distinciones subjetivas de apreciación, pero es posible de ser reconstruida en la medida que se atiende a las coincidencias manifestadas a través de diversos relatos. Estas coincidencias pueden ser objetivas y también subjetivas, en la medida en que hay experiencias que al ser relatadas demuestran importantes similitudes.

A partir del trabajo ya realizado en los estudios de diagnóstico y monitoreo del CEL se han identificado algunos hitos fundamentales en la historia del HRC y sus habitantes:

Tabla 4.5.1. Hitos generales relevantes para organizar experiencias locales en el HRC.

Año	Hito
1960	Terremoto y tsunami que origina el HRC – cambios significativos en la geografía, la avifauna y en la propiedad de la tierra.
1981	Declaración Santuario de la Naturaleza Carlos Anwandter y denominación Sitio RAMSAR.
1985	Fin de la circulación de Vapor Collico, asociado a fin circulación de vapores.
2004	Comienza a operar Planta Valdivia de Celulosa Arauco. Desastre ecológico del río Cruces con muerte masiva del Luchecillo, la macrófita acuática más abundante del humedal y avifauna por contaminación.
2013	Sentencia judicial contra la empresa Arauco S.A.
2014	Actividades de diseño del Programa de Desarrollo Comunitario (Medida 5 de la sentencia judicial contra la empresa)

Estos son los hitos históricos a partir de los cuales se ha abordado el trabajo de investigación cualitativa, los cuales constituyen *referencias objetivas* a partir de donde se ha realizado la recuperación de memorias entre los informantes que accedieron a contribuir con sus relatos a este estudio. A continuación se presenta el cuadro de hitos históricos ordenados de acuerdo a la división por zonas.

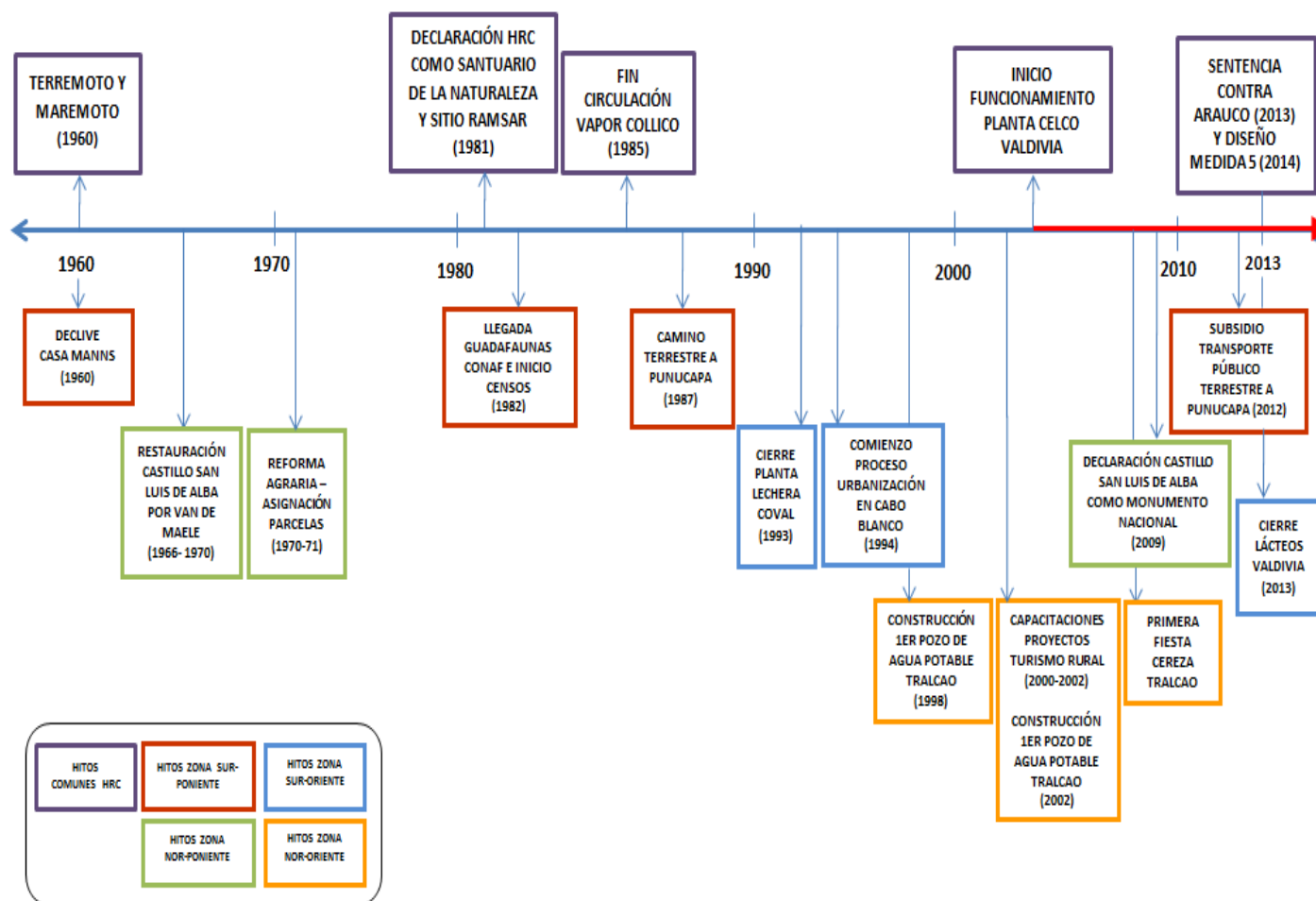


Figura 4.5.3. Esquema sinóptico de hitos del HRC según zonas.

El relato que se presenta a continuación está construido en base a un análisis de las memorias narradas por hombres y mujeres que habitan en torno al HRC desde hace largo tiempo. Los relatos se ordenan en torno a cuatro ejes:

- 1) El terremoto del año 1960.
- 2) El transporte fluvial y su progresivo declive.
- 3) La crisis ambiental en el humedal del año 2004.
- 4) Perspectivas de las comunidades en la actualidad.

En torno a estos ejes o dimensiones históricas se articulan relatos de los actores referidos a conocimientos sobre el territorio y prácticas realizadas en este. Aquellos conocimientos y prácticas referidos al pasado constituyen un valioso material para reconstruir la historia socio-ambiental del humedal, es decir, la trayectoria de relaciones entre agentes sociales y naturales. Por su parte, los relatos sobre el presente constituyen parte del imaginario actual, a partir del cual se hacen posibles las memorias del pasado así como también las proyecciones futuras de vida en el lugar. Esto último es relevante para evaluar la mejor forma de proponer y acompañar un proceso de monitoreo ecológico local desde las comunidades en la actualidad.

Transformación del territorio: el terremoto de 1960 como origen

“Lo que era alto antes, ahora es bajo” (Mujer, Punucapa).

La mayoría de los entrevistados vivieron el terremoto cuando niños o niñas y sus relatos dan cuenta de vivos recuerdos respecto a lo sucedido el 22 de mayo de 1960, los días posteriores y las transformaciones tras este dramático acontecimiento. Son numerosos los detalles referidos en los relatos, cosa sorprendente dada la temprana edad que tenían los informantes y los años que han transcurrido después de este hecho. Sin embargo, la dramaticidad del acontecimiento explica, a entender de los investigadores,

que se mantenga una memoria tan viva respecto a lo sucedido y que los recuerdos sean tan expresivos o, por decirlo así, tan llenos de detalles. Una informante de la zona nororiente relata:

"Me parece mucho que fue día domingo. Mis papás andaban buscando leña en carreta en el monte, y yo me quedé con mis hermanitos chicos, tenía un par de mellizos mi mamá, entonces yo lo único que hice fue agarrar las dos guaguas y salir al patio [...] era terrible. Al lado de mi casa habían unos maitenes, no sé si los ubican, unos árboles nativos, y esos barrían la tierra [...] para mí en ese momento era terrible el miedo que tenía, hasta que llegaron los papás y ahí uno, con los papás uno se siente segura [...] pudimos seguir durmiendo afuera, en el patio, yo creo que unos 8 días, dormíamos bajo una carreta, poníamos unos fardos de paja [...] las réplicas eran a cada rato po, incomunicados porque no sabíamos de nada po, no sabíamos del mundo que es lo que pasaba porque no teníamos radio, ni menos la tele".

(Mujer, Pelchuquín)

El terremoto es, sin duda, un punto de inflexión en la vida de quienes han vivido largo tiempo en el humedal. El carácter extraordinario del evento se expresa de diversas maneras. Por ejemplo, en el comportamiento inusual de elementos del entorno, como el caso de los árboles:

"Ella [mi abuela] cuenta sí que los árboles se "simbraban" decía ella, se doblaban tanto que chocaban la punta, digamos el ápice arriba, chocaba en el suelo y volvía a levantarse".

(Mujer, Punucapa)

Desde una perspectiva socio-ambiental, el terremoto es quizás el acontecimiento más importante en tanto se le asigna un papel *fundante*. Constituye, en el más típico esquema mitológico (Eliade, 2009), un momento de caos destructivo que abre paso a un reordenamiento de los elementos naturales y que funda, en consecuencia, un nuevo comienzo y un nuevo orden. En un extenso relato obtenido en la localidad de La Punta, la entrevistada narra con gran vivacidad lo sucedido, superponiendo imágenes y símbolos de fuerte contenido religioso con su experiencia vivida:

“Anteriormente un día antes empezó a temblar pero fuerte también, cuatro o cinco grados, entonces los evangélicos predicando en esa parte "el fin del mundo, ya estamos en el fin del mundo po", imagínese po, "entonces arrepentirse que este es el fin del mundo, arrepentirse" [...] y nosotros mirando y mi hermana asustada y fíjese que yo en el momento del terremoto no tuve ningún miedo ningún temor porque me había tomado una aspirina, estaba con nervio y tomé la aspirina, y mi pobre hermana no tomó nada [...] vino el terremoto y las damajuanas fíjese que se salvaron, quedaron enterradas en la tierra, en la tierra, y no se quebraron y se salvaron. Los únicos que tenían agua potable éramos nosotros, al menos yo [...] Y entonces la gente, yo misma y mi hermana, dijeron: "tienen razón los evangélicos, este es el fin del mundo", si no era otra cosa, no era otra cosa. Fíjese que en un momento del terremoto se levantó una nube así medio oscura, oscura, y uno miraba el cielo y se oscureció el cielo y el sol se puso rojo como sangre, los mismos gases de la tierra fue que cubrió arriba como sangre, uno miraba al sol como sangre, y el movimiento espantoso, hubo un ruido de campanas de una iglesia, una catedral, los edificios que se mandaban abajo, era terrible, si era puro fin de mundo [...] Una fuerza espantosa en la tierra, se llegaba como reventar para arriba [...] Cuanta gente murió en la costanera, y cuanta gente desapareció que nosotros conocíamos".

(Mujer, La Punta)

La posibilidad de expresar la dramaticidad del acontecimiento aparece en este caso asociada a referencias cósmicas (manifestación de fuerzas telúricas, celestes y solares) que dan cuenta de la magnitud del cambio que, justamente, trasciende el espectro puramente humano e involucra un cambio integral del territorio. Una informante de Punucapa explica estas referencias cosmológicas por la intensidad del momento y la gravedad que implicó para quienes lo vivieron: *"Ahí tú te acuerdas de los dioses, de los santos, de todo, cuando estás en afligimiento"*. Anteriormente se hizo mención al vínculo entre referencias culturales tradicionales (en este caso mitológicas) y procesos de comprensión ecológica. Berkes y Turner (2005) han argumentado en torno a la importancia que tiene este vínculo en la medida que permite a las comunidades dar cuenta de cambios de gran magnitud en su territorio y adaptarse de forma coherente a las transformaciones, evitando así posibles mermas de recursos. Evidentemente, dichas referencias culturales tradicionales forman parte del acervo de conocimiento ecológico local que, más allá de un lenguaje científico, constituye una forma de comprender el territorio y actuar sobre él.

Constatación de los cambios: las pérdidas

Como se mencionó anteriormente, la constatación del cambio geográfico que significó el terremoto tiene dos momentos: uno que refiere al caos producido por el movimiento telúrico, que vendría a ser el momento negativo en que se constatan las pérdidas y los daños, pero hay también un segundo momento, esta vez positivo, cuya descripción se verá en el próximo apartado, y que hace referencia a la constatación de un nuevo comienzo, más específicamente, el humedal como producto del terremoto.

En términos de la constatación de daños y pérdidas, los relatos son abundantes. Comienzan por la pérdida de bienes materiales, tal como comentó una habitante de Iñipulli *"la gente perdió casi todas sus casas"*, pasando por recuerdos donde se hace patente la muerte que trajo el terremoto: *"ahí fuimos a mirar a un lugar [...] que está en altura, pero San José para allá era un sólo mar, y era una pena grande ver todo eso por el motivo de que venían animales muertos, aves, de todo de todo. El riñihuaso pasó por las huertas, venían las verduras, los canales llenos"* (Mujer, Pelchuquín).

La constatación de las pérdidas apunta finalmente a la transformación del paisaje y el cambio en la posición del río respecto a las zonas habitables. Este último fue un cambio permanente que se experimentó como disminución de la tierra habitable y trabajable, que produjo modificaciones en las formas de habitar y producir a partir de una transformación profunda y de largo plazo que da lugar a una nueva territorialidad:

"Nosotros perdimos de todo el terreno, como una hectárea, por inundación. Todo eso se perdió y después hubo que empezar a cultivar en la ladera del cerro, a hacer digamos terrazas y cultivas ahí".

(Mujer, Punucapa)

"Son terrenos que se han perdido, nosotros por lo menos acá perdimos, el río nos llevó, yo creo que fácilmente 150 metros. Y algunos vecinos también perdieron toda su propiedad porque se inundó completamente. Todo lo que ustedes observan hoy en día y ven con agüita antiguamente eran zonas agrícolas".

(Hombre, Cabo Blanco)

Constatación de los cambios: nacimiento del humedal

Numerosos relatos aportan información acerca de cómo se alteró el espacio habitado y trabajado luego del terremoto de 1960. Esto da lugar a lo que anteriormente se ha denominado el momento positivo de la constatación de cambios producidos por el sismo y que se refiere fundamentalmente al nacimiento del humedal:

"A raíz del mismo terremoto vino el riñihuaso, no sé si lo han escuchado, se reventó el lago Riñihue po, y ahí sí que quedó la escoba porque subieron todas las aguas, ahí aparecieron todas estas aguas que están, por ejemplo, en Cayumapu, todas esas cosas antes eran, eran ríos pero ríos angostos po, por ahí habían quintas, arboledas por los lados y ahora usted ve que es un puro mar".

(Mujer, Pelchuquín)

Un informante de Pelchuquín cuenta que *"antes del terremoto del 60, había dos ríos y su anchura era de 3 o 4 metros. Después que vino el terremoto, maremoto, se hundió la tierra y esos ríos se esparcieron por ambos lados"*.

En Punucapa, un hombre cuya familia tiene una larga tradición en el lugar, comentó:

"Cambió harto, sobre todo aquí está lleno de ríos entonces...antes eran ríos más angostos, tenías sus islas [...] era navegable, siempre, toda la vida ha sido navegable, pero después llegó el terremoto y empezó a fluir el agua, a crecer y empezó a llegar al borde de las pampas, y siguió y siguió y siguió y los animales arrancando [...] quedó la pura embarrá no más. Y de los ríos quedó solamente un sólo río pero ancho, ancho como un lago pa allá".

(Hombre, Punucapa)

Así, en la memoria de los entrevistados, el origen del humedal queda atado indisolublemente a los acontecimientos del año 1960, eventos que determinaron la geomorfología y, con ello también, la vida de quienes habitaban en torno al río Cruces.

"Si recordamos desde el año 60 que los dejó marcados a todos como valdivianos, cambió todo, cambio el paisaje, cambió la vida misma de nosotros, también cambió porque si bien es cierto que antes del terremoto teníamos acceso a Valdivia fluvial más que nada, porque por tierra tampoco habían caminos, era más fácil, era un río más angosto, que no tenía más de 500 metros de ancho, aquí en esta parte que yo vivo sobre todo. Y ahora si salimos para fuera y lo vamos a ver tiene una anchura como de 1200 metros, entonces la estructura se amplió totalmente porque como el suelo bajó y las aguas subieron, hizo todo este humedal que ustedes ven hoy en día, que antiguamente eran... al frente de mi propiedad había una isla, pucha lamentablemente no me acuerdo cómo se llamaba, pero ahí vivía... era habitable, y tenía incluso animales y eso está hoy en día totalmente inundado".

(Hombre, Cabo Blanco)

En palabras de una mujer de Punucapa: *"en ese tiempo los humedales no eran como ahora, los humedales eran, no sé, para darte una idea, un metro o dos metros de la rivera, eso era un humedal".*

Conocimiento ecológico: transformaciones en la flora y fauna local a partir del terremoto

A partir del nuevo inicio que significó el terremoto, los habitantes de las comunidades en torno al humedal reconocen cambios en la flora y en la fauna local:

"Los cisnes fueron llegando de a poco [...] bueno, los cisnes son migratorios, seguramente arrancaron de otro lugar y encontraron acá...porque después del riñihuaso salió el luchecillo, y ahí buscan los cisnes su alimento porque ellos son herbívoros [...] el luchecillo proliferó mucho porque, bueno... por el sedimento, en un principio era muy lindo porque nosotros veíamos todo florido, como es una planta acuática florecía, una flor blanca chiquitita... liliinda, parecía una pradera. Pero después cuando salíamos a remar cuando nos tocaba pasar con marea baja... echábamos chispas contra el luchecillo, se enredaba en las palas de los remos, tanta fuerza, se transformó en un obstáculo, y empezamos a sacarlo, al menos el que estaba en el sendero del bote, pero proliferaba, al otro año estaba lleno".

(Mujer, Punucapa)

"Las que aparecieron muchas también pal terremoto fueron las famosas jarpas, carpas o jarpas, eso llegaba a dar un poco de asco verlas en el río porque era así, hacían así [movimiento ondulante con las manos] todo el día"

(Mujer, Pelchuquín)

La referencia a los cisnes se repite en numerosas ocasiones, constituyendo un elemento característico que encarna parte de la historia del humedal. Su aparición, desaparición y reaparición es un bio-indicador y acompaña la comprensión de los diversos hitos socio-ambientales del humedal. Una informante de Iñipulli resume en los cisnes las distintas crisis del territorio, desde el terremoto al momento posterior a la crisis ambiental del año 2004:

"Y a debido de eso [terremoto y riñihuaso] también después aparecieron los cisnes [...] antes no habían cisnes po. Los cisnes estaban en el lago Riñihue, ahí estaban los cisnes [...] después bajaron los cisnes acá al humedal que se llama ahora [...] pero una maravilla, preciosos los cisnes y bueno, y ahora, ahora está todo, otra vez se están recuperando los cisnes porque se habían perdido pu, ustedes eso lo saben [...] con la contaminación de la planta de celulosa".

(Mujer, Iñipulli)

El conocimiento ecológico local se manifiesta no sólo en la identificación de nuevas especies animales y vegetales, sino también en la identificación de las relaciones que estas especies mantienen entre sí y en los usos (productivos o de consumo) que los propios habitantes del territorio establecen con estas especies cuando son consideradas como *recursos*:

"Las partes que no se pueden ocupar como zona agrícola se fue invadiendo de aves, y así fue como se fue formando. Primero llegaron una parejita de cisnes y aparecieron las tagüitas... antiguamente habían pero muy pocas, a los cisnes no los conocíamos nosotros. Y, después del 60 en adelante, como 5 o 6 años después empezaron a aparecer las parejitas de cisnes y yo creo que fue más que nada porque empezó a haber comida alrededor, lo que antes no había porque antes venía el río y venía inmediatamente la zona agrícola que no tenían digamos como alimentarse las aves del río".

(Hombre, Cabo Blanco)

"Llegaron por lo menos después los pescados... la carpa que le llaman ahí apareció... después del terremoto, y se criaron rápido, se reprodujeron rápido, rápido [...] es comestible, yo lo encuentro rico, lo malo es que tiene muchas espinas [...] Llegaron los lobos también, sí, los lobos (marinos) antes no se veían [...] aparte que le da comida la gente que trabaja en el mercado se comían las carpas".

(Hombre, Punucapa)

Pero se constata también la desaparición de ciertas especies con posterioridad al terremoto, como nos comenta una informante de Punucapa: *“los venados, no vi más venados en el río, pero sí se ven en las quebradas todavía, los que se salvan del león (puma), porque el león llega hasta el río, se ven en las quebradas. Los choritos que nosotros sacábamos, las pancoritas que sacábamos, nunca más las sacamos porque esas las sacábamos a la orilla del río, nosotros nos íbamos a bañar y había ahí un poquito de barro y ahí habían de estos choritos”*.

Síntesis de las ideas centrales del eje

Las ideas centrales que se recogen respecto al impacto del terremoto sobre el territorio, de acuerdo a las memorias compartidas por los habitantes del lugar son:

- La *dramaticidad* de los acontecimientos es ampliamente referida y explica, en gran medida, la vivacidad de los recuerdos que se guardan del terremoto y posterior maremoto.
- Los relatos que hacen referencias trascendentes (religiosas o simbólicas) tienen, a entender de los investigadores, razones muy fundadas: frente a una transformación de magnitud inusitada, las explicaciones que dan cuenta de él requieren de la apelación a elementos no-cotidianos. Se asiste, literalmente, a una transformación de la realidad conocida y eso justifica el recurso a lo extraordinario. De hecho, sólo en lo referente a las memorias sobre el terremoto se ha encontrado el recurso mitológico para dar cuenta de las transformaciones socio-ambientales.
- Las transformaciones producidas en el territorio reciben una doble valoración: una negativa y otra positiva. La negativa se refiere a la constatación de las pérdidas: en vidas humanas, en vidas animales, en posesiones materiales y en tierra inundadas. Las transformaciones que reciben una valoración positiva tienen que ver precisamente con el nacimiento del humedal, cuyo origen está inextricablemente atado al terremoto. Es un nuevo inicio que trae consigo nuevas entidades: los

cisnes, las carpas, las tagüas, los lobos marinos y el luchecillo pasan a formar parte del paisaje.

- Resulta notoria la permanente referencia a la presencia o ausencia de cisnes a la hora de explicar cambios en el territorio. Es un bio-indicador muy asentado en el conocimiento ecológico de los habitantes. Se volverá a encontrar la descripción del comportamiento de los cisnes como una clave de comprensión de las transformaciones ambientales en el capítulo sobre la crisis ambiental del año 2004 que se presenta más adelante.

Las rutas del río: memorias del transporte fluvial

"Habían muchos vapores, muchas lanchas, bote a remo, toda la gente usaba bote, tenía bote, ahora no po, ahora hay micro, así ya dejaron los botes".

(Hombre, Punucapa)

Otro hito fundamental en la historia del HRC es el auge y posterior declive de la navegación como principal medio de comunicación y transporte de las comunidades. Resulta interesante notar que los relatos recogidos insisten en que esta forma de desplazamiento y movilización cumplió importantes funciones de socialización y constituyó una forma específica de comprensión del hábitat. Tanto los canales de circulación como el movimiento de personas estaban organizados en torno el río y sus afluentes. El declive de este conjunto de prácticas de movilización fluvial, que tiene como hito más notorio el fin de la circulación del vapor Collico, es también el declive de formas específicas de ocupar, comprender y desplazarse en el espacio.

Vapores y remos

Los recuerdos en torno a los vapores que circularon por el río Cruces son ampliamente compartidos. Vapores como el Collico o el Emilio son recordados por su importancia en el transporte y la movilización de la población hacia y desde Valdivia:

"Cuando venía el barco venía piteando para que la gente saliera a embarcarse. Salíamos en bote a tomar el vapor, ¿no cierto?, piteando después en la tarde cuando regresaba a las 4 de la tarde se venía también piteando que vayan a buscar a la gente que venía de Valdivia al campo, y nosotros salíamos en bote a buscarlos po. Entonces era muy pintoresco, era como el oeste [risas], claro, como en tiempos muy antiguos".

(Hombre, Cabo Blanco)

Evidentemente, el desplazamiento a través del río no involucraba sólo a personas sino también animales y productos diversos que se comercializaban hacia Valdivia o desde la ciudad a diversos pueblos:

"En los tiempos míos, o sea en la juventud, había un vaporcito que todos los días hacía la carrera Valdivia- La Punta- San Antonio, porque no había carretera [...] toda la gente de Pelchuquín venía a tomar el vaporcito, porque no había carretera ¡Y aquí había mucho movimiento! [...] Llegaban vacunos en tremendas lanchas, corderos, vacunos, chanchos, ovejitas, todos esos productos a Valdivia, de esa manera se vivía, y se cosechaba mucha chichita y todos tomábamos chichita, y aquí en Pelchuquín fue famosa la fábrica de chicha de Pelchuquín [...] a nivel nacional fue famosa".

(Hombre, Pelchuquín)

Según relatan diversos informantes, el uso de botes a remo por parte de las familias era algo usual: "en mi casa tenían bote, bote a motor, de esos antiguos, o si no remo", cuenta una informante de Punucapa. Comúnmente se utilizaban los barcos a vapor de mayor tamaño para llevar personas, animales y mercaderías, pero también para remolcar botes de pequeño tamaño, como es el caso que relató un informante de Cabo Blanco:

"en el vapor también había gente que llevaba sus mercaderías a Valdivia y cargaba sus botes, para no trasladarlos al barco se iban a remolque del vapor, entonces que es lo que pasaba, era muy lindo, yo creo que por ahí deben haber algunas fotos donde el barco iba con 4, 5 o 6 botes a remolque...ah".

(Hombre, Cabo Blanco)

Situaciones similares son narradas en Iñipulli donde *“había una sola pasada, porque baja un río para allá y va a salir al río Cruces, nosotros salíamos en un bote para allá a tomar el vapor”*, según cuenta una mujer que ha vivido muchos años ahí, en directo contacto con el río.

Pero los vapores y botes no son sólo recordados por sus usos económicos, como el transporte de animales, mercaderías o leña, sino *“sobre todo para la procesión de la Virgen”*, según explicó un antiguo residente de Punucapa, donde la importancia de la fiesta que se le ofrece a la Virgen de la Candelaria a inicios de febrero estaba en ese tiempo también asociada al despliegue de los medios de desplazamiento fluvial.

Del río al camino: declive del transporte fluvial y auge del transporte terrestre

Las prácticas de movilización fluvial estaban necesariamente asociadas a una temporalidad distintiva que permitía formas de relacionamiento o socialización que no son posibles en el marco del predominio del transporte terrestre. Por un lado, se recuerdan las instancias de socialización que eran posibles por la confluencia en torno a los vapores que circulaban en el río. Frente a la pregunta: *¿se hacía vida social en el Vapor?*, responden en Punucapa: *“Sí, si eran todos conocidos”* y en Pelchuquín: *“ahí corrían los vapores acá de Paico hacia Valdivia, cuatro vapores, y esos llevaban al pasajero de San José y de Pelchuquín, los de Pelchuquín se embarcaban en la Punta, con carretas se iba toda esta gente para allá. Y ahí conocí a la juventud de aquí pu”*. Por otro lado, se hace alusión también a los sacrificios asociados a las formas de desplazamiento tradicionales, tanto por los largos viajes y esperas que debían hacerse para ir desde los diversos poblados a Valdivia, como por el uso de botes a remo o de carretones para moverse por vía terrestre:

“Que ahora ya la gente está más cómoda también, claro, cuando andar en bote a remo que eran dos horas hasta tres horas a veces, según la marea... era muy sacrificado también, imagínese a puro remo”.

(Mujer, Iñipulli)

Un informante de Quitaqui rememora la muerte de dos familiares y recuerda los peligros fatales asociados a la navegación del río:

"Falleció mucha gente en el río. Venían en un bote y el operador del bote venía más o menos con el copete y como hay troncos, le plantó el cabezazo al tronco y... la mercadería que traía se fue toda al río, las cajas con cosas... fue terrible".

(Hombre, Quitaqui)

Se mencionó anteriormente que las formas de desplazamiento en el territorio determinan no sólo una experiencia particular del tiempo sino también una concepción específica del espacio y los elementos que lo componen. En este sentido, las formas de transporte y movilización fluvial se asocian a un conocimiento ecológico que se da, por así decirlo, *desde el río*. Al respecto, se rescata el relato de una informante de Locuche en que expresa de forma muy precisa ese conocimiento adquirido desde su asiento en el vapor:

"Sí pues nosotros el río lo conocimos... nosotros incluso cuando estudiábamos íbamos en el barco y nos íbamos estudiando en el barco porque el barco era grande y atrás era como un reservado para nosotros [...] y ahí íbamos mirando, por ejemplo ahí pasaban las taguas, los patitos con sus familias. Yo me acuerdo, parece que los estoy viendo, que iba la pata y los pichoncitos en la cola (risa). Después las garcetas, la garza real, había una garza real, porque acá hay aproximadamente doscientas especies de aves y otras tantas que no son conocidas"

(Mujer, Locuche)

A partir de los relatos se hace notoria una asociación, más o menos explícita, entre la transición del transporte fluvial al terrestre y el paso de dinámicas sociales de tipo tradicional a otras de tipo moderno. Más específicamente, el predominio del transporte terrestre contribuye a diluir instancias de encuentro y socialización que la reunión en torno a los vapores facilitaba. El declive del transporte fluvial (que aún no ha desaparecido del todo) no es la única causa de la desarticulación de las instancias de socialización tradicional, pero ha contribuido a ello.

"En esos tiempos se oía que estaban abriendo un camino, de San José hacia Valdivia, pero esa era una cosa casi que... imposible, como le dijera partir los cerros con dinamita, se sentía, y cientos de personas trabajando por años, por muchos años [...] No había autos, ¿cómo se trasladaban? con carretones, con puros carretones [...] Después del terremoto cambió todo ya po, incluso este camino pue, este camino que va a Valdivia, la carretera pue, la carretera, se montó todo este asunto de la carretera y después del terremoto ya la gente empezó, de acá de San José de Pelchuquín, todos, tomar y ya en el vapor ya quedó casi sin pasajeros [...] anteriormente esta era una cosa, pero era, al llegar acá frente al mercado era un mar humano de gente, y aquí comprando las gallinas, los quesos, los huevos, los patos, toda la gente ahí, las verduras de aquí de la zona, y ahora las verduras y las frutas de la zona no llegan ya pue, se fija que todo viene del norte".

(Mujer, La Punta)

Síntesis de las ideas centrales del eje

Las ideas centrales que se recogen respecto a las transformaciones producidas desde el auge de la navegación fluvial hasta su declive y sustitución por el transporte terrestre, de acuerdo a las memorias compartidas por los habitantes del lugar, son:

- La navegación fluvial nutre de un amplio repertorio de imágenes, vivencias y recuerdos a los antiguos habitantes del HRC. Desde su auge hasta su declive definió una forma específica de conocer y actuar que se ha denominado *desde el río*.
- La influencia de la movilización y desplazamiento fluvial irradia diversas dimensiones de la vida comunitaria, como la económica, religiosa y social.
- La *temporalidad* específica definida por la navegación, como principal medio de transporte, estuvo vinculada al desarrollo de un tipo de sociabilidad ya casi desaparecido. Los *tiempos* vinculados a la navegación coincidían con los *tiempos* del compartir y el conocerse entre los habitantes del HRC.
- Por otra parte, la navegación fluvial se asocia también a la dureza de las condiciones de vida de la época. La transición a una movilización predominantemente terrestre es expresión de un cambio desde condiciones de vida *sacrificadas* a otras más *cómodas*. Pero, tal como se verá más adelante, otros

factores han contribuido a acelerar el paso desde formas de conocer y actuar *desde el río* a formas de conocer y actuar *de espaldas al río*.

Crisis ambiental del humedal del río Cruces

“Desapareció todo lo que había sobre el agua y me imagino que todo lo que había bajo el agua”.

(Mujer, Punucapa)

El tercer hito histórico en torno al cual se organizan los relatos es la crisis ecológica del año 2004, producida por la descarga de residuos líquidos de la planta de celulosa de la empresa ARAUCO en el HRC. Las experiencias de los habitantes del humedal respecto a la contaminación, tienen como principal indicador su percepción de alteraciones en el entorno. Estas alteraciones, que era posible *ver* y *oler*, les permitieron identificar que se estaba produciendo una situación anormal en el ambiente. La mayor parte de los informantes reconocen haber percibido ciertos cambios directamente asociados a la contaminación del humedal, pero algunos también reconocen no haber hecho una asociación inmediata entre los cambios que identificaban y el funcionamiento de la planta de celulosa.

Las memorias expresadas en torno a este acontecimiento se han dividido en tres partes: i) la identificación de aquellos elementos o especies que desaparecieron como producto de la contaminación del río; ii) la identificación de un proceso de recuperación del humedal en la actualidad; y iii) las prácticas sociales que fueron afectadas por la contaminación del río.

Percepción del desastre

"Después de la celulosa, yo creo que murió todo, no quedó nada, nada, nada verde, nada, nada, el agua se puso color café, fíjese color café el río, estaba como... como chocolate el agua, entonces todo lo que había: el verde, el huero, el luchecillo, la totora se murió, total [...] No había nada ni pájaros, ni nada, quedó totalmente desierto el río, eso daba pena, no había nada de verde, nada, nada, nada [...] Y el olor que había, fíjese, yo estoy aquí en La Punta, yo estoy a un rango de dos kilómetros, tres kilómetros, allá no se podía dormir pue, el olor era una cosa terrible".

(Mujer, La Punta)

La experiencia que los habitantes del humedal tuvieron de la contaminación del río Cruces está definida por las alteraciones sensibles que esta trajo consigo: es en primera instancia los malos olores y el cambio de color del agua lo que los alerta del proceso de transformación en el río. Evidentemente, dicho proceso de transformación afectó directamente la sensorialidad de los habitantes:

"Usted se levantaba en la mañana y los ojos le ardían. Era como un olor a... como lo voy a decir, un olor a azufre, un olor a baño, a esos baños cochinos así, ese olor [¿amoníaco?] sí, eso, le hacía llorar, sí. Había que estar con los niños bien metidos adentro de la casa, no sacarlos afuera".

(Mujer, Pelchuquín)

También se recuerdan signos externos a través de los cuales comenzó a manifestarse la contaminación: *"como habitantes empezamos a ver que el río estaba cambiando de color [...] paulatinamente, nuestros botes que teníamos empezaron a aparecer con una franja amarilla... y antes no, absolutamente no"* (Hombre, Cabo Blanco). Una informante de La Punta establece una conexión directa entre contaminación y merma de recursos en el lugar donde vive:

"Incluso cuando estaban al principio esos malos olores, las quintas no daban, las flores no alcanzaban a desarrollarse y la fruta quedaba como higo, chiquitita. Fíjese en las manzanas, todas chiquititas, donde sacábamos 200 sacos no sacábamos nada, ni medio saco de manzanas, todas arrugaditas como higo las manzanitas".

(Mujer, La Punta)

Sin duda son las alteraciones producidas en la flora y en la fauna las que constituyen los bio-indicadores más reconocidos para dar cuenta de la devastación que produjo la contaminación del río. Entre estos bio-indicadores se insiste permanentemente en la disminución de la población de cisnes de cuello negro, quizás el ave más llamativa del humedal y, por lo mismo, la más recordada para dar cuenta de las alteraciones que ocurrieron. Varios relatos recogidos en la zona nororiente y norponiente dan cuenta de esto:

"Terrible, todos los animalitos que habían se desaparecieron del río, pero los más tristes fueron los cisnes [...] una matanza. Y las otras fueron las taguas que le decimos nosotros [...] también se murieron todas. Si yo creo que lo que quedaron, pero muy poco, fueron los famosos cuervos [...], se parecen a los patos pero más negros, esos son los cuervos. Había mucho treile de mar, eso había mucho a la orilla del río y ahora ya no se ven, ahora están como apareciendo otra vez un poquito".

(Mujer, Pelchuquín)

"Antes del accidente de la celulosa usted veía que estaban las garzas, estaban los cuervos, lobos también subían, los cisnes de cuello negro, las pollollas, parecidas a los patos, más redondito el cuerpo, los patos".

(Mujer, La Punta)

"Alguien me contó que CONAF había contabilizado antes de que la celulosa empiece a funcionar, como que había contabilizado algo de 3 mil [cisnes] pero ahora último 15 o 20 se veían, menos quizás [...] no sé si murieron, se fueron, no sé qué pasaría".

(Hombre, Iñipulli)

"Yo cuando recién me casé, mi casa estaba ahí, y el río era maravilloso, se podía bañar uno, andar en bote, andaban jarpas, salmones, lobos, o sea, naturaleza preciosa, después de eso vino la contaminación de la Celulosa Arauco, eso se volvió óxido, se murieron los cisnes, se murieron las algas de abajo, es decir, ya la gente no se pudo bañar por la contaminación del mismo río, se puso todo más feo, algo como que se quemó, como que se quemó el río en esa parte [...] eso ya pasó de ser río a ser barro, con óxido y olor y todo".

(Mujer 2, Pelchuquín)

La comprensión de las transformaciones del humedal a partir de la contaminación combina, al menos, dos dimensiones de la experiencia de los habitantes: una *perceptiva*, en que tienen mayor relevancia los sentidos a través de la cual se perciben los cambios (olores y colores), y otra *emotiva*, referida a los sentimientos asociados al paisaje y sus

elementos. Un breve relato de una mujer de Punucapa da la clave para comprender cómo se entrelazan ambos aspectos, sensorial y emotivo, en el proceso de conocimiento del territorio y en la identificación de alteraciones en este:

"Nosotros veíamos las carpas antes como andaban... porque las carpas también son herencia del riñihuaso, entonces andaban con su lomito arriba, después nada, nada, nada. Teníamos, me acuerdo, un tremendo sauce, que todavía está, en la casa ahí en el río, y ahí anidaban los coipos, pero camadas grandotas y nada, pero nada, nada. Daba lástima, daba pena, daba indignación, daba una impotencia tan grande que yo te digo, llorábamos de pura pena, sinceramente".

(Mujer, Punucapa)

Algunos informantes reconocen que el establecimiento de la conexión entre contaminación del río y la planta de celulosa no fue algo inmediato. Se menciona la existencia de otras instalaciones productivas con un historial de contaminación anterior o, simplemente, el desconocimiento del origen de lo que estaba sucediendo:

"Nosotros notábamos que el agua del río...claro que existían unos lavaderos de oro arriba, "Madre de Dios", entonces esos siempre ensuciaban el agua en invierno, también cuando llovía [...] el agua traía, como las tierras son rojas, traía... el agua de lluvia arrastraba la tierra roja y la tiraba al río y eso ensuciaba las aguas. Nosotros en invierno siempre veíamos las aguas así medias rojas, pero no rojas como la tinta que tiñó la celulosa, porque ese era un color rojo rojo. Y yo me acuerdo que íbamos al campo con mi marido y me dijo, "oye, mira el agua", llegando al río donde vivimos nosotros, [...] Nosotros no pensamos que era la celulosa, cuando empezamos a escuchar las noticias en los medios de comunicación, ahí sí, ahí nos dimos cuenta".

(Mujer, Punucapa)

La mención a los medios de comunicación por parte de la informante de Punucapa se repite también en otros relatos. Esto es importante ya que también forma parte de la experiencia que se tuvo del fenómeno de contaminación. En primera instancia, se toma conocimiento de lo que sucede a través de una experiencia sensible directa, sea visual u olfativa. Simultáneamente se despliega una forma emotiva de comprender estos cambios, a menudo manifestada como tristeza o impotencia por la desaparición de la flora y fauna conocida que desaparece del lugar. Pero un tercer elemento, está constituido por la información que proviene de los medios de comunicación y que comienza a dar forma a la

situación en su conjunto. Esta información, es a menudo considerada como objetiva. Es en ese momento cuando algunos de los informantes reconocen haber establecido definitivamente que el origen de la contaminación del río estaba en la planta de celulosa de Arauco.

Recuperación del humedal

Transcurrida más de una década desde los acontecimientos antes referidos, los habitantes de distintos sectores del humedal entregan abundante información respecto a lo que denominan como la *recuperación* del HRC:

"Se ha ido recuperando bastante fijesé, ahora estamos viendo los cisnes, yo vi en mi casa el otro día, conté 30 cisnes con sus pollos. El agua está clara, está clarita el agua de acá, y está naciendo nuevamente el huiro y el luchecillo, pero bien débil, pero ya se ve en la orilla ya, se ve en la orilla, es como enredadera".

(Mujer, La Punta)

"He visto cuando voy al puente que los cisnes que se habían desaparecido regresaron. Y por acá uno ve todos los pajaritos que ve siempre: los tuiques, los treiles, los zorzales [...] y se volvió a ver el huiro".

(Hombre, Quitauqui)

"Permanentemente el agua estaba turbia, ahora se ha notado mucho porque el agua se está aclarando y están volviendo los pájaros que se habían ido, especialmente los cisnes. Porque uno a veces cuenta, que se yo, más de 200 o 300 cisnes empiezan a llegar ahí, especialmente ahora en el invierno habían muchos".

(Hombre, Pelchuquín)

"Mira, tenemos tagüita no cierto, tenemos los cisnes, que son los principales cierto, los patos silvestres también, gaviotas que también han llegado... y hubo un tiempo nada, cuando estuvo infectado el humedal no... nada... la tagüita no ha vuelta en la cantidad que ha vuelto el cisne [...] [¿Se ha recuperado el humedal?] yo creo que estamos en un 70%".

(Hombre, Cabo Blanco)

De acuerdo a los testimonios recogidos, los habitantes identifican un proceso de recuperación del humedal que se hace visible en la reaparición de la flora y la fauna extinta tras la crisis ambiental del año 2004. En algunos casos, el inicio del proceso de recuperación se asocia directamente al momento en que la empresa fue sancionada:

“El Consejo de Defensa del Estado ganó el juicio a la celulosa y la celulosa se comprometió de no botar más desperdicios contaminados al río Cruces, y desde ese momento empezaron a aclarar las aguas y empezaron a volver los pájaros que se habían ido y empezó a crecer el luchecillo debajo de la profundidad del río, ese es el alimento principal de las aves acuáticas, y no solamente de las aves acuáticas, del coipo, el huillín”.

(Hombre, Pelchuquín)

“Una vez que se sancionó a la celulosa empezaron a hacer cosas para activar el río otra vez, hoy en día, como yo lo veo desde mi casa, está volviendo a florecer: ya se ven cisnes, con sus pajaritos, ya andan lobos, ya andan jarpas”.

(Mujer 2, Pelchuquín)

Se manifiestan también algunos puntos conflictivos entre las comunidades respecto a los potenciales beneficios que podrían conseguir con la sanción a la empresa:

“la gente se bañaba antes que viniera la celulosa y el agua era limpia porque nosotros nos recreábamos, hacíamos recreación, nos íbamos a bañar ahí, antes había más población acá en este sector, entonces nos juntábamos a veces los fines de semana ahí en el muelle, allí en Cuyinhue también, se bañaba la gente y habían botes, pero aparte después dejaron de venir los barcos [...] y después ya uyyyy se murieron los cisnes y toda la cuestión, pero y después hay gente que se empezó a interesar para cobrar toda la cuestión, como los de Punucapa que cobraron una indemnización”.

(Mujer, Locuche).

La crisis ambiental del año 2004, sigue teniendo consecuencias para las comunidades del HRC. En la actualidad se ha puesto en marcha una nueva institucionalidad orientada a la protección del humedal y, complementariamente, se han destinado recursos de apoyo al desarrollo comunitario en el territorio. Estos son nuevos elementos y nuevos actores sociales que se integran al humedal. Si como se decía anteriormente, se considera el humedal como un sistema complejo de interacciones, es esperable que la introducción de nuevos elementos genere nuevas relaciones. ¿De qué tipo? No es posible prever aún las consecuencias que estas nuevas intervenciones tendrán en el territorio. Por ahora sólo es posible avizorar que la orientación de dichas relaciones y sus consecuencias, deben ser objeto de seguimiento y análisis durante los próximos años

a la luz de variables como la emigración juvenil y la modernización de ciertos aspectos de la vida rural, que se mencionarán más adelante.

Cambios en las prácticas de relacionamiento

Uno de los impactos más profundos que tuvo la crisis ambiental del año 2004 fue el abandono de ciertas prácticas de relacionamiento entre los habitantes de las comunidades y el río. El panorama descrito como común o normal con anterioridad a los acontecimientos referidos, queda ilustrado en el relato de un informante de Pelchuquín:

"Mis hijos aprendieron a nadar en el río, todos, todos aprendieron a nadar. Era de todos los días, en verano era todos los días, incluso íbamos, cuando vivíamos en San Antonio, teníamos un amigo que vivía más cerquita del río que nosotros, y nosotros nos íbamos, por ejemplo, yo trabajaba y después salía a las 4 de la tarde, pasaba a buscar a mis niños y nos íbamos al río, tomábamos once a la orilla del río, los chicos como los patitos al lado, un agua limpia".

(Hombre, Pelchuquín)

Estas prácticas de entretenimiento y recreación se vieron imposibilitadas con posterioridad a la contaminación del año 2004:

"La mayor atracción de la gente que venía aquí al lugar era el río, porque cada persona tenía su bote, sea a remo, a motor, para recorrer la zona a través de los ríos y también se practicaba la pesca, había mucho salmón y trucha. Cuando llegó la contaminación se murió todo, se fue la fauna y la flora".

(Hombre, Pelchuquín)

Incluso una informante de Punucapa se refiere a emprendimientos de tipo productivo que quedaron trancos como consecuencia de la crisis ambiental: *"[en Punucapa] la situación era precaria. Se dio esta oportunidad de hacer emprendimientos turísticos y hubo gente que los inició [...] y vino el desastre ecológico".*

Se verifica un sentimiento de desconfianza e incluso miedo, aún hoy, por parte de algunos habitantes respecto al río. Esto porque no se tiene pleno conocimiento de su estado:

"Harto menos relación con el humedal, o sea, se bañan algunos cabros de ahí, se bañan pero no saben que el río está contaminado [...] Antes sí po, si antes uno andaba en bote en la mitad del río y veía el fondo cristalino y se veían las conchitas y se veían los pescados, ahora no po, ahora a un metro uno no ve nada".

(Hombre, Punucapa)

"Todavía hay como un miedo de bañarse en el río, porque uno no sabe qué grado de contaminación tiene [...] Hay muchas personas que tienen sus parcelas que dan al río, entonces todos los animalitos beben el agua contaminada y eso yo creo que a la larga va a tener consecuencias".

(Hombre, Pelchuquín)

Las dudas generadas sobre los recursos naturales a partir de la contaminación abarcan un amplio espectro de elementos. Una informante de Pelchuquín se refiere a las consecuencias que tendría hasta hoy sobre los frutales de la zona:

"Dicen que cambió también la fruta, porque antes sacábamos manzanas, cerezas, pero árboles sanos. Hoy por hoy, chuta, de diez árboles frutales, cuatro, cuatro darán bien, el resto está todo dañado, o sea igual se consume pero no de primera calidad como debería ser como antes. Entonces dicen que todo eso es por la lluvia ácida que cayó y contaminó. ¿Científicamente comprobado? No sé, pero... ellos saben de sus siembras, de sus árboles frutales y en esa parte también se perjudicó esta zona, porque esta zona es de mucha fruta"

(Mujer 2, Pelchuquín)

Resulta importante considerar, en todo su alcance, la pregunta expresada por la mujer de Pelchuquín al referirse a la contaminación de árboles frutales por lluvia ácida: *"¿Científicamente comprobado?"* Ella reconoce no saber si está científicamente comprobado, pero toma como prueba válida los testimonios de los campesinos de la zona que trabajan con árboles frutales (*"ellos saben de sus siembras, de sus árboles frutales"*). Esto ilumina un aspecto fundamental del conocimiento ecológico local, y es que no es un sistema de conocimiento supeditado al sistema de conocimiento científico, sino que mantiene una autonomía relativa respecto a este. Si bien puede haber un interés en la comprobación científica, hay un interés inmediato (y acaso más directo) en el conocimiento que tienen de los recursos quienes se vinculan cotidianamente con estos en

la producción y en el territorio. Esto debe dar luces acerca de la importancia de reconocer la autonomía del CEL cuando se intenta generar diálogos entre sistemas de conocimiento.

Volviendo al análisis anterior, el punto más importante parece ser la desconfianza que se ha instalado respecto al río a partir de la crisis ambiental. Si bien existe desconfianza respecto a las actividades productivas que se realizan en el territorio y respecto a instituciones vinculadas al quehacer científico y técnico, la desconfianza termina por recaer directamente sobre el río y su estado:

"Eso sí, la confianza que la gente le tenía al río, como para bañarse, ya se perdió, esa confianza ya no está, hoy por hoy... antes los niños se bañaban pero hoy en día nosotros no les permitimos eso, por la misma contaminación que está. Entonces la confianza de la comunidad quedó en la contaminación".

(Mujer 2, Pelchuquín)

Sin embargo, esta desconfianza se contrarresta lentamente con la recuperación de prácticas de relacionamiento que habían sido abandonadas hasta hace un tiempo:

"Anteriormente nos bañábamos todos en el río, pero después cuando estaba contaminado se formó una capa amarilla que se iba a las orillas, viste tú, y dejaba todo infectado, era imposible, no podía uno meterse al agua. Ahora ya podemos decir, digamos, que el agua está ya prácticamente limpia nuevamente [...] anteriormente cuando en el verano unos se metían se enronchaban enteros, afectaba la piel, pero ahora ya el año pasado ya empezamos a bañarnos porque el agua está realmente más limpia y está digamos como cualquier agua de cualquier río y eso ha sido muy importante para todos nosotros porque también con eso llegaron las aves".

(Hombre, Cabo Blanco)

A entender de los investigadores, la recuperación de prácticas, e incluso la incorporación de nuevas prácticas de relacionamiento, es la única forma de superar la desconfianza que se ha posado sobre el río a partir de la crisis ambiental del año 2004. Se volverá a desarrollar este punto más adelante cuando se detalle la propuesta de intervención en escuelas rurales que busca generar nuevas prácticas de relacionamiento con el humedal por la vía del monitoreo ecológico.

Como último punto, y relacionado con el anterior, los informantes hacen una autocrítica en lo que respecta a su propia capacidad de reparar en la gravedad de la crisis ambiental. Un informante de Punucapa, reflexionando sobre las propias capacidades de monitoreo de la comunidad, plantea: *"también fue culpa nuestra, porque no estuvimos alerta de lo que estaba pasando. O sea, empezaron a desaparecer las aves y a nosotros no nos hizo click, hasta que vimos la macha roja, y empezamos a relacionar eso con las noticias y después vino acción por los cisnes"* (Mujer, Punucapa). Así, los desafíos para la protección del humedal que los habitantes mencionan son básicamente dos: monitoreo local y fiscalización de las empresas que operan en el territorio.

Síntesis de las ideas centrales del eje

Las ideas centrales que se recogen respecto a las transformaciones producidas por la crisis ambiental del año 2004, de acuerdo a las memorias compartidas por los habitantes del lugar, son:

- La crisis ambiental evoca entre los informantes la imagen del desierto: *"no quedó nada, nada, nada"*. Se asocian además términos como *óxido, barro, quemado*, haciendo evidente el marcado imaginario de devastación respecto a los efectos de la contaminación causada por la planta de celulosa en el HRC.
- En términos experienciales, los habitantes del HRC tienen una primera aproximación a los efectos de la contaminación por vía sensible: son los olores y colores del agua los que alertan sobre lo sucedido. Esta dimensión sensorial se complementa con una dimensión afectiva o emotiva del conocimiento: sentimientos de rabia, impotencia y tristeza frente a la constatación del daño ambiental.
- Por otra parte, un agente informativo externo, los medios de comunicación, contribuyen a dar unidad a un relato en que se asocian la crisis del HRC con la operación de la planta de celulosa de ARAUCO.

- Se encontró en repetidas ocasiones la referencia a la presencia/ausencia de cisnes de cuello negro como bio-indicador de los cambios ocurridos en el humedal y, especialmente en este caso, para ilustrar la gravedad del daño ambiental causado.
- Se menciona también la merma de población de diversas especies: luchecillo, treiles, cuervos, lobos marinos, pollollas (taguas), patos, carpas y salmones.
- En la actualidad se identifica un proceso de recuperación progresiva del humedal: se ha aclarado el color del agua, se ve mayor población de cisnes de cuello negro, tiuques, treiles, zorzales, también de taguas, carpas, coipos, huillín y la reaparición del huero y el luchecillo.
- Las sanciones impuestas a ARAUCO a raíz de la contaminación del HRC, son identificadas con el inicio del proceso de recuperación del humedal.
- La incorporación de nuevos recursos y nuevos actores al sistema de relaciones del HRC deben ser observados y analizados a futuro, a la luz de variables de cambio como la emigración juvenil y la creciente urbanización de zonas rurales aledañas a la ciudad de Valdivia.
- El abandono de prácticas de relacionamiento con el humedal es el impacto más profundo que a nivel social generó la crisis ambiental del año 2004: prácticas recurrentes que van desde la natación hasta las reuniones familiares en torno al río fueron abandonadas.
- Se ha configurado una desconfianza hacia el río a raíz de la contaminación que lo afectó. Sin embargo, la recuperación del humedal que los habitantes observan ha contribuido a recuperar, lentamente, algunas prácticas de relacionamiento. El fortalecimiento de esta dimensión práctica de las relaciones entre las comunidades y el humedal parece ser la vía más importante para enfrentar la ambivalencia desconfianza/recuperación que parece dominar la percepción de los informantes.
- El conocimiento ecológico local constituye un sistema de conocimiento con autonomía que no requiere de otros sistemas para operar, aunque pueda interactuar con ellos. Esto debe ser recordado cuando se inician procesos de

diálogo entre sistemas de conocimiento (por ejemplo, local y científico) que busquen fortalecer prácticas de monitoreo o fiscalización del HRC.

Presente y futuro de las comunidades

"De un cierto tiempo hasta acá la modernidad también como que nos ha llegado"

(Mujer 2, Pelchuquín)

El último hito en torno al cual se han organizado las memorias recuperadas entre los habitantes del HRC es el estado actual de las comunidades y sus proyectos a futuro. El momento presente se encuentra definido por dos tendencias de fuerte impacto: la sostenida migración de la población joven desde los poblados hacia zonas urbanas, y la dinámica de expansión urbana que, desde hace un tiempo, comienza a ejercer mayor presión sobre poblados cercanos a Valdivia de la zona suroriente y surponiente. Ambos fenómenos han generado importantes cambios en las comunidades, pero sus efectos se combinan con iniciativas productivas, educativas y comunitarias que nacen desde las mismas comunidades para proyectarse a futuro. Se revisaran algunos de estos elementos a continuación.

Migración juvenil y expansión urbana: ¿crisis de la ruralidad?

Uno de los aspectos reiteradamente mencionados por los informantes al conversar sobre las dinámicas sociales actuales, es la migración juvenil hacia las ciudades. Entre las razones referidas está la falta de trabajo en los poblados y en las zonas rurales aledañas, como relata una mujer de Pelchuquín: *"los fundos ya casi no tienen gente, trabajan con puras máquinas"*. Por contrapartida, las posibilidades de trabajo que ofrece la ciudad, especialmente Valdivia, atraen a la población joven. Relatos de Punucapa e Iñipulli ponen énfasis en este aspecto:

"La mayoría trabaja en Valdivia, aquí no hay una fuente de trabajo... hay muy poca juventud [...] incluso que la escuela tiene como cinco alumnos, y eso es por lo mismo, que no hay gente joven, y antes cuando yo estuve estudiando, pero años

atrás, acá habían como treinta cabros, cincuenta, la gente no iba a Valdivia a trabajar, no habían caminos y no había tampoco locomoción".

(Hombre, Punucapa)

"Ahora la juventud se ha ido, quedan los puros viejos no más [...] es que trabajo no hay acá y también como tienen más estudios y dicen "pa eso estudié pa ir a trabajar a otro lado, pa no estar enterrado en el barro" [...] y además trabajo no hay acá tampoco, como que en los fundos que hay un poco más allá trabajan unos cuantos".

(Hombre, Iñipulli)

Es notorio el establecimiento de una distinción entre el estilo de vida de las zonas rurales y el de las zonas urbanas como parte de la comprensión del fenómeno de migración: *"ahora la juventud no quiere nada con el campo, la mayoría, lo único que quiere es estar en la ciudad, porque en la ciudad tiene su sueldecito, quincenal, mensual, permanente, en el campo tiene que sembrar un año y cosechar otro año"* (Hombre, Pelchuquín). Es también la distinción entre un estilo de vida *sacrificado* y otro más *fácil*: *"Por escasez de trabajo, migran a la ciudad, ya se acostumbran a otra vida más fácil, en el campo es sacrificada la vida"* (Mujer, Iñipulli). Un informante de Quitaqui presenta una imagen muy gráfica del sacrificado estilo de vida que caracterizó a las generaciones pasadas del HRC:

"Aquí está muriendo la población de gente. Los jóvenes emigran, ¿en qué trabajan pue? Mis ancestros se dedicaban al puro carbón, a la leña. Iban con 60, 70 sacos de carbón que había que bajarlos a como dé lugar a llegar al puerto, no había esa huella de camino, con un caballito así y un camino así de ancho, y de eso vivía la gente".

(Hombre, Quitaqui)

La migración juvenil forma parte de una serie más amplia de transformaciones que usualmente denominamos *modernización*: cambios productivos y culturales que se materializan de diversas maneras pero que son comprendidos por los habitantes del HRC como un conjunto coherente, aunque problemático, de transformaciones. Estas tensiones se manifiestan también en términos inter-generacionales como brecha en la experiencia vital de jóvenes y ancianos:

"Como todo campo era más pintoresco que ahora, porque antes se veían las quintas, los bueyes, los jinetes con sus caballitos, no habían caminos buenos como ahora, habían puros senderos de tierra no más, pero era pintoresco porque cada parte tenía sus quintas que estaba en ese momento naciendo y produciendo, ahora está todo como más abandonado, la gente tiene otra mentalidad y ahora hay otra manera de vivir".

(Hombre, Pelchuquín)

"Las fiestas eran no un solo día, eran de varios días [...] todo fue contaminado, se puede decir, por el modernismo, por la modernización, antes la música en una fiesta era música auténtica, música en vivo y en directo, que los cantantes, los guitarristas, los acordeonistas, estaban ahí presentes, ahora con el asunto de los videos... de los equipos que hay, si viene un grupo de personas que quieren tocar el acordeón, 'estos son anticuados estos viejos' (risas). En una fiesta dieciochera ¡nadie sabe bailar la cueca! pero tóquenles una música extranjera, salta la pista, pasa no solamente aquí, pasa en todas parte".

(Hombre, Pelchuquín)

Pero la valoración de la modernidad es ambivalente. Una de las consecuencias más notorias es la migración juvenil y el creciente cierre de las escuelas rurales por falta de estudiantes. Pero, en términos generales, la modernización también se asocia con los avances técnicos que mejoran la vida cotidiana, como comenta una informante de Pelchuquín: *"de un cierto tiempo hasta acá la modernidad también como que nos ha llegado, porque antes aquí no había luz, no había agua, no había camión basurero, hoy por hoy tenemos electrificación, tenemos un agua que sea para lavar la ropa, tenemos locomoción, entonces... tenemos sede".*

La misma dinámica de modernización trae aparejada la expansión urbana que, desde Valdivia, ha comenzado a impactar las localidades cercanas a la ciudad. Desde hace un tiempo poblados como Cabo Blanco o Cayumapu han aumentado su tamaño, fenómeno de poblamiento que contrasta con el vaciamiento que se está produciendo en localidades más alejadas de la ciudad, como Iñipulli o Pelchuquín. Un informante de Cabo Blanco comenta el intenso vínculo con la ciudad capital de la Región: *"como Valdivia*

mismo está creciendo día por día, nuestro sector a estado cambiando al 100 por cien". Y luego ahonda en dichos cambios:

"Cabo Blanco es una parte de desarrollo de Valdivia, habitacional, porque usted ve que hay casas en todos lados. Aquí ya vemos más de 300 casas yo creo, fácilmente, entonces ha aumentado la población y nosotros como dirigentes de juntas de vecinos estamos empeñados en qué podemos entretener a la juventud... un proyecto de construir un gimnasio".

(Hombre, Cabo Blanco)

Estas transformaciones obligan a repensar la conectividad en el territorio. Una informante de un sector más alejado de Valdivia, La Punta, comenta sobre proyectos de conectividad a futuro:

"Yo sé que también hay un proyecto de tratar de que los ríos en este caso se reactiven otra vez, porque así se solucionaría el asunto de tanto vehículo en las carreteras [...] van a haber reuniones grandes de volver a habilitar la parte marítima [...] igual el tren valdiviano".

(Mujer, La Punta)

El antiguo tópico de las teorías del desarrollo en torno a la crisis de la ruralidad vuelve a reflejarse en estos testimonios y obliga a repensar la forma en que lo rural se articula con lo urbano y se transforma a partir de los procesos de modernización. Se puede insistir en diagnosticar una crisis de la ruralidad, sin embargo este diagnóstico, sin ser errado, poco aporta para comprender lo que los actores sociales situados hacen desde los territorios para enfrentar, resistir o, incluso, asumir dicha crisis. El próximo apartado indaga en actividades sociales y productivas que en la actualidad se perfilan como determinantes para el futuro de las comunidades del HRC.

Relaciones, proyectos y proyecciones

Al indagar en torno a las dinámicas sociales contemporáneas, los informantes entrevistados se refieren a la seguridad que les da vivir en lugares donde todos se conocen, a la confianza que tienen en sus líderes comunitarios y la fortaleza de los

vínculos sociales o redes que los unen con miembros de otras comunidades aledañas. Una informante de Pelchuquín detalla las diversas dimensiones del *capital social* que ella percibe como activo en su comunidad:

"Es muy familiar este sector de Pelchuquín, aquí todos nos conocemos, aquí le pasa algo a alguien y se sabe al tiro [...] cualquier cosa estamos todos ahí. [¿Tienen contacto con otras localidades?] Sí, con Tralcao, Longahue, Linhuento [...] Hay vínculos familiares y de conocidos, eso hace que haya cercanía, mucha comunicación entre la gente, en el sector de La Punta también, que es ese sector, ese está más apegado al humedal todavía".

(Mujer, Pelchuquín)

De acuerdo a esta narración, la solidez de los vínculos está apoyada en una ética de la presencia que valora lo conocido: *"Cuando una tiene, una es humanitaria con la gente que no tiene, porque se conocen"* (Mujer, Pelchuquín). En el marco de estas relaciones que cobran valor en la presencia y cercanía de los miembros de la comunidad se mencionan actividades como la Semana Santa -un hito de encuentro comunitario en Pelchuquín- y se dice también que *"en diciembre, cuando los niños hacen la primera comunión, ahí se junta mucha gente"* (Mujer 2, Pelchuquín). La realización del *Wetripantu* se menciona como parte de las prácticas asumidas a partir de la constitución como comunidad indígena.

En Punucapa un informante destaca el trabajo dirigencial: *"hay dirigentes que son bien buenos y tratan de juntar a la gente y la gente a veces les responde bien, se portan bien, son honestos"*. Pero también hay relatos que destacan la desconfianza asociada a la desarticulación del grupo comunitario tradicional. Una informante de Iñipulli comenta: *"la gente roba mucho acá, si ha entrado mucha gente a robar [...] La gente más antigua no queda casi, lo que queda es más... los renuevos como se dice, y está llegando gente nueva también"*.

Cuando se reflexiona sobre el *capital social* o las redes sociales y la fortaleza de sus vínculos, necesariamente surge la interrogante por el potencial que tienen dichos vínculos para mejorar los medios de vida de las comunidades (DFID, 1999). Esto es posible a partir de nuevos proyectos o iniciativas para mejorar el acceso o hacer más sustentable la

utilización de determinados recursos. Nuevamente en Pelchuquín es posible encontrar referencias ilustrativas sobre iniciativas educativas y productivas orientadas a mejorar los medios de vida de la comunidad:

"Hay un señor que está haciendo una granja educativa, y él ya mandó una invitación al colegio, mando una invitación para que traigan a los niños a conocer, el tiene por ejemplo ahí gallinetas, pavo real, hay un burro [...] ese que escupe, guanaco, le decimos el señor de las vacas raras".

(Mujer, Pelchuquín)

"La aspiración es hacer una feria costumbrista [...] El humedal a nosotros nos sirve bastante como tema turístico que nosotros podemos llamar a cierta gente, cierto público"

(Mujer 2, Pelchuquín)

"Por lo que he escuchado la gente quiere dedicarse a lo que es la parte agricultura, recuperar huertos familiares, ese tipo de cosas. También se había pensado, ya que nosotros no tenemos humedal, pero si queríamos limpiar la ribera del río, camino a Pilolcura de hacer una limpieza y de que se pueda recuperar un mirador que había ahí".

(Mujer, Cuyán)

Se combina esto con iniciativas productivas individuales:

"Yo en el verano me voy a hacer pebre, voy a la huerta traigo tomates, traigo cilantro, traigo de todo, y en el verano los huevos, ahora estoy entregando hartos huevos, estoy entregando casi 24 o 28 huevos diarios. Tengo una vecina que los lleva a vender, de hecho ahora los lleva a vender a Valdivia".

(Mujer, Pelchuquín)

Pero se identifican dificultades vinculadas al desarrollo productivo y comunitario.

Estas se producen por las modernas exigencias para captar recursos:

"Todo proyecto que uno quiere generar hoy por hoy cuesta mucho, porque como ahora está todo tan moderno. Que a usted no le dicen nada, la hojita trate de llenarla como pueda, está online... busque y llene... y por internet nos la manda por correo y uno llega a su casa, primero que nada: internet aquí aonde, apenas llega la señal de teléfono, el computador menos, todos se los llevan los niños al colegio... pa' los dirigentes jóvenes no es nada pero para dirigentes que están de

antes cuesta, y se genera un espacio de problema para nosotros postular... cuesta generar un proyecto".

(Mujer 2, Pelchuquín)

Cuidado ecológico y cambio climático

Otro aspecto fundamental para el presente de las comunidades, identificado ampliamente en sus relatos, es el de la sustentabilidad ambiental. Algunos testimonios identifican prácticas depredatorias locales que generan impactos ambientales negativos. Estas se ordenan en dos ámbitos: prácticas dañinas para la flora y fauna local que llevan a cabo los propios habitantes del HRC y el impacto de las empresas forestales en el territorio.

Entre las prácticas de contaminación o depredación local una informante de Pelchuquín, preocupada por la inconsciencia de los visitantes, comenta:

"Hay algo que a mí no me gusta, porque el día domingo está tapado de vehículos, pero también la gente no sabe cuidar el medio ambiente, no llevan una bolsa para las basuras, entonces cuando uno va, nosotros somos los que menos vamos, pero cuando uno va, ¿qué se encuentra? Usted se quiere ganar en este espacio, resulta que tiene que limpiarlo porque está lleno de bolsas, botellas, cuestiones de esas, es todo tirar ahí no más".

(Mujer, Pelchuquín)

En La Punta, un informante comenta sobre el uso de detonadores automáticos como espantapájaros que terminaron por expulsar a todas las aves del lugar: *"ya de noche seguía la detonación, detonación, entonces ya cuando se fueron estos ruidos empezaron a aparecer todos los pájaros que se habían ido, porque aquí no había ningún pájaro a la orilla del río: ni los cisnes, ni las taguas, ni una serie que habían aparecido y después se fueron, pero ahora que está en silencio volvieron".*

En Punucapa, un antiguo habitante, comenta sobre la caza irresponsable de aves en el lugar: *"Torcaza por ejemplo me acuerdo que, cuando era chico, habían hartas así*

como ahora, y un tiempo después desaparecieron las torcazas... las envenenaron todas [...] Una vez encontré una bandada de tordos, entre ellos un tordo blanco, entonces pucha dicen "no si es argentino", no faltó el desgraciado que lo mató". Se describen también otras prácticas de caza de animales en la zona surponiente:

"En esa época teníamos un vecino que cazaba coipos, vendía los cueros y se comía los coipos. Venados también, una vez me acuerdo que con mi mamá vimos un venado que estaba nadando y la vega esa que te digo se había... estaba la marea crecida así, es que había agua, pero la tierra era dura y nosotros corríamos detrás del venado a pata pela y los perros atrás, finalmente los perros lo cazaron al pobre y lo mataron".

(Mujer, Punucapa)

Por otra parte, se recopilaron comentarios referentes al impacto que han producido las forestales en el territorio. Se mencionan específicamente dos problemas aparejados a la expansión y operación de estas empresas: la propiedad de la tierra y la escasez de agua.

"Estas personas que trajeron, por ejemplo, esa gran empresa como la llamamos, empezaron a comprar terrenos para forestar pue, eso nadie parece que lo toca, esos cerros azules para allá en San José se los compraron todos, cientos de hectáreas [...] esos cerros estaban todos con madera así nativa [...] incendiaron y pusieron pino pue, los pinos, el eucaliptus, todo lo que están ellos ahora procesando. Así es que ellos empezaron muchos años atrás, como más de 20 años atrás, a comprarles la tierra a los indígenas, a los pobres indios ahí... y eso está todo forestado y ahí están ahora con su asunto de la celulosa. Entonces eso no lo ha tocado la gente, se ve que la gente siempre dice que empezó con la celulosa".

(Mujer, La Punta)

"Bueno ahora con las plantaciones de eucalipto el agua se está... como que se están secando las vertientes, corre poquita agua. Bueno en invierno es normal, pero ya ahora corre poca".

(Hombre, Iñipulli).

"En verano tuvimos una sequía terrible, no teníamos con que regar... se secaron las huertas... pero esto es debido a la plantación [¿cuál?] A la plantación de eucaliptus".

(Mujer, Iñipulli).

A estas observaciones se suman aquellas referentes al cambio climático que se percibe desde hace algunos años en el territorio. El principal indicador utilizado es la disminución de las lluvias, la disminución en el nivel de los esteros y la desaparición de lo que un informante de Cuyán llama *las avenidas* de agua:

"[Antes] llovía mucho más que ahora, llovía mucho [...] lo ideal sería que nos llueva más porque vienen las sequías, ahora todo se está apurando, usted hace una huerta y aflora...ya está floreciendo cuando no debería ser, debería ser en primavera [...] está muy adelantado".

(Hombre, Cuyán)

"Antes era más rico porque era más natural".

(Mujer, Pelchuquín)

"Bueno eso empezó, pero eso es el cambio climático, los esteros están bajando el nivel del agua, acá mi estero a bajado digamos más o menos aproximadamente estos últimos años un metro y el año antespasado, no, tres años atrás hubo una sequía ¿No sé si se acuerda? Mucho calor y ahí se veían las raíces, ya no quedaba agua, se veían las raíces de los árboles que están ahí en el agua, las pataguas, todas esas, pero eso es normal por el cambio, estamos con otro clima, ahora por ejemplo yo tengo fruta la higuera que antiguamente acá no se daban porque era frío si esas son del norte y ahora maduran las higueras, maduran las uvas bien maduras, pero eso no creo que haya influido la celulosa".

(Mujer, Locuche)

"Las avenidas se le llama cuando salen los ríos y las pampas se forman agua, ahí venían cantidad de patos silvestres, se llenaba, era como blanco así entero. Ahora ya no... [¿cuándo?] Esas son como en junio, julio [...] Pero ahora no es tanto, antes salía hasta afuera hasta la calle que los vehículos no pasaban para allá, ni iban para allá. Ahora no po. Este año hubo avenida pero nunca a tapar todo, cuesta mucho, antes el río subía hasta arriba [...] Recién vengo de hablar con otro caballero que me contaba lo mismo, que también me decía que cuando él era chico había hartas avenidas durante el año y que ahora con suerte hay una o dos en el año. A él lo mandaban a buscar los animales y era toda una aventura ir a buscarlos".

(Mujer, Cuyán)

Algunos relatos apuntan a la disminución o, directamente, la desaparición de flora y fauna que era característica de la zona:

"¡Ahora están escasos! Antes igual salían pudús con crías [...] Aquí mismo... antes cuando yo recién me vine a vivir acá a la casa, como al año después o dos años,

salía una hembra a comer acá al lado de la casa. En ese tiempo yo cortaba pasto con guadaña, como no tenía máquina todavía, y la hembra salía al ladito comiendo pasto...lo raro era que no arrancaba pa na' y yo nunca le hice nada tampoco [...] Dos años seguidos salió con cría, después no la vi nunca más, a lo mejor el líon se la comió [...] anda chingue también pero ahora último tampoco se ve, antes se veían las huellas ahí donde escarba pero ahora último como que se está perdiendo [...] Huillín hace como 15 años que vi uno allí abajo [...] tenía la cabeza redonda como un gato, las garras así y la cola cortita...y andaba en el agua [...] Y era bravo! Como que gruñía...tiene que haber sido huillín, yo no los conozco pero tiene que haber sido”.

(Hombre, Iñipulli)

“El fruto silvestre de la murta eso ya aquí en Cuyán por lo menos en todo este sector ya no existe. Porque nosotros íbamos y hacíamos un recorrido para arriba, para los cerros y traíamos los canastos llenos de murta y ahora con suerte traeremos uno de esos canastitos de adorno que tengo ahí. No, eso no. Hay que comprar la murta que viene de otras partes, que viene de otros lugares aledaños acá, pero aquí no, eso para arriba está todo forestado [...] El chupón también porque uno iba y encontraba su mata y ahora no, es difícil, uno tiene que subir muy muy al cerro y una mata que otra que ha quedado rescatada ahí entre medio, difícil”.

(Mujer, Cuyán)

Queda entonces la pregunta, ¿cómo podrán las comunidades del HRC enfrentar los desafíos sociales, económicos y ambientales que es posible identificar a partir de sus relatos? Por ahora, sólo se puede plantear que toda propuesta o iniciativa de diálogo debe tener en cuenta la importancia y arraigo que el conocimiento ecológico local tiene en el territorio, así como su dimensión práctica en tanto orienta, corrige y regula las prácticas de relacionamiento entre humanos y entre estos y los elementos no-humanos que constituyen el complejo sistema de vida que llamamos humedal.

Síntesis de las ideas centrales del eje

Las ideas centrales que se recogen respecto a las dinámicas presentes y a futuro de las comunidades del HRC, de acuerdo a las memorias compartidas por los habitantes del lugar, son:

- El presente de las comunidades está fuertemente determinado por dos procesos: migración juvenil hacia las ciudades y expansión urbana en zonas cercanas a Valdivia (zona suroriente y surponiente).
- La *modernización* de las zonas rurales recibe una valoración ambigua: es por un lado causa de la disminución de la población juvenil y del cierre de escuelas rurales, y por otro se traduce en mejoras técnicas cotidianas que son consideradas valiosas.
- La crisis de la ruralidad implicada en estos procesos debe ser comprendida a la luz de las prácticas y proyectos a través de los cuales los actores sociales proyectan su futuro y, por ende, asumen la transformación social del territorio.
- En este sentido, hay una fuerte valoración de la sociabilidad tradicional fundada en una ética de la presencia y la proximidad.
- Sobre este capital social, basado en lazos tradicionales, se apoyan iniciativas educativas, productivas y culturales que buscan proyectar a las comunidades en el futuro.
- Por último, la sustentabilidad ambiental es identificada como un tema clave para entender las preocupaciones actuales de las comunidades del HRC. Sumándose a la desconfianza por la posible contaminación del río –consecuencia de la crisis ambiental del año 2004-, se identifican prácticas depredatorias de flora y fauna a nivel local, así como también el impacto de las empresas forestales en el territorio. Todas ellas constituyen objeto de preocupación actual entre los habitantes del HRC.

Monitoreo ecológico local

A partir del estudio de diagnóstico y el proceso de monitoreo del conocimiento ecológico local realizado desde el año 2014 en las comunidades del HRC, se concluye la necesidad de diseñar e implementar un programa escolar de monitoreo ambiental local, como estrategia de fortalecimiento del CEL entre las generaciones jóvenes y como instancia de diálogo entre conocimiento científico y local.

Los acontecimientos del año 2004 generaron un daño ambiental, pero también social, debilitando las relaciones que vinculaban a las comunidades y al humedal. Por lo mismo, un proyecto de promoción del conocimiento ecológico local que busque generar un modelo participativo de monitoreo debe partir por considerar este desafío: volver a acercar a las comunidades al HRC. De esta forma, se pueden comenzar a ensayar nuevas prácticas de relacionamiento que contribuyan a revertir la lógica de vivir de espaldas al río. Una de las claves está en que las comunidades desarrollen conocimientos y adquieran técnicas para realizar el monitoreo ecológico del humedal. Esto no sólo potencia su necesaria autonomía sino que también posibilita interfaces entre conocimiento científico y local.

Es importante recalcar que las comunidades son testigos de la actividad científica que se realiza en la zona, actividad que a partir de la crisis ambiental que afectó al HRC en el año 2004 se ha ido intensificando. Con posterioridad al inicio del proceso del Programa de Diagnóstico Ambiental e inicio del Programa de Monitoreo Ambiental del HRC, la presencia científica en el área y la producción de conocimiento científico sobre el humedal, se encuentra en su momento de mayor expansión. Al respecto, surge la interrogante, ¿cuál es el estado de las relaciones entre el mundo científico y las comunidades ?.

La investigación etnográfica muestra que existe un desencuentro entre ambos. Este se observa principalmente respecto a una de las actividades centrales del mundo universitario: la producción de conocimiento científico. Este conocimiento se genera al margen de las comunidades y sus resultados no se han insertado efectivamente en circuitos de comunicación en que participen los actores locales. No se verifica diálogo entre las diversas formas de conocimiento. Pero el punto es que la ciencia no puede constituir un proceso aislado, atingente sólo a la comunidad de práctica que la produce. Debe ser entendida como un proceso social, como una actividad que se constituye en sociedad y que tienen efectos sociales.

Las consecuencias que tiene la desconexión entre mundo científico y local en contextos de crisis social y ambiental, ha sido estudiada por Skewes (2004), justamente para el caso del conflicto entre la comunidad de Mehuín y ARAUCO a raíz del proyecto de ducto al mar que la empresa ha intentado implementar por ya varios años. Skewes (2004) sostiene que si bien existe una distribución desigual de los distintos tipos de saberes entre los actores sociales, incluido el conocimiento local, este conflicto empujó a la comunidad a cambiar su valoración del paisaje y tuvo como consecuencia la incorporación de conocimiento científico con miras a lograr una mejor relación con su entorno. De lo contrario, quedarían a merced de los expertos que, en el marco del conflicto, los acusaban de ignorancia. El estudio de Skewes (2004) reporta que el conflicto llevó a la comunidad a:

- Incorporar un lenguaje científico como parte de una estrategia retórica.
- Comprender de aspectos desconocidos del ecosistema local.
- Actuar de manera distinta a como se había hecho hasta entonces respecto al medio.
- Utilizar el conocimiento logrado a través del conflicto como herramienta para enfrentar nuevas situaciones ambientales.

Pero esta incorporación de conocimiento científico que realizó la comunidad no se hizo en el marco de un diálogo sino de un conflicto abierto con la Universidad Austral de Chile, principal agente productor de dicho conocimiento: *“lo medular del caso de Mehuín radica en la inconsciencia con que deviene la vida universitaria de los mundos de vida de las comunidades. Semejante inconsciencia se relaciona con una forma de entender la actividad científica, la cual, desde tal mirada, resulta ajena y extemporánea con respecto a las preocupaciones locales. Tal entendimiento se traduce en que finalmente se termine haciendo ciencia de espaldas a la comunidad”* (Skewes, 2004). Según el autor, dicha forma de entender la actividad científica es ficticia dado que, en la práctica, no es invisible y la comunidad es testigo y tiene una vivencia específica de ella. De estas vivencias la

comunidad aprende y dichos aprendizajes pasan a formar parte del patrimonio local. La historia del conflicto de Mehuín enseña cómo se pasó desde una situación en que la comunidad se sentía orgullosa de estar involucrada en la práctica investigativa de la Universidad (por la presencia de un laboratorio de ecología marina ubicado en el territorio y lo que eso generaba), pasando por exigir lealtad en el momento más álgido del conflicto con la empresa hasta llegar a la ruptura de relaciones en que la comunidad afirma que “la universidad nos ha traicionado” (Skewes, 2004). Aprendizajes como el anterior, indican que existe la responsabilidad de generar un diálogo de saberes que involucre tanto el traspaso de los conocimientos científicos a las comunidades locales para su potencial uso social, como también la valorización del CEL.

En este estudio se ha insistido en la necesidad de un diálogo de saberes entre el mundo científico y las comunidades. Dicha necesidad está avalada por la evidencia que muestra la investigación en terreno como por la literatura que ha estudiado los vínculos entre tipos de conocimiento en el contexto de conflictos socio-ambientales. Ahora bien, ¿cómo producir ese diálogo? El saber, al modo señalado por Ingold (ob.cit.) es un hacer, una destreza de involucramiento en el mundo. En consecuencia, los aprendizajes se traducen en nuevos modos de comportarse en el mundo.

Según se ha indicado más arriba, si las comunidades generan nuevos aprendizajes el saber adquirido se traducirá en nuevas prácticas. Se insiste en este elemento dado que el abandono de prácticas de relacionamiento con el humedal es el impacto más profundo que a nivel social generó la crisis ambiental del año 2004: prácticas recurrentes que van desde la natación hasta las reuniones familiares en torno al río fueron abandonadas. Por lo tanto la recuperación de prácticas, e incluso la incorporación de otras nuevas, es la única forma de superar la desconfianza que se ha posado sobre el río a partir de la crisis ambiental del año 2004. Entre estas nuevas prácticas de relacionamiento pueden estar aquellas basadas en aprendizajes incorporados en las comunidades desde el trabajo científico, constituyéndose con el tiempo en parte del patrimonio local. Dicho patrimonio

adquirido cobrará importancia según las condiciones históricas vigentes. El conocimiento científico podría permitir a las comunidades locales comprender aspectos desconocidos del funcionamiento del ecosistema local y tener más herramientas para encarar nuevos acontecimientos socio-ambientales en el futuro (Skewes, 2004).

En suma, se trata de ampliar el horizonte de la experiencia y de abrir el abanico de la percepción en que está fundamentado el conocimiento local. El CEL tiene reglas específicamente situadas de organización, está basado en las experiencias de vida y la validación cultural de esas experiencias. No tiene pretensión universalista, pero es holístico en su referencia a las diversas dimensiones del territorio. Además, como se ha indicado antes, no constituye un sistema de conocimiento que esté supeditado al sistema de conocimiento científico, sino que mantiene una autonomía relativa respecto a este. Si bien puede haber un interés en la comprobación científica, hay un interés inmediato (y acaso más directo) en el conocimiento que tienen de los recursos quienes se vinculan cotidianamente con estos en la producción y en el territorio. Al no estar organizado institucionalmente y por estar disperso en el territorio, puede resultar difícil la coordinación de instancias de diálogo con otros sistemas de conocimiento (técnico, científico). Por lo mismo, cobra valor el esfuerzo de sistematizarlo y relevarlo en aspectos específicos, tal como se ha hecho con las memorias en torno del HRC.

Entonces, ¿dónde debería implementarse dicho proceso de diálogo entre saberes? La evidencia indica que las escuelas constituyen nodos culturales claves para toda comunidad. Las escuelas son el centro de reunión y convivencia más importante de muchas localidades rurales, aglutinan a los miembros de la comunidad y son el eje a partir del cual se estructura el sistema de educación rural. A partir de las escuelas es posible potenciar una red que coordine a la comunidad, a otras escuelas, a la municipalidad y otras instituciones de educación como la Dirección Provincial o la Secretaría Regional Ministerial de Educación, etc. La escuela por lo tanto, es el punto de encuentro que más potencial tiene para albergar el diálogo entre en el CEL de las comunidades y el

conocimiento científico (ya sea generado por la Universidad o bien traspasado por el equipo técnico o por sus académicos). La línea de trabajo inicial será la elaboración de hipótesis de trabajo basadas en el CEL, que serán posteriormente trabajadas con herramientas de conocimiento científico.

El trabajo de investigación social realizado entre adultos mayores y habitantes de comunidades del HRC condujo necesariamente a una interrogante sobre el conocimiento ecológico local de las nuevas generaciones: ¿cuál es la dinámica de relacionamiento de las nuevas generaciones de habitantes con territorio?, ¿Conocen los niños la flora y fauna del humedal? Las generaciones mayores, ¿están haciendo un traspaso de conocimiento ecológico local a las generaciones menores?

Si el CEL consiste en conocimientos, prácticas y creencias situadas en un territorio y que se transmiten entre generaciones, entonces la historia del humedal debe ser construido a partir de muchas voces; algunas son voces de la memoria (adultos mayores) y otras son voces del presente (niños y jóvenes).

Para abordar las interrogantes antes planteadas durante el segundo año del Programa Ambiental del HRC, se ha diseñado una metodología participativa para ser aplicada entre los estudiantes de cuatro escuelas rurales, específicamente en las localidades de Cayumapu, Pelchuquín, Punucapa y Tralcao. La indagación en el conocimiento ecológico local y las prácticas de los niños, busca generar un diagnóstico que otorgue forma y coherencia a un programa de monitoreo del HRC asentado en escuelas del territorio.

Con base en la técnica de *mapas participativos* (IFAD, 2009) se ha diseñado una metodología de trabajo grupal en que los alumnos, utilizando piezas de *lego* de diversos tipos, tamaños y colores, debían trabajar en conjunto y realizar una representación creativa de la zona del humedal en la cual viven.

Se les preguntó entonces: *¿cómo representarías el humedal junto al cuál vives?* A esta pregunta debían responder utilizando los materiales dados. Posteriormente, debían explicar su creación colectiva, pensando que la explicación estaba destinada para alguien que no conocía el humedal.

El tiempo de trabajo fue alrededor de una hora y media a dos horas en cada escuela y contó con la participación del profesor o la profesora y, en algunos casos, de otro docente o asistente. Se realizaron registros fotográficos de esas actividades.

Escuela de Cayumapu

El día 3 de noviembre, entre las 10:00 y 12:00 hrs. se realizó la actividad en la Escuela de Cayumapu. Se contó con la presencia de dos docentes. Al comenzar se presentó al equipo de trabajo, el proyecto de monitoreo del humedal y se presentaron los alumnos. Se explicó la actividad y se dividió el curso en dos grupos de trabajo: uno de 8 niños entre 1ro y 6to básico, y otro de 4 niños de pre-kinder y kinder.

Las observaciones más relevantes que surgen a partir de la actividad con los alumnos de la escuela y su representación del HRC son:

- Se evidencia en los niños de Cayumapu una distancia respecto al río. Dicen no bañarse en él, no navegar en él junto a su familia ni interactuar de manera constante con el río.
- Parece ser que, en este sector, viven más *hacia adentro* que dirigidos al río. Se identifica “Camino Real” como un sector más cercano y volcado hacia el río.
- Sin embargo, a raíz de un taller de educación medio ambiental que tienen en la escuela, los niños reconocen flora y fauna presente en el HRC.
- A partir de las actividades realizadas en otras escuelas surge la interrogante si acaso hay una relación entre lejanía/cercanía a la ciudad de Valdivia y estilos de

vida más o menos orientados hacia el río. Una hipótesis sería que a mayor cercanía con la ciudad de Valdivia, se debilita la relación directa (en prácticas y conocimiento) con el humedal.

Escuela de Pelchuquín

El día 3 de noviembre, entre las 15:00 y 16:30 hrs. se realizó la actividad en la Escuela de Pelchuquín. Se contó con la presencia de una profesora y en parte de la actividad, con la directora de la escuela. Al comenzar se presentó al equipo de trabajo, el proyecto de monitoreo del humedal y se presentaron los alumnos. Se explicó la actividad y se trabajó con la *brigada ambiental* de 12 alumnos entre 6to básico y 8vo básico.

Las observaciones más relevantes que surgen a partir de la actividad con los alumnos de la escuela y su representación del HRC son:

- Se observa un conocimiento bastante acabado del territorio. Se identifica flora y fauna del HRC.
- Se comenta que las visitas al río no son muy frecuentes. Se reconoce que es peligroso bañarse por la presencia de lobos, palos o porque el agua es muy turbia.
- Algunos alumnos dicen que en su familia hay miembros que aún navegan en bote por el río.
- Se discute sobre las especies endémicas y las introducidas, los alumnos demuestran conocimiento sobre el comportamiento de la fauna local.
- Se concluye conversando sobre la importancia del terremoto en la configuración del territorio actual.

Escuela de Punucapa

El día 4 de noviembre, entre las 10:00 y 11:30 hrs. se realizó la actividad en la Escuela de Punucapa. Se contó con la presencia de un profesor. Al comenzar se presentó

al equipo de trabajo, el proyecto de monitoreo del humedal y se presentaron los alumnos. Se explicó la actividad y se trabajó con un grupo de 5 alumnos.

Las observaciones más relevantes que surgen a partir de la actividad con los alumnos de la escuela y su representación del HRC son:

- Los alumnos demuestran tener un gran conocimiento del HRC y lo representan como estrechamente vinculado e integrado al pueblo.
- Transmiten conocimientos sobre flora y fauna del HRC.
- Representan a los habitantes del sector como cercanos al humedal.
- No es la primera vez que trabajan en representaciones creativas del humedal. Terminada la actividad los niños muestran una serie de pinturas que han realizado antes sobre el HRC.
- Al final de la jornada una alumna comenta que la actividad le sirvió para *“expresar mi amor por el humedal”*.

Escuela de Tralcao

El día 14 de noviembre, entre las 15:00 y 16:30 hrs. se realizó la actividad en la Escuela de Tralcao. Se contó con la presencia de una profesora y su asistente. Al comenzar se presentó al equipo de trabajo, el proyecto de monitoreo del humedal y se presentaron los alumnos. Se explicó la actividad y se trabajó con un grupo de 3 alumnos.

Las observaciones más relevantes que surgen a partir de la actividad con los alumnos de la escuela y su representación del HRC son:

- Los alumnos demuestran conocimiento del territorio, ubican sus casas en el mapa y los accesos al río.

- Identifican flora y fauna del HRC y algunas prácticas familiares de relacionamiento con el río (navegación, pesca, etc.).
- La actividad va lentamente mostrando que la relación de los alumnos con el humedal es más fluida de lo que inicialmente parecía.

Programa de Monitoreo Ecológico

A partir de la información recolectada en las actividades de terreno se diseñó una propuesta de Programa de Monitoreo Ecológico, la cual fue revisada y ajustada con docentes y directivos de las escuelas participantes y con la Unidad de Educación Ambiental del Departamento de Administración y Educación Municipal (DAEM) de la I. Municipalidad de Valdivia, en reuniones y jornadas de trabajo. El Programa de Monitoreo Ecológico diseñado como resultado de este proceso se presenta a continuación.

Tabla 4.5.2. Programa de Monitoreo Ecológico Local diseñado para ser llevado a cabo en escuelas de Punucapa, Cayumapu, Pelchuquín y Tralcao.

UNIDAD	OBJETIVO DE APRENDIZAJE	CONTENIDOS	ACTIVIDADES	DESCRIPCIÓN
PLANIFICACIÓN CURRICULAR	-	Integración del Programa a la planificación curricular	Jornadas de organización y planificación curricular con docentes y directivos de cada escuela.	Reunión de coordinación y planificación de actividades en cada escuela.
	-	Integración del Programa a la planificación curricular	Jornadas de organización y planificación curricular con docentes y directivos de cada	Reunión de coordinación y planificación de actividades con las escuelas en conjunto.

UNIDAD	OBJETIVO DE APRENDIZAJE	CONTENIDOS	ACTIVIDADES	DESCRIPCIÓN
			escuela.	
	-	Planificación de actividades con escuelas de la red de monitoreo de humedales de la I. Municipalidad de Valdivia.	Jornadas de organización y planificación curricular con DAEM de I. Municipalidad de Valdivia.	Reunión de coordinación y planificación de actividades con las escuelas y el DAEM de la I. Municipalidad de Valdivia.
	-	Lanzamiento del Programa.	Inducción y lanzamiento en cada escuela: presentación de tutores, presentación de alumnos y profesor(es), presentación del programa y calendario de actividades.	Actividad de inducción y lanzamiento del Programa en cada escuela, dirigida a la comunidad escolar.
LANZAMIENTO	-	Lanzamiento del Programa.	Lanzamiento interescolar del programa en Valdivia (lugar por definir).	Actividad interescolar de inducción y lanzamiento del Programa, dirigida a alumnos, docentes y directivos.
INTRODUCCIÓN A LOS HUMEDALES	<ul style="list-style-type: none"> • Conocer los aspectos generales de los humedales y la importancia de la protección y conservación de estos ecosistemas. 	<ul style="list-style-type: none"> • ¿Qué son los humedales? • El agua, el suelo y los humedales. • Importancia social y ecológica de los humedales. 	<ul style="list-style-type: none"> • Actividad: ¿cuánto suelo existe en la tierra? • Clase expositiva acerca de las características e importancia de los humedales. • Aproximación desde <i>Google Earth</i> al HRC. 	<p>Utilizando una manzana y un cuchillo, se ejemplificará la cantidad de suelo existente en la Tierra que está disponible para uso humano. Luego, utilizando <i>Google Earth</i> como herramienta, se realizarán las siguientes actividades:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Observar la Tierra

UNIDAD	OBJETIVO DE APRENDIZAJE	CONTENIDOS	ACTIVIDADES	DESCRIPCIÓN
				<p>en tres dimensiones, identificando y comparando algunos ambientes mundiales.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Seleccionar el HRC y aproximarse a él desde la atmósfera, identificando distintas formas de relieve (volcanes, llanuras, valles, cordilleras) y asentamientos humanos. • Marcar hitos geoespaciales. • Las imágenes generadas serán guardadas y posteriormente compartidas con los alumnos de las otras escuelas que participan del Programa de Monitoreo.
	<ul style="list-style-type: none"> • Conocer los aspectos particulares del HRC como socioecosistema y la importancia de su protección y conservación. 	<ul style="list-style-type: none"> • Funciones y atributos de los humedales. • Beneficios de los humedales. • Usos sociales y productivos de los humedales. 	<ul style="list-style-type: none"> • Terreno en el HRC • Carta al humedal 	<ul style="list-style-type: none"> • Realizar un recorrido por el humedal, los alumnos deberán anotar todo aquello que les parezca interesante, describir el paisaje, los animales y la vegetación que se ve. • Una vez en el aula, se les pide a los alumnos que con los datos recopilados escriban una carta a

UNIDAD	OBJETIVO DE APRENDIZAJE	CONTENIDOS	ACTIVIDADES	DESCRIPCIÓN
		<ul style="list-style-type: none"> • Redes socioterritoriales de la comunidad escolar (docentes y alumnos) en relación al HRC. • Hitos territoriales: lugares preferidos, lugares amenazados. 	<ul style="list-style-type: none"> • Entrega de cartas y dibujos de niños de otra escuela. • Mapeo participativo de redes sociales de los profesores y alumnos en relación al HRC e hitos territoriales que se consideran importantes y puedan tener relación directa o no con el HRC. • Tarea: Profundizar individualmente y con las familias el mapeo realizado en clases. 	<p>niños de otro colegio contándoles cómo es el humedal, también pueden incluir un dibujo.</p> <p>Se compartirá con los alumnos las cartas enviadas por otras escuelas, se realizarán comentarios y promoverá una reflexión al respecto. Luego, utilizando un mapa de la zona del HRC en que se ubica cada establecimiento educacional, se realizará la siguiente actividad:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Marcar en el mapa lugares que sean importantes en la vida cotidiana de cada estudiante y que tengan alguna relación con el HRC. • Marcar en el mapa lugares donde vivan o realicen actividades personas que sean importantes en la vida cotidiana de cada estudiante.
RELACIONES ECOSISTÉMICAS EN EL HUMEDAL DEL RÍO CRUCES	<ul style="list-style-type: none"> • Conocer las características ecosistémicas del HRC, que permitan a los estudiantes contar con 	<ul style="list-style-type: none"> • ¿Qué es un ecosistema? • Componentes bióticos y abióticos del HRC 	<ul style="list-style-type: none"> • Clase expositiva con apoyo de soporte audiovisual. • Juego: ¿qué es un ecosistema? 	<ul style="list-style-type: none"> • Desarrollar un juego que permita entender qué es un ecosistema y comprender la importancia que tiene la relación de

UNIDAD	OBJETIVO DE APRENDIZAJE	CONTENIDOS	ACTIVIDADES	DESCRIPCIÓN
	recursos interpretativos frente a su observación.	<ul style="list-style-type: none"> • Flujos de materia y energía en el HRC • Redes tróficas en el HRC 	<ul style="list-style-type: none"> • Clase expositiva con apoyo de soporte audiovisual para introducir los conceptos de productores primarios, consumidores, predadores y descomponedores. 	<p>los distintos elementos naturales dentro de este.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Formar un círculo y asignar a cada uno de los integrantes un elemento natural. Con una madeja de lana se deben conectar o relacionar cada uno de los elementos. Una vez que estén todos conectados se debe explicar que lo que se formó es un ecosistema, en donde cada uno de los elementos forma parte importante en él. Al hacer que algún elemento suelte su parte de la madeja, se podrá ver que no sólo se afloja su parte sino también la de las otras personas o elementos que están conectados a él. <ul style="list-style-type: none"> • Tras aprender los conceptos de productores primarios, consumidores, predadores y descomponedores, se desarrollarán una serie de juegos en la sala y al aire libre para reforzar

UNIDAD	OBJETIVO DE APRENDIZAJE	CONTENIDOS	ACTIVIDADES	DESCRIPCIÓN
			<ul style="list-style-type: none"> • Juegos: Predador-Presa, Construir una pirámide alimenticia con los niños, ¿Cuántas garzas pueden vivir aquí? 	<p>diferentes mensajes tales como: un ecosistema solo tiene recursos suficientes para sostener cierto número de animales (capacidad de carga), en cada etapa del pirámide alimenticia, se pierde un poco de energía, un ecosistema necesita más productores que consumidores, etc.</p>
			<ul style="list-style-type: none"> • Clase expositiva con apoyo de soporte audiovisual para reforzar los conceptos de productores primarios, consumidores, predadores y descomponedores. • Actividad: elaborar una trama trófica 	<ul style="list-style-type: none"> • Con apoyo de material gráfico elaborado por los tutores, armar grupos y construir tramas tróficas con especies del HRC.
<p>CAMBIOS E HISTORIA SOCIOAMBIENTAL DEL HUMEDAL DEL RÍO CRUCES</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Establecer diálogos con miembros de otras comunidades de conocimiento para posibilitar aprendizajes recíprocos a partir de la experiencia y los conocimientos 	<ul style="list-style-type: none"> • ¿Qué es el conocimiento ecológico local? ¿Por qué es importante? • Hitos históricos importantes del HRC. • Transformaciones del HRC. 	<ul style="list-style-type: none"> • Reconstruyendo la historia: clase expositiva y muestra de objetos. • Selección de un informante de la comunidad para entrevistar en la escuela. 	<ul style="list-style-type: none"> • Con apoyo de una línea de tiempo, se narrará la historia del HRC y se utilizarán elementos arqueológicos, fotografías, archivos de prensa, etc. • De acuerdo a las redes socioterritoriales identificadas con anterioridad, se

UNIDAD	OBJETIVO DE APRENDIZAJE	CONTENIDOS	ACTIVIDADES	DESCRIPCIÓN
	adquiridos.			<p>seleccionará a un invitado especial (abuelo/a, padre/madre, vecino, etc.) que pueda ser entrevistado por los alumnos en la escuela.</p>
			<ul style="list-style-type: none"> • Confección de la guía o pauta de entrevista. 	<ul style="list-style-type: none"> • Planificar la entrevista a realizar. • Elaborar participativamente la pauta de entrevista a realizar. • Acordar y definir roles entre los participantes para la realización y registro de la entrevista.
			<ul style="list-style-type: none"> • Entrevista en la escuela. • Escribir un cuento o hacer un dibujo a partir de la entrevista realizada. 	<ul style="list-style-type: none"> • Aplicar la pauta de entrevista a un miembro de la red territorial de la comunidad escolar. • Registrar la entrevista. • Discusión y reflexión acerca de los cambios y transformaciones que han habido en el HRC a lo largo del tiempo. • Tarea: Escribir un cuento o realizar un dibujo o un cómic o una maqueta de alguna de las transformaciones mencionadas.
CONCURSO INTERESCOLAR	<ul style="list-style-type: none"> • Integrar los conocimientos adquiridos. 	<ul style="list-style-type: none"> • El HRC como socioecosistema. • Elementos 	<ul style="list-style-type: none"> • Presentación del concurso, sus pruebas y entrega 	<ul style="list-style-type: none"> • Entrega de bases y materiales para la realización del

UNIDAD	OBJETIVO DE APRENDIZAJE	CONTENIDOS	ACTIVIDADES	DESCRIPCIÓN
	<ul style="list-style-type: none"> • Instalar capacidades y competencias básicas para el monitoreo de flora y fauna en el HRC. 	básicos para el monitoreo de fauna en el HRC.	<p>del material para su preparación.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Desarrollo de pruebas del concurso en cada establecimiento • Desarrollo de pruebas del concurso en cada establecimiento • Desarrollo de pruebas del concurso en cada establecimiento • Encuentro interescolar: presentación de pruebas de cada establecimiento educacional y rally del humedal 	<p>concurso en cada establecimiento educacional.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Las pruebas del concurso interescolar serán definidas y diseñadas en función de los resultados obtenidos en la implementación del Programa. • Las pruebas del concurso interescolar serán definidas y diseñadas en función de los resultados obtenidos en la implementación del Programa. • Las pruebas del concurso interescolar serán definidas y diseñadas en función de los resultados obtenidos en la implementación del Programa. • Presentación de pruebas de cada establecimiento por categoría. • A partir del material entregado, se jugará un ralley en alguna cancha o área abierta cercana a la escuela. Se formarán equipos o

UNIDAD	OBJETIVO DE APRENDIZAJE	CONTENIDOS	ACTIVIDADES	DESCRIPCIÓN
				<p>grupos que recorrerán varios puntos dentro del lugar donde se desarrollará la actividad.</p> <ul style="list-style-type: none"> • En cada punto o estación se resolverán acertijos, adivinanzas, retos y preguntas relacionadas con el contenido del material entregado la semana anterior. • El puntaje obtenido por cada escuela corresponderá a la suma de los puntajes obtenidos por equipo.
Vacaciones de invierno				
AVES DEL HUMEDAL DEL RÍO CRUCES	<ul style="list-style-type: none"> • Conocer los aspectos generales de las aves y sus principales características. 	<ul style="list-style-type: none"> • ¿Qué son las aves? • Características de las aves. • Tipos de aves. 	<ul style="list-style-type: none"> • Clase expositiva con apoyo de material audiovisual, plumas, nidos, huevos, etc. • Diseña tu ave. 	<ul style="list-style-type: none"> • Tras aprender qué es una adaptación y discutir las adaptaciones que tienen las aves, los niños deben diseñar una nueva especie de ave. Esta ave debe tener todas las características necesarias para ser un ave pero adicionalmente debe tener adaptaciones que le permitan sobrevivir en el HRC en particular. • Escribir una ficha resumen cuáles son las adaptaciones de

UNIDAD	OBJETIVO DE APRENDIZAJE	CONTENIDOS	ACTIVIDADES	DESCRIPCIÓN
				<p>su especie y cómo le sirven para sobrevivir.</p>
	<ul style="list-style-type: none"> • Conocer las aves que habitan el HRC. • Reconocer las relaciones entre el espacio físico y el modo de vida de las aves. • Adquirir competencias y conocimientos generales para realizar un monitoreo de aves. 	<ul style="list-style-type: none"> • Identificación de aves del HRC. 	<ul style="list-style-type: none"> • Clase expositiva con apoyo de material audiovisual. • Actividad: Memorice de aves 	<ul style="list-style-type: none"> • Tras aprender las principales características de las aves del HRC, cada estudiante escoge una tarjeta de un juego de "Memorice" y la describe frente a sus compañeros. • Luego se formarán grupos de 3-4 niños, y jugarán al Memorice con las aves del HRC haciendo pares de machos y hembras.
		<ul style="list-style-type: none"> • Identificación de aves del HRC. 	<ul style="list-style-type: none"> • Clase expositiva con apoyo de material audiovisual (El Trinar de Chile). • Actividad: Corre y canta 	<ul style="list-style-type: none"> • Tras conocer por qué y cómo cantan las aves, el significado de sus voces y algunas claves para identificar y memorizar los lenguajes de las aves, se organizará un concurso con los cantos de las aves del HRC.
		<ul style="list-style-type: none"> • Qué comen y dónde viven las aves que habitan en el HRC. 	<ul style="list-style-type: none"> • Clase expositiva con apoyo de material audiovisual. • Actividad: Memorice de picos y alimento. • Tarea: recolectar 	<ul style="list-style-type: none"> • Tras aprender las principales características de los lugares y hábitos alimenticios de las aves del HRC, cada estudiante escoge una tarjeta de un

UNIDAD	OBJETIVO DE APRENDIZAJE	CONTENIDOS	ACTIVIDADES	DESCRIPCIÓN
			material para hacer nidos.	<p>juego de "Memorice" y la describe frente a sus compañeros de acuerdo a estas.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Luego se formarán grupos de 3-4 niños, y jugarán al Memorice con las aves del HRC haciendo pares de aves y alimento.
		<ul style="list-style-type: none"> • Las aves y su ambiente. 	<ul style="list-style-type: none"> • Actividad: Nidos del humedal • Tarea: identificación de sitios de nidificación 	<ul style="list-style-type: none"> • Realizar una introducción al tema de la relación de los animales y su ambiente. Cada alumno debe elegir un lugar dentro del ecosistema del HRC (río, orilla, árbol caído, etc.) donde habita una determinada ave. Realizar una ficha con las características de su ave y fabricar su nido con los materiales que disponen. • Tarea: identificar y localizar sitios de nidificación, a partir de entrevistas a miembros de la comunidad.
			<ul style="list-style-type: none"> • Mapeo participativo de la información recolectada. • Interpretación de resultados de nidos elaborados. 	<ul style="list-style-type: none"> • Marcar en el mapa lugares donde integrantes de la red socioambiental de la escuela (padres, madres, abuelos, vecinos, etc.) identificaron

UNIDAD	OBJETIVO DE APRENDIZAJE	CONTENIDOS	ACTIVIDADES	DESCRIPCIÓN
				<p>sitios de nidificación. Compartir y discutir acerca de la información recolectada.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Presentar los nidos elaborados por los estudiantes.
	<ul style="list-style-type: none"> • Establecer diálogos con miembros de otras comunidades de conocimiento para posibilitar aprendizajes recíprocos a partir de la experiencia y los conocimientos adquiridos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Por qué es necesaria la protección de las aves. • A qué amenazas están expuestas las aves del HRC. • Quién se encarga de realizar esa protección en el HRC. • Cómo se realizan estas actividades. 	<ul style="list-style-type: none"> • Confección de la guía o pauta de entrevista. 	<ul style="list-style-type: none"> • Planificar la entrevista a realizar. • Elaborar participativamente la pauta de entrevista a realizar. • Acordar y definir roles entre los participantes para la realización y registro de la entrevista.
			<ul style="list-style-type: none"> • Entrevista a un guardaparques de CONAF. • Escribir un cuento o hacer un dibujo a partir de la entrevista realizada. 	<ul style="list-style-type: none"> • Aplicar la pauta de entrevista a un guardaparques de CONAF. • Registrar la entrevista. • Discusión y reflexión acerca de las actividades que realizan los guardaparques de CONAF. • Tarea: Escribir un cuento o realizar un dibujo o un cómic o una maqueta de alguna de las actividades mencionadas.
Fiestas patrias				
MAMÍFEROS DEL HUMEDAL DEL RÍO CRUCES	<ul style="list-style-type: none"> • Conocer los mamíferos que habitan el HRC y su importancia 	<ul style="list-style-type: none"> • Mamíferos del HRC: principales especies y características. 	<ul style="list-style-type: none"> • Clase expositiva con soporte audiovisual. • Actividad: 	<ul style="list-style-type: none"> • Tras aprender las principales especies y características de los mamíferos y su

UNIDAD	OBJETIVO DE APRENDIZAJE	CONTENIDOS	ACTIVIDADES	DESCRIPCIÓN
	en el ecosistema.	<ul style="list-style-type: none"> • Importancia de los mamíferos en el ecosistema. 		<p>importancia en el ecosistema, se enseñará a los niños varias revistas de animales. En conjunto se irán reconociendo y conversando acerca de qué tipo de animal es, si saben cómo nacen, lo que comen, etc.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Después de haber ojeado las revistas, fotos, postales, etc., cada niño tendrá que recortar el que más le guste e investigar acerca de él para la clase siguiente.
	<ul style="list-style-type: none"> • Conocer las especies que se han introducido en el HRC y las amenazas asociadas a su propagación. 	<ul style="list-style-type: none"> • Especies nativas y especies introducidas. • Riesgos y amenazas asociados a la introducción de especies. • El visón: una amenaza para el HRC. 	<ul style="list-style-type: none"> • Clase expositiva con soporte audiovisual. • Actividad: 	<ul style="list-style-type: none"> • Cada niño, individualmente, expondrá los resultados de su investigación de su animal preferido al resto de los niños, diciendo cómo se llama el animal, dónde vive, qué come, cómo se reproduce y por qué le gusta. A continuación lo pegará en poster del HRC que será un mural. Debe ponerlo en el lado donde crea que pertenece, ya sea en el lado de los animales de la granja o del río o del bosque, etc.

UNIDAD	OBJETIVO DE APRENDIZAJE	CONTENIDOS	ACTIVIDADES	DESCRIPCIÓN
	<ul style="list-style-type: none"> •Comprender la biodiversidad del HRC. •Adquirir competencias y conocimientos generales para realizar un monitoreo de mamíferos. 	<ul style="list-style-type: none"> •Qué es la biodiversidad. •Biodiversidad del HRC. •Registro e interpretación de datos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Actividad de terreno en el HRC: "Atrapando huellas". • Tarea: identificar y localizar sitios de avistamiento o madrigueras, a partir de entrevistas a miembros de la comunidad. 	<ul style="list-style-type: none"> • Los tutores visitarán con anterioridad a la clase el humedal y elegirán 10 lugares con las siguientes características: que la vegetación no sea muy alta, terreno más bien parejo y seco. En cada lugar una trampa de huella con harina, armando un cuadrado de 50X50 cm. Marcar y clasificar el lugar. • Se debe dejar pasar una o dos noches, y luego con los alumnos se realizará una visita al HRC y se revisarán las huellas que han quedado marcadas. • Registrar en una bitácora: número de huellas, tamaño de las huellas (medir con huincha), dibujar algunas o fotografiar y entre todos los grupos formados se trata de identificar a qué animal pertenecen.
			<ul style="list-style-type: none"> • Mapeo participativo de la información recolectada. • Interpretación de resultados de 	<ul style="list-style-type: none"> • Marcar en el mapa lugares donde integrantes de la red socioambiental de la escuela (padres, madres,

UNIDAD	OBJETIVO DE APRENDIZAJE	CONTENIDOS	ACTIVIDADES	DESCRIPCIÓN
			huellas recolectadas.	abuelos, vecinos, etc.) identificaron sitios de avistamiento de fauna introducida (p.e. visones) o madrigueras de fauna nativa. Compartir y discutir acerca de la información recolectada. • Presentar las huellas recolectadas.
	<ul style="list-style-type: none"> • Establecer diálogos con miembros de otras comunidades de conocimiento para posibilitar aprendizajes recíprocos a partir de la experiencia y los conocimientos adquiridos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Por qué es necesaria la investigación de los mamíferos del HRC. • Cómo contribuye la actividad científica al cuidado de los mamíferos del HRC. • Cómo y dónde se realiza la actividad científica en el HRC. 	<ul style="list-style-type: none"> • Confección de la guía o pauta de entrevista. 	<ul style="list-style-type: none"> • Planificar la entrevista a realizar. • Elaborar participativamente la pauta de entrevista a realizar. • Acordar y definir roles entre los participantes para la realización y registro de la entrevista.
			<ul style="list-style-type: none"> • Entrevista a un científico. • Escribir un cuento o hacer un dibujo a partir de la entrevista realizada. 	<ul style="list-style-type: none"> • Aplicar la pauta de entrevista a un científico de la Universidad. • Registrar la entrevista. • Discusión y reflexión acerca de la investigación que realizan los científicos en el HRC. • Tarea: Escribir un cuento o realizar un dibujo o un cómic o una maqueta de alguna de las actividades

UNIDAD	OBJETIVO DE APRENDIZAJE	CONTENIDOS	ACTIVIDADES	DESCRIPCIÓN
				mencionadas.
FERIA DEL HUMEDAL	<ul style="list-style-type: none"> • Establecer diálogos con miembros de otras comunidades de conocimiento para posibilitar aprendizajes recíprocos a partir de la experiencia y los conocimientos adquiridos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Selección de contenidos del Programa. 	<ul style="list-style-type: none"> • Preparación de la feria en cada escuela. 	<ul style="list-style-type: none"> • Preparar material a presentar en el stand de la escuela en la feria. • Preparar actividades a desarrollar en la feria.
			<ul style="list-style-type: none"> • Preparación de la feria en cada escuela. 	<ul style="list-style-type: none"> • Preparar material a presentar en el stand de la escuela en la feria. • Preparar actividades a desarrollar en la feria.
			<ul style="list-style-type: none"> • Exposición de resultados en la Feria del Humedal (interescolar). 	<ul style="list-style-type: none"> • Exposición de resultados en la Feria del Humedal (interescolar).
EVALUACIÓN	<ul style="list-style-type: none"> • Realizar una evaluación del Programa y participar de su rediseño. 	<ul style="list-style-type: none"> • Evaluación del Programa 	<ul style="list-style-type: none"> • Actividad de evaluación del Programa. • Cierre del Programa 	<ul style="list-style-type: none"> • Las actividades de evaluación y cierre serán definidas y diseñadas en función de los resultados obtenidos en la implementación del Programa.
Finalización de clases				
EVALUACIÓN Y REDISEÑO DEL PROGRAMA, CONVOCATORIA A NUEVOS PARTICIPANTES.				

Cronograma de actividades

La Tabla 4.5.3. muestra la programación de actividades de acuerdo al calendario escolar del año 2017.

Tabla 4.5.3. Calendario de actividades del Programa de Monitoreo Ecológico Local año 2017

SEM	MES	SEMANA	UNIDAD	CONTENIDOS
1	MARZO	01 al 05	PLANIFICACIÓN CURRICULAR	Integración del programa a la planificación curricular
		06 al 12		Integración del programa a la planificación curricular
		13 al 19		Planificación de actividades con escuelas de la red de monitoreo de humedales de la I. Municipalidad de Valdivia.
		20 al 26		Lanzamiento del Programa.
		27 al 31	LANZAMIENTO	Lanzamiento del Programa.
	ABRIL	03 al 09	INTRODUCCIÓN A LOS HUMEDALES	<ul style="list-style-type: none"> • ¿Qué son los humedales? • El agua, el suelo y los humedales. • Importancia social y ecológica de los humedales.
				<ul style="list-style-type: none"> • Funciones y atributos de los humedales. • Beneficios de los humedales. • Usos sociales y productivos de los humedales.
				<ul style="list-style-type: none"> • Redes socioterritoriales de la comunidad escolar (docentes y alumnos) en relación al HRC. • Hitos territoriales: lugares preferidos, lugares amenazados.
		24 al 30	RELACIONES ECOSISTÉMICAS EN EL HUMEDAL DEL RÍO CRUCES	<ul style="list-style-type: none"> • ¿Qué es un ecosistema? • Componentes bióticos y abióticos del HRC
	MAYO	01 al 07	EL HUMEDAL DEL RÍO CRUCES	<ul style="list-style-type: none"> • Flujos de materia y energía en el HRC • Redes tróficas en el HRC
		08 al 14		
		15 al 21	CAMBIOS E HISTORIA SOCIOAMBIENTAL DEL HUMEDAL DEL RÍO CRUCES	<ul style="list-style-type: none"> • ¿Qué es el conocimiento ecológico local? ¿Por qué es importante? • Hitos históricos importantes del HRC. • Transformaciones del HRC.
		22 al 28		
	29 al 31			
	JUNIO	05 al 11	CONCURSO INTERESCOLAR	<ul style="list-style-type: none"> • El HRC como socioecosistema. • Elementos básicos para el monitoreo de fauna en el HRC.
		12 al 18		
		19 al 25		

SEM	MES	SEMANA	UNIDAD	CONTENIDOS	
2		26 al 30			
		03 al 09			
	JULIO	10 al 16	VACACIONES INVIERNO		
		17 al 23			
	AGOSTO	24 al 30	AVES DEL HUMEDAL DEL RÍO CRUCES	<ul style="list-style-type: none"> • ¿Qué son las aves? • Características de las aves. • Tipos de aves. 	
		01 al 06		<ul style="list-style-type: none"> • Identificación de aves del HRC. 	
		07 al 13		<ul style="list-style-type: none"> • Identificación de aves del HRC. 	
		15 al 20		<ul style="list-style-type: none"> • Qué comen y dónde viven las aves que habitan en el HRC. 	
		21 al 27		<ul style="list-style-type: none"> • Las aves y su ambiente. 	
		28 al 31		<ul style="list-style-type: none"> • Por qué es necesaria la protección de las aves. • A qué amenazas están expuestas las aves del HRC. • Quién se encarga de realizar esa protección en el HRC. • Cómo se realizan estas actividades. 	
	SEPTIEMBRE	04 al 10		FIESTAS PATRIAS	
		11 al 17			
		18 al 24			
	OCTUBRE	25 al 30	MAMÍFEROS DEL HUMEDAL DEL RÍO CRUCES	<ul style="list-style-type: none"> • Mamíferos del HRC: principales especies y características. • Importancia de los mamíferos en el ecosistema. 	
		02 al 08		<ul style="list-style-type: none"> • Especies nativas y especies introducidas. • Riesgos y amenazas asociados a la introducción de especies. • El visón: una amenaza para el HRC. 	
		09 al 15		<ul style="list-style-type: none"> • Qué es la biodiversidad. • Biodiversidad del HRC. • Registro e interpretación de datos. 	
		16 al 22		<ul style="list-style-type: none"> • Por qué es necesaria la investigación de los mamíferos del HRC. • Cómo contribuye la actividad científica al cuidado de los mamíferos del HRC. 	
	NOVIEMBRE	23 al 29		<ul style="list-style-type: none"> • Cómo y dónde se realiza la actividad científica en el HRC. 	
		01 al 05		FERIA DEL HUMEDAL	<ul style="list-style-type: none"> • Selección de contenidos del Programa.
		06 al 12			
13 al 19					
		20 al 26			

SEM	MES	SEMANA	UNIDAD	CONTENIDOS
		27 al 30	EVALUACIÓN	• Evaluación del Programa
	DICIEMBRE	04 al 10	FINALIZACIÓN CLASES	
		11 al 17		
		18 al 24		
		25 al 31		
	ENERO	01 al 07	EVALUACIÓN Y REDISEÑO DEL PROGRAMA, CONVOCATORIA A NUEVOS PARTICIPANTES.	
		08 al 14		
		15 al 21		
		22 al 28		

4.5.5. Recomendaciones tendientes a implementar Programas de Ciencia Participativa

El programa de monitoreo piloto propuesto para cuatro escuelas del área adyacente al HRC posee, como una de sus principales características, un potencial de escalabilidad. Es decir, puede ser ampliado a nuevas escuelas así como también en sus contenidos. Sin embargo, cualquiera de los dos procesos que lleven a escalar o ampliar el programa deben ser fruto de una evaluación previa a partir del primer año de implementación piloto. Se plantea como recomendación, someter a evaluación en conjunto con los docentes de las escuelas participantes, los resultados de esta primera implementación para definir la magnitud de la escalabilidad para los próximos años.

De acuerdo a los resultados de los Programas de Diagnóstico y Monitoreo Ambiental del HRC, se recomienda poner atención en el área de ornitología y en el estudio del estado y calidad del agua, como potenciales espacios para llevar adelante unidades de *ciencia participativa* cuyo foco es la interacción entre estudiantes y miembros de la comunidades científica que trabaja en el HRC.

Las actividades de ciencia participativa, especialmente en el monitoreo de aves y de calidad del agua, cuentan con experiencias exitosas en otros países. Éstas interacciones, entre estudiantes y científicos, están mediadas por aplicaciones informáticas de fácil acceso, científicamente útiles y educativamente provechosas. Como

se mencionó anteriormente, la factibilidad de estas ampliaciones en el programa deben ser revisadas a partir de la evaluación que se realice de su avance y una vez que se hayan visualizado adecuadamente las carencias o déficits tecnológicos de las escuelas involucradas.

4.5.6. Conclusiones

Se identificaron una serie de hitos históricos relevantes para la organización de las experiencias y percepciones locales sobre el HRC, que son decisivos tanto para la comprensión del socio ecosistema, como para el diseño de iniciativas que contemplen la participación de las comunidades locales.

Cuatro son los ejes estructurantes de las memorias de adultos mayores recopiladas durante el año 2016: i) el terremoto del año 1960, ii) el auge y la decadencia de la navegación fluvial, iii) la contaminación del río producida por la empresa ARAUCO en el año 2004, y iv) la situación presente y proyecciones a futuro de las comunidades.

A partir de estos hitos se identificaron importantes procesos de transformación que están en marcha en el HRC:

- Declive de formas de sociabilidad y modos de producción tradicionales asociados a la vida rural y a las formas de transporte fluvial. Si bien estas formas tradicionales son altamente valoradas también se acusa su carácter *sacrificado*. Estas prácticas están siendo sustituidas por otras más modernas, consideradas más *fáciles* y *cómodas*, pero también valoradas por sus aportes a la vida cotidiana.
- Un notorio proceso de despoblamiento de las comunidades en torno al humedal. Este no es un proceso de corto plazo pero se hace cada vez más evidente en el vaciamiento de las escuelas rurales de la zona. Por otra parte, la migración de los jóvenes a la ciudad es intensa y se asocia principalmente a la escasez de trabajo en la zona y la mayor facilidad para obtener dinero en ciudades como Valdivia.

- Se observa una recuperación del humedal desde la crisis ambiental del 2004. Aunque es una recuperación lenta y algunas especies que desaparecieron del humedal no han vuelto a verse desde entonces, se describen mejoras graduales. Esta percepción de recuperación, tiene su contrapartida en la desconfianza que la contaminación del año 2004 dejó implantada en la población.
- Hay una pérdida de contacto con el río y el humedal por parte de los habitantes de la zona: se vive *de espaldas al río*. Esto se relaciona con el ya mencionado decaimiento de la conectividad fluvial y su sustitución por los medios de transporte terrestre. Pero se relaciona también con la contaminación del río que terminó con prácticas recreativas y de aprovechamiento de recursos por parte de los habitantes de las comunidades.
- Así, queda instalada la desconfianza entre los habitantes de los poblados, situación que se manifiesta al menos, de dos maneras. La primera es la desconfianza hacia la empresa ARAUCO como foco de contaminación. También se mencionan otros posibles focos de contaminación o de depredación ambiental, como las empresas forestales. La segunda forma, más compleja de abordar, es la desconfianza dirigida hacia el propio río como lugar donde aún puede haber contaminación. Esto significa que hay una serie de formas de recreación o de aprovechamiento de recursos que quedan vinculados a un potencial peligro o, directamente, dejan de realizarse.
- A partir del estudio realizado en cuatro escuelas piloto, se desprende que todas tienen interés en trabajar colaborativamente en un programa de monitoreo ecológico local, orientado al fortalecimiento de capacidades, el diálogo de saberes y conocimientos en los niños. Las escuelas constituyen nodos claves en la red social comunitaria y un programa que promueva el conocimiento y el cuidado del HRC, inserto en estas puede generar un efecto positivo en las comunidades en su conjunto. Por otra parte, los niños de las diversas escuelas muestran distintos niveles de acercamiento y conocimiento del humedal.

Una de las preguntas que surge es *¿cómo recuperar la confianza perdida en el HRC como fuente de recursos, sociabilidad y recreación?* Sin duda los acontecimientos del año 2004 generaron un daño ambiental pero también social, debilitando las relaciones que vinculaban a las comunidades y al humedal. Por lo mismo, un proyecto de promoción del conocimiento ecológico local que busque generar un modelo participativo de monitoreo debe partir por considerar este desafío: volver a acercar a las comunidades al HRC. De esta forma se pueden comenzar a ensayar nuevas prácticas de relacionamiento que contribuyan a revertir la lógica de vivir *de espaldas al río*. La clave, se plantea, está en que las comunidades desarrollen conocimientos y adquieran técnicas para realizar el monitoreo ecológico del humedal. Esto no sólo potencia su necesaria autonomía sino que también posibilita interfaces de conocimiento científico y local.

4.5.7. Referencias

- Bahamonde, N., Carstens, B. 2012. "Álbum de Punucapa. Imágenes e historias de una comunidad rural de Valdivia". Ediciones Kultrún: Valdivia.
- Barrientos, M. (s/f): Apuntes personales para CONAF. 2006. "Plan Integral de Manejo Ambiental del Humedal del Río Cruces (PIGA)". Material inédito.
- Berkes, F., Colding, J., & Folke, C. 2000. Rediscovery of traditional ecological knowledge as adaptive management. *Ecological applications* 10: 1251-1262.
- Berkes, F. y Turner, N. 2005. Conocimiento, aprendizaje y la flexibilidad de los sistemas socioecológicos. *Gaceta Ecológica* 77: 5-17
- Boege, E. 2008. El patrimonio biocultural de los pueblos indígenas de México. México: Instituto Nacional de Antropología e Historia: Comisión Nacional para el Desarrollo de los Pueblos Indígenas.
- DFID 1999. *Hojas Orientativas sobre los Medios de Vida Sostenibles*. Department for International Development.
- Eliade, M. 2009. Tratado de Historia de las Religiones. Cristiandad: Madrid.
- Giddens, A. 1995. La constitución de la sociedad. Bases para la teoría de la estructuración. Buenos Aires: Amorrortu.

Gómez-Baggethun, E. 2009. Perspectivas del conocimiento ecológico local ante el proceso de globalización. *Papeles de Relaciones Ecosociales y Cambio Global* 107: 57-67.

Haverkort, B., Delgado, F., Shankar, D., y D. Millar. 2013. *Hacia el diálogo intercientífico: Construyendo desde la pluralidad de visiones de mundo, valores y métodos en diferentes comunidades de conocimiento*. Agruco/Plural editores.

IFAD 2009. *Good Practices in Participatory Mapping*. International Fund for Agricultural Development.

Ingold, T. 2000. *The Perception of the Environment: Essays in livelihood, dwelling and skill*. Londres & New York: Routledge.

Long, N. 2001. *Sociología del Desarrollo: una perspectiva centrada en el actor*. El Colegio de San Luis / CIESAS: México. 499p.

Noë, A. 2004. *Action in perception*. MIT Press.

Ojeda, C. 2017. *Humedal Los Batros como refugio de la memoria*. En Rojas *et al.*, *Urbanización en Humedal Los Batros*. URBANCOST-CEDEUS: Concepción.

Pedersen, P. 1992. *Historia de San José de la Mariquina (1551-1900) - Ediciones de la Frontera*. Santiago, Chile.

Reyes-García, V. 2009. Conocimiento ecológico tradicional para la conservación: dinámicas y conflictos. *Papeles de Relaciones Ecosociales y Cambio Global* 107: 9-55.

Rojas *et al.*, 2017. *Urbanización en Humedal Los Batros*. URBANCOST-CEDEUS: Concepción.

Saldivia, S. 2011. *Mariküga, entre historia y memoria*. Santiago, Chile.

Villanueva, M. 2014. "Misión de Pelchuquín. Imágenes y relatos de lo personal a lo colectivo 1950-1980". Imprenta Austral: Valdivia.

Warburton, H., Martin, A. 1999. *Local people's knowledge in natural resources research. Socio-economic Methodologies for Natural Resources Research*. Chatham, UK: Natural Resources Institute.

5. AMENAZAS

La Tabla 5.1 resume las amenazas que a juicio de los integrantes del equipo de trabajo del Monitoreo del HRC, consideran - a marzo del año 2017 - como las más relevantes para la conservación del HRC.

amenazas a enero & febrero de cada año	2015	2016	2017
Presencia del Visón	+++	+++	++
Eventual invasión de la Tortuga de orejas rojas	+++	++	++
Aumento en cobertura de la Flecha de agua	++	++	+
Descargas de RILES de planta Valdivia de ARAUCO*	++	++	+
Eventual bio - acumulación de compuestos químicos, en vertebrados de niveles superiores de la trama trófica	+++	+++	+++
Modificación de línea de costa y fondos someros, debido a levantamiento continental inter - sísmico	++	++	++
Modificación de fondos someros y orillas por infraestructura vial acuática y dragados		++	++
Modificación de áreas ribereñas por desarrollo inmobiliario		++	+++
Cambios de uso del suelo y contaminación difusa		++	+++
Disminución de agua caída			++
Ausencia de un Plan de Manejo del Santuario			+++

(debiera ser del HRC)

Ausencia de programas de vinculación entre el CEL y la actividad de los investigadores en el área		++	++
Desconfianza de la población ribereñas hacia ARAUCO, estado e instituciones académicas *	+++	++	++

Tabla 5.1. Lista de amenazas y su evolución en el tiempo; síntesis de las mismas llevadas a cabo a inicios de los años 2015 (Programa de Diagnóstico), 2016 y 2017 (primer y segundo año del Programa de Monitoreo Ambiental del HRC, respectivamente). El número de signos + indica el grado de importancia de la misma, siendo +++ el nivel más alto. Ausencia de signos = amenaza no considerada durante el año respectivo.

*** = percepciones detectadas por los investigadores del CEL**

6. SINTESIS FINAL Y ALCANCES

A continuación se resumen las conclusiones más relevantes que resultan de los estudios y actividades llevados a cabo como parte del segundo año del programa de Monitoreo Ambiental del humedal del río Cruces (en adelante HRC) (abril 2016 - marzo 2017).

Precipitaciones, caudal hídrico y nivel del espejo de agua

El análisis de las precipitaciones totales en la zona de Valdivia muestran una disminución significativa entre 1960 y 2016, tendencia coincidente con el decrecimiento significativo de las precipitaciones anuales desde 1901 al 2005 señalado por González-Reyes & Muñoz (2013). Durante los últimos años, se observa un aumento de eventos con pluviosidades menores al promedio histórico de la serie (2397 mm) y al normal anual de la Dirección Meteorológica de Chile (1871 mm). El año 2016, se ha constituido en el año con la menor pluviosidad histórica en 117 años (1900-2016), y también en el mínimo global para el registro completo de precipitaciones en Valdivia entre 1853 y el 2016 (*cf.* González-Reyes & Muñoz, 2013).

La serie histórica mensual de los caudales hídricos y espejo de agua del río Cruces en Rucaco, muestran una estacionalidad marcada entre invierno y verano, asociada directa y significativamente con el patrón estacional de las precipitaciones. Consecuentemente, el caudal hídrico y nivel del espejo de agua, muestran además de variabilidad estacional y una declinación temporal de largo plazo, en directa relación con la disminución de las precipitaciones

Calidad de agua y sedimentos

Agua

En general, los valores más altos de temperatura del agua ocurrieron en el eje central del río Cruces y ríos tributarios, situación similar a la mostrada por los valores de pH. La conductividad del agua superficial, mostró valores más altos y mayor

heterogeneidad espacial durante los meses de menor caudal hídrico (diciembre a abril); *i.e.*, mayor intrusión salina al HRC.

En términos generales, el contenido de sólidos suspendidos totales fue menor durante el período estival y mayor durante el período invernal, lo que evidencia influencia de lluvias y caudal hídrico (mayores durante el invierno); cuando ocurrieron las mayores concentraciones de sólidos suspendidos totales, se detectaron los valores más bajos de transparencia y viceversa.

Las concentraciones de metales pesados disueltos y particulados presentaron diferencias significativas entre sectores y años estudiados, sin observarse un patrón definido, lo que evidencia la alta variabilidad que presentan los contenidos de estos en el HRC. En relación a los compuestos orgánicos, no se han detectado Ácidos resínicos en el agua durante ninguna de las campañas hasta ahora realizadas (años 2014, 2015 y 2016).

Las concentraciones de AOX fueron significativamente más altas en el sector estuarial que en el sector fuera del HRC. No se detectaron diferencias estadísticamente significativas entre los años de muestreo. Desde el año 2014 al año 2016, no se ha detectado la presencia de las Dioxinas 2,3,7,8 y 1,2,3,7,8 en ninguna de las estaciones muestreadas ni en ninguna de las campañas realizadas.

Sedimentos

Los resultados de los análisis del Factor de Enriquecimiento, Índice de Geoacumulación e Índice de Carga de contaminación, muestran que los sedimentos del área de estudio se encuentran en general ausentes de contaminación por metales pesados.

No se detectaron Ácidos resínicos durante la campaña de abril 2016, situación similar a la observada durante los años 2014 y 2015. Las concentraciones de AOX, no

variaron significativamente al comparar años y sectores del humedal, a la vez que no se detectaron EOX en los sedimentos del área de estudio, con excepción de la estación 7 (río Cayumapu), pero con valores muy cercanos al límite de detección. Hasta ahora (años 2014 a 2016), no se ha detectado la presencia de la Dioxina 2,3,7,8 en ninguna de las estaciones y ni campañas realizadas; por el contrario, la Dioxina 1,2,3,7,8 fue detectada en los sedimentos de las estaciones Fuerte San Luis, Cayumapu y Calle durante el segundo año del programa de Monitoreo Ambiental del HRC (muestreo de abril 2016), así como esporádicamente en otros muestreos (primariamente durante el año 2014).

Planicies sedimentarias intermareales y sedimentos en suspensión

Los estudios realizados durante el año 2016, no muestran cambios notorios en las extensiones areales de estos ambientes intermareales. La fracción arena (partículas con diámetros nominales entre 63 y 2000 micrones) sigue siendo la fracción dominante, con contenidos de materia orgánica total (<15%) que no permiten determinar dominancia de procesos de depositación o erosión. La fracción arena, fue también la clase textural más representada en los sedimentos suspendidos en la columna de agua y recolectados en trampas instaladas en el submareal somero de una planicie sedimentaria del sector Punucapa.

Distribución espacio - temporal de macrófitas acuáticas (uso de sensores remotos) y calidad de agua

Durante el año 2016, la distribución espacial de las macrófitas acuáticas fue muy similar a la documentada con anterioridad, particularmente para el caso del Luchecillo (*Egeria densa*). Respecto a la distribución histórica de especies como el Huiro (*Potamogeton pusillus*) o la Flecha de agua (*Sagittaria montevidensis*), ambas se caracterizan por presentar una distribución importante en el HRC. El primero, se encuentra ampliamente distribuido en el humedal, indicando que las condiciones ambientales le son favorables. Por otra parte, en el caso de la Flecha de agua, la distribución ambiental modelada también es amplia, indicando que las condiciones ambientales son favorables

para su expansión en el área. Esto es coherente con la observación de su aparición en zonas dominadas previamente por parte del Luchecillo. En el monitoreo actual, esta tendencia se ha mantenido, lo que sugiere una posible interacción a nivel poblacional entre ambas especies. Sin embargo, dilucidar eventuales efectos competitivos directos o indirectos, requerirá de estudios observacionales y experimentales orientados a evaluar dicha hipótesis que están fuera del alcance de este programa de monitoreo.

Pese a los importantes cambios en calidad de agua experimentados en las últimas décadas, esta es hoy significativamente mejor que en años pasados, observándose una importante cubierta o distribución amplia de macrófitas acuáticas en el HRC, lo que da cuenta de un buen estado de este componente biótico en este ecosistema.

Macroinfauna de fondos sedimentarios

En términos generales, la riqueza de especies de la macroinfauna de fondos sedimentarios del HRC, ha aumentado desde el Programa de Diagnóstico Ambiental del HRC del año 2014 (13 taxa), al primer y segundo año del Programa de Monitoreo Ambiental del HRC (18 y 20 taxa, respectivamente). Desde el Programa de Diagnóstico Ambiental del HRC (año 2014) a la fecha (segundo año del Programa de Monitoreo Ambiental del HRC), la abundancia total de la macroinfauna bentónica ha sido mayor en los sedimentos de las orillas que en los cauces del área de estudio.

Anélidos oligoquetos de la familia Tubificidae y Naididae, son los taxa que han presentado los valores más altos de abundancia en los sitios ubicados en el eje central del HRC (San Luis, Punucapa); estos organismos e insectos Chironomidae han dominado en los sedimentos del río Calle Calle, a la vez que poliquetos (*Prionospio (M) patagonica* y *Perinereis gualpensis*) y anfípodos (*Paracorophium hartmannorum*) han sido los taxa dominantes en el sector Isla Teja, área afectada por aguas con mayor concentración de solutos.

Los resultados hasta ahora obtenidos, muestran que el estado ambiental de la macroinfauna bentónica del HRC, es similar a la de fondos estuariales no afectados por cambios ambientales, como los que ocurrieron en el HRC durante el año 2004. La recolección de un número suficiente de datos durante los próximos años del Programa de Monitoreo, permitirá elaborar un Índice de Salud Ambiental para el HRC y que pueda tener aplicabilidad regional.

Macrofauna de fondos ritrales

Durante el otoño y primavera del año 2016, la riqueza de especies de macrofauna de invertebrados bentónicos de fondos ritrales del río Cruces, fue significativamente más alta ($p < 0,05$) en los sectores de Ciruelos y Carriquilda que la encontrada en el sector de Calle Calle. Los resultados de los análisis de ordenamiento multidimensional, muestran que la fauna de las estaciones de muestreo tiene relación con su lugar geográfico, ya que, las estaciones más cercanas, se encontraron más agrupadas, lo cual, se observa en ambos periodos del último año, y se ha observado de igual manera en las campañas anteriores.

Los valores del Índice Biótico de Hilsenhoff, siguen evidenciando que el agua de la parte superior del área de estudio (Ciruleos a Carriquila), poseen buena o muy buena calidad, en cuanto a carga orgánica se refiere.

Fauna de camarones

Luego de realizadas seis campañas estacionales de muestreo durante los años 2014, 2015 y 2016, se concluye que las abundancias poblacionales del camarón de río (*Samastacus spinifrons*) son muy variables en el área de estudio. Los análisis de la frecuencia de habitáculos ocupados por el camarón de vega (*Parastacus nicoleti*) llevados a cabo durante el año 2016, muestran que las abundancias de esta especie fueron mayores durante agosto 2016 en el Sector Santa Clara, a la vez que durante la campaña de primavera se registraron las mayores abundancias en Chancoyán.

Los metales pesados más representados (*i.e.*, mayores concentraciones) en *S. spinifrons* fueron Hierro, Aluminio y Manganeso, respectivamente. Las concentraciones de Hierro, Aluminio, Manganeso y Cadmio en este camarón, fueron significativamente más altas ($p < 0,05$) en los camarones analizados durante el año 2014, que en aquellos estudiados durante el año 2016. No se ha detectado Arsénico en los tejidos de especímenes recolectados hasta ahora.

Las concentraciones de AOX medidas en *S. spinifrons* en el río Calle Calle durante el año 2016, fueron significativamente más altas ($p < 0,05$) que aquellas medidas en camarones del sector Rucaco. Las concentraciones de Dioxinas, Furanos y EQTs presentes en los tejidos de este camarón no difirieron significativamente al comparar datos de años y sectores. Se detectó la presencia de la Dioxina 2,3,7,8 en los tejidos de *S. spinifrons* de Ciruelos y Rucaco durante la campaña otoñal del año 2016; la Dioxina 1,2,3,7,8 se encontró en tejidos de los camarones recolectados en el sector Ciruelos durante las campañas otoñales de los años 2015 y 2016, en especímenes recolectados en Rucaco durante el otoño del año 2016.

Ictiofauna

En general, se ha recolectado un número mayor de especies de peces durante las campañas de otoño (7, 10 y 10 especies durante los años 2014, 2015 y 2016, respectivamente) que durante los muestreos de primavera de cada año (5, 7 y 8 especies durante los años 2014, 2015 y 2016). Durante estos tres años, la fauna de peces de las riberas del área de estudio ha estado primariamente representada por especies nativas (*ca.* 71, 80, 70, 71, 70 y 75 % durante el otoño 2014, primavera 2014, otoño 2015, primavera 2015, otoño 2016 y primavera 2016 respectivamente).

Galaxias maculatus (Puye) ha sido la especie más representativa de la ictiofauna ribereña durante las campañas de los años 2014, 2015 y 2016. Esta especie ha presentado un claro patrón de incremento en su longitud desde la campaña de otoño hacia la de

primavera de los años 2014, 2015 y 2016, con excepción de la campaña de primavera 2016 en el río Pichoy donde no se recolectaron Puyes.

El número promedio de especies fue más alto en los sitios de Ciruelos y Rucaco; similarmente, los valores más altos del Índice de Shannon & Wiener se estimaron para estos sitios. No se detectaron tendencias claras de variabilidad temporal en ninguno de esos sitios; es decir, los valores más altos o más bajos no mostraron relación con la estacionalidad o año de muestreo.

Los metales pesados más representativos (*i.e.*, mayores concentraciones) en los tejidos corporales del Puye fueron Hierro, Aluminio y Zinc. No se ha detectado Cadmio y Arsénico en las muestras de puyes recolectadas en el área de estudio, a la vez que el Mercurio mostró en general, concentraciones más bajas en los peces recolectados durante el otoño del año 2015 y más altas en el otoño 2016, en el sector de Ciruelos.

No se han detectado Ácidos resínicos en ninguna de las muestras analizadas durante las cuatro campañas hasta ahora realizadas (otoño y primavera 2014, otoño 2015 y otoño 2016). Las concentraciones de AOX fueron más bajas durante las campañas del otoño 2015 y 2016; hasta ahora, las concentraciones más altas de AOX se han detectado en puyes de los sectores Rucaco y Calle Calle (otoño y primavera del año 2014, respectivamente).

Durante las dos campañas del año 2014, las concentraciones más altas de Dioxinas se detectaron en peces del río Calle Calle, a la vez que durante la campaña otoñal del año 2015, los puyes del sector Rucaco fueron los de mayores concentraciones. Las concentraciones más bajas de Dioxinas se registraron en la campaña otoñal del año 2016.

Hasta ahora (años 2014, 2015 y 2016), no se ha detectado la presencia de la Dioxina 2,3,7,8, en los tejidos corporales de puyes; por el contrario la Dioxina 1,2,3,7,8 se

ha detectado en puyes recolectados en los tres sectores de estudio: en peces de Ciruelos durante los otoños de los años 2014 y 2016, en especímenes de Rucaco durante el otoño del año 2016 y en puyes del río Calle Calle durante la campaña otoñal del año 2014.

Las comparaciones de los puyes recolectados durante las campañas otoñales de los años 2014, 2015 y 2016, muestran leves variaciones en la presencia de parásitos en especímenes aparentemente sanos.

No se han observado hasta ahora lesiones macro ni microscópicas indicativas de un cuadro infeccioso bacteriano o viral específico en los peces examinados. Tampoco se ha detectado micosis en los peces examinados, como tampoco lesiones microscópicas indicativas de un cuadro tóxico o carencial en los peces examinados. Se concluye que los puyes examinados se encuentran en un estado sanitario en equilibrio.

Herpetofauna

La comunidad de anfibios del HRC está dominada por *B. taeniata* y *C. gayi*. La primera, es una especie común en la región, con una tolerancia moderada a la actividad antrópica. La abundancia de *C. gayi* está relacionada con la época reproductiva de esta especie. Al igual que en casos anteriores, se observaron especímenes de *E. roseus* con quistes intradérmicos correspondientes a estados larvales del ácaro *Hannemania* sp., común en anfibios expuestos a zonas donde hay ganado vacuno. Al eclosionar estas larvas producen daño en la epidermis del anfibio, el que puede llegar a ser severo, dependiendo de la cantidad de parásitos. Entre los reptiles, la lagartija *L. cyanogaster* representa en la mayoría de las prospecciones, la especie más abundante. No se determinó presencia de tortuga de orejas rojas (*Trachemys scripta*) en el HRC.

Avifauna acuática

La riqueza de especies de aves acuáticas en el eje central del HRC, presenta una menor variabilidad temporal que la abundancia total de la avifauna; no hay indicios de pérdida de especies en el largo plazo o entre años particulares.

Las bajas significativas que ocurrieron el año 2005 en las abundancias poblacionales del Cisne de cuello negro, se mantuvieron relativamente constantes hasta el año 2012, cuando se comenzó a observar una recuperación de esta especie y también de la Tagua, ambas aves acuáticas herbívoras.

No obstante lo anterior, las tendencias al alza de estas aves han sido contrastantes durante el período 2012 – 2016: el Cisne de cuello negro muestra un aumento sostenido en el tiempo, no así la Tagua que muestra ascensos y descensos en el mismo período. Luego de los cambios ambientales del año 2014, la Taguita no muestra señal alguna de recuperación poblacional.

Los datos recolectados en las riberas del área de estudio muestran que los cisnes ocurren con altos valores de abundancia en diferentes sectores de sus áreas de distribución, a la vez que las taguas ocurren en general con máximos de abundancia en un solo sector y diferente al de los cisnes.

Los resultados del segundo año del Programa de Monitoreo Ambiental del HRC - en cuanto a variabilidad interanual de aves acuáticas carnívoras se refiere - fueron similares a los del primer año de ese programa y a los del Programa de Diagnóstico Ambiental: *i.e.*, las garzas no fueron afectadas por los cambios ambientales del año 2004 en el humedal.

La Garza cuca, muestra una clara tendencia a aumentar su abundancia en el tiempo, principalmente entre los años 2012 y 2016; por el contrario, y durante el mismo período, las abundancias de la Garza blanca grande y la Garza blanca chica han mostrado una tendencia a la disminución poblacional. Se ha observado mayor separación espacial

entre la Garza cuca y el conjunto de las garzas blanca grande y blanca chica, que entre estas dos últimas.

Avifauna de riberas

La comunidad anual de aves Paseriformes en las riberas del HRC está compuesta por 10 especies regulares (*i.e.*, estructurales) y otras 8 que aparecen de forma irregular (*i.e.*, acompañantes). El Siete colores *Tachuris rubrigastra* es la especie dominante dentro de este grupo.

Se ha recapturado una fracción considerable de los individuos capturados en ambos sitios de estudio, en particular de cuatro especies estructurales, lo que permitirá a mediano plazo estimar la tasa de supervivencia anual de las aves Paseriformes que habitan las riberas del HRC, incluyendo las migratorias.

La productividad general de las dos colonias seleccionadas de Garza cuca *Ardea cocoi* durante la temporada de cría 2016 ha sido dispar. La colonia más grande ha sido capaz de producir 1,1 pollos por pareja, mientras que el elevado porcentaje de parejas que fracasaron hizo que este parámetro alcanzara sólo un valor de 0,6 en la colonia más pequeña.

Los exitosos protocolos de aproximación a las colonias de garzas para estimar el éxito reproductor, podrían considerarse como un primer “spin-off” asociado a esta parte del Programa de Monitoreo Ambiental del HRC.

Las zonas de praderas inundables albergan durante todo el año poblaciones de la Becasina común *Gallinago paraguaiensis magellanica*, con densidades generalmente superiores a otros estudios con especies afines en Norteamérica.

Elementos y compuestos químicos en tejidos de Garza blanca grande

En general, las concentraciones de metales pesados en tejidos de la Garza Blanca grande, estudiados durante el verano y la primavera del año 2015 y la primavera del año 2016, han sido más altas en tejidos hepáticos que en tejidos musculares.

No se ha detectado Aluminio y Arsénico en ninguno de los tejidos hasta ahora analizados, a la vez que el Manganeseo no se ha detectado en tejidos musculares. El Cadmio solo se ha detectado en los tejidos hepáticos analizados durante el verano del año 2015.

Las concentraciones de Cobre fueron significativamente más altas ($p < 0,05$) en tejidos hepáticos analizados durante la primavera del año 2016, a la vez que las de Zinc fueron significativamente más bajas en tejidos musculares estudiados durante la misma primavera. Las concentraciones de Mercurio fueron significativamente más bajas en tejidos hepáticos analizados durante el verano 2015 y significativamente más altas ($p < 0,05$) en tejidos musculares estudiados durante la primavera del año 2015 *versus* las analizados durante el verano del mismo año.

Las concentraciones de AOX en los tejidos hepáticos examinados en las garzas capturadas durante la primavera del año 2015, fueron más altas que las medidas durante el verano del mismo año y la primavera del año 2016; en contraste, las concentraciones de AOX medidas en tejidos musculares han sido similares.

Las concentraciones promedio de Dioxinas en tejidos musculares de la Garza blanca grande fueron más altas durante la primavera del año 2015. No se han detectado diferencias significativas ($p > 0,05$) al comparar los valores de Furanos y Equivalente Tóxicos en los tejidos musculares hasta ahora analizados durante los años 2015 y 2016.

Durante las tres campañas hasta ahora realizadas (verano y primavera del año 2015 y primavera del año 2016), se ha detectado en los tejidos musculares analizados, la presencia de las Dioxinas 2,3,7,8 y 1,2,3,7,8; sin embargo, no se han detectado diferencias significativas ($p>0,05$) entre campañas.

Mamíferos acuáticos

La mayor parte de los avistamientos exitosos de coipos y huillines ha sido en la parte media y superior del HRC y sus ríos tributarios; *i.e.*, aguas arriba del sector Punucapa. En contraste a lo anterior, los avistamientos exitosos de visones no muestran mayor tendencia espacial de ocurrencia.

La baja frecuencia de avistamientos exitosos de visones durante la primavera del año 2015 y el año 2016, podría estar relacionada a la remoción de estos mamíferos desde el HRC, debido a las actividades de trampeo llevadas a cabo o supervisadas por CONAF y el SAG en el área.

Cambios de uso de suelo

La comparación del año 2016 con análisis previos muestra un cambio de 70,7 has desde el uso "Terrenos agrícolas" hacia el uso "Urbano". Las restantes modificaciones son de menor cuantía. La dinámica demográfica del área de influencia estudiada, mantiene un ritmo moderado no apreciándose modificaciones de relevancia, excepto en los sectores de Cabo Blanco, Punucapa y Cayumapu, tratados en forma específica en este Informe.

En términos generales, se mantiene la tendencia observada en el Programa de Diagnóstico Ambiental del HRC, en cuanto a los cambios en la cobertura del suelo, dado que sigue presentándose una transferencia de terrenos desde praderas y matorrales hacia plantaciones. Además respecto a población y poblamiento, la tendencia sigue siendo el incremento de viviendas en áreas de la periferia lejana de la ciudad de Valdivia, lo que

además se refleja en la transferencia de superficie desde praderas a áreas urbanas e industriales.

Conocimiento ecológico local

Se identificaron una serie de hitos históricos relevantes para la organización de las experiencias y percepciones locales sobre el HRC, que son decisivos tanto para la comprensión del socio ecosistema, como para el diseño de iniciativas que contemplen la participación de las comunidades locales. Cuatro son los ejes estructurantes de las memorias de adultos mayores recopiladas durante el año 2016: i) el terremoto del año 1960, ii) el auge y la decadencia de la navegación fluvial, iii) la contaminación del río producida por la empresa ARAUCO en el año 2004, y iv) la situación presente y proyecciones a futuro de las comunidades.

Se trabajó en cuatro escuelas piloto (Punucapa, Cayumapu, Tralcao y Pelchuqín), con el objetivo de evaluar el interés de la comunidad escolar toda en trabajar colaborativamente en un programa de monitoreo ecológico local, orientado al fortalecimiento de capacidades, el diálogo de saberes y conocimientos ambientales en los niños. Con este tipo de programa se pretende promover el conocimiento ecológico local y generar un modelo participativo de monitoreo, en el que las comunidades desarrollen conocimientos y adquieran técnicas para realizar actividades básicas de monitoreo en el HRC.

Conclusiones generales

En general, los resultados del segundo año del Programa de Monitoreo Ambiental del HRC son similares a los del primer año del mismo programa y a los del Programa de Diagnóstico Ambiental del humedal. Es decir, la variabilidad de los componentes abióticos y bióticos se ha mantenido similar, entre los años 2014 y 2016; sin embargo, destaca el aumento de la población de los cisnes de cuello negro detectado durante el año 2016.

Amenazas

La Tabla 5.1 resume las amenazas o advertencias que los integrantes del equipo de trabajo del Monitoreo del HRC, consideran - a marzo del año 2017 - como las más relevantes para la sustentabilidad ambiental y conservación del humedal. A continuación se entregan comentarios acerca de la implicancia de las amenazas que se consideran como las más relevantes:

Eventual bio - acumulación de compuestos químicos, en vertebrados de niveles superiores de la trama trófica:

Los resultados del Programa de Diagnóstico Ambiental del HRC y los correspondientes a los dos primeros años del Programa de Monitoreo Ambiental del HRC, entregan suficiente evidencia acerca de la presencia de las Dioxinas 2,3,7,8 y 1,2,3,7,8 que se la ha detectado esporádicamente en el camarón de río y peces (puyes) y en todos los tejidos analizados de la Garza blanca grande.

No obstante lo anterior, hay que tener presente que aún cuando la presencia de esas dioxinas se ha detectado durante los tres muestreos de tejidos de la Garza blanca grande (pero en bajas concentraciones), el hecho de que solo se esté estudiando una sola especie de la parte superior de la cadena trófica, resta generalidad a los resultados de este Programa de Monitoreo Ambiental. Cabe preguntarse entonces, si la presencia de esas dioxinas en los tejidos de esta ave carnívora, es una situación que ocurre en todas las aves carnívoras del humedal, además de por ejemplo en un mamífero carnívoro como el Huillín. Claramente entonces, esta situación emerge como una línea de investigación importante tendiente a complementar los resultados del Programa de Monitoreo Ambiental del HRC.

Intervenciones de cauces, fondos someros y orillas por infraestructura vial acuática, dragados y desarrollo inmobiliario:

Durante el desarrollo del segundo año del Programa de Monitoreo, se pudo constatar un aumento en este tipo de actividades (e.g. instalación de balizas en

confluencia del río Tambillo con el río Cruces, actividades relacionadas al dragado en el límite sur - este del Santuario de la Naturaleza y remoción de suelos para inicio de nuevo condominio en el río Cayumapu). Sin embargo, no hay una zonificación que incluya todas las riberas del sistema del HRC y donde se incluyan objetos de conservación, como por ejemplo “hot spots” de diversidad de macrófitas acuáticas, áreas de refugio para la avifauna acuática y fauna de mamíferos, zonas de nidificación de aves, zonas de relevancia socio-cultural, etc. Se hace necesario entonces diseñar un programa de gestión del HRC, que incluya una línea base de la zonificación ribereña del área y que permita identificar zonas necesarias de ser protegidas de tales intervenciones, aspecto que está más allá de los objetivos específicos de este Programa de Monitoreo Ambiental.

Ausencia de un Plan de Manejo de un Santuario con nuevos límites

Los resultados de todos los estudios hasta ahora llevados a cabo en el HRC, apuntan a un hecho concreto e indiscutible: ya que el humedal del río Cruces (y el Santuario), forma parte de un sistema de cursos hídricos interconectados y de carácter estuarial, no tiene mayor sentido diseñar un plan de manejo o gestión, sólo para una parte del sistema y no para todo el mismo. Esto ya que, por ser de carácter estuarial, la acción de las mareas conectan de modo variable las características de las aguas entre el eje central del humedal y sus ríos tributarios. Los resultados de los estudios hasta ahora realizados, son la base técnica para argumentar que ese eventual Plan de Gestión debe incluir a todo el sistema del HRC y sus ríos tributarios y no sólo al área del actual Santuario de la Naturaleza.

Tabla 5.1. Lista de amenazas y su evolución en el tiempo; síntesis de las mismas llevadas a cabo a inicios de los años 2015 (Programa de Diagnóstico), 2016 y 2017 (primer y segundo año del Programa de Monitoreo Ambiental del HRC, respectivamente). El número de signos + indica el grado de importancia de la misma, siendo +++ el nivel más alto. Ausencia de signos = amenaza no considerada durante el año respectivo.

amenazas & advertencias a enero & febrero de cada año	2015	2016	2017
Presencia del Visón	+++	+++	++
Eventual invasión de la Tortuga de orejas rojas	+++	++	+
Aumento en cobertura de la Flecha de agua	++	++	+
Descargas de RILES de planta Valdivia de ARAUCO*	++	++	+
Eventual bio - acumulación de compuestos químicos, en vertebrados de niveles superiores de la trama trófica	+++	+++	+++
Modificación de línea de costa y fondos someros, debido a levantamiento continental inter - sísmico	++	++	++
Modificación de fondos someros y orillas por infraestructura vial acuática y dragados		++	++
Modificación de áreas ribereñas por desarrollo inmobiliario		++	+++
Cambios de uso del suelo y contaminación difusa		++	+++
Disminución de agua caída			++
Ausencia de un Plan de Manejo del Santuario (debiera ser del HRC)			+++
Ausencia de programas de vinculación entre el CEL y la actividad de los investigadores en el área		++	++
Desconfianza de la población ribereñas hacia ARAUCO, estado e instituciones académicas *	+++	++	++

* = percepciones detectadas por los investigadores del CEL

El monitoreo adaptativo del HRC

Como fue explicado en el Capítulo 1 (Introducción) del Informe Anual del primer año del PROGRAMA DE MONITOREO AMBIENTAL ACTUALIZADO DEL HUMEDAL DEL RÍO CRUCES Y SUS RÍOS TRIBUTARIOS, el presente programa de monitoreo se caracteriza por ser un *Monitoreo Adaptativo*, es decir un monitoreo que se va actualizando, acorde por ejemplo a

la aparición de fenómenos no observados al comienzo del mismo o a la variabilidad espacio – temporal de variables físicas y/o biológicas que van más allá de lo que hasta ese momento se conoce. Debido a lo anterior, se evaluarán continuamente los resultados del presente Programa de Monitoreo, a fin de analizar la eventual necesidad de realizar cambios o modificaciones tendientes a captar el tipo de variabilidad anteriormente mencionada.

En base a lo anterior y durante el primer año del Programa Ambiental del HRC, se adicionaron aspectos no incluidos en la propuesta original y que se enumeran a continuación:

- Monitoreo de la extensión areal y caracterización textural de planicies sedimentarias en riberas de diferentes áreas del humedal.
- Estudio estacional de las macrófitas o plantas acuáticas en todas las riberas del área de estudio, a fin de evaluar eventuales cambios en la riqueza de especies y distribución espacial de esas plantas.
- Análisis de Dioxinas y Furanos en tejidos de la Garza blanca grande (*Ardea alba*), para evaluar eventual bio-acumulación de elementos y compuestos químicos en la parte superior de la trama trófica del HRC.

Consecuentemente con lo explicado más arriba, los resultados del segundo año de este programa de monitoreo, conducen a implantar las siguientes modificaciones en la estructura de la propuesta original:

- Actualmente, el Luchecillo es la macrófita acuática de mayor ocurrencia espacial en las áreas someras o bañados del HRC. Esta planta constituye el alimento primario del ave acuática herbívora más común de este humedal, el Cisne de cuello negro. Las abundancias poblacionales de esta especie han ido aumentando de

modo significativo a partir del año 2012, situación que es coincidente con el aumento en la presencia de Luchecillo, que ha ocurrido gradualmente desde aproximadamente el año 2008. Lo anterior, permite plantear la siguiente pregunta: cuál es la capacidad de carga de las actuales praderas de Luchecillo en el HRC, en cuanto a las abundancias del cisne? o dicho de otro modo, hasta qué punto puede aumentar la población de cisnes en el HRC, sin que se produzca una disminución poblacional de esta ave acuática y que pueda ser relacionada a una disminución a una eventual disminución de la biomasa de Luchecillo? Para encontrar respuestas a estas preguntas se ha agregado al Programa de Monitoreo Ambiental del HRC, la evaluación de la extensión areal, biomasa y del consumo de Luchecillo por parte del Cisne de cuello negro a partir del tercer año de este programa.

- Los resultados de los análisis de flujos de material suspendido en un canal estuarial del sector Punucapa, no muestran la existencia de un patrón definido, lo que podría deberse al poco número de muestreos realizados, al bajo número de réplicas y al bajo número de elementos analizados. Por lo tanto y en base a la característica adaptativa de este programa de monitoreo, se elimina del mismo este tipo de estudios y sugiere que análisis similares se realicen no como parte de este programa, sino como parte de una línea de investigación específica que integre no solo este tipo de análisis, sino también evaluaciones de escorrentía superficial y otras.

7 EQUIPO DE TRABAJO

Se incluye a continuación el equipo de académicos, investigadores, asistentes técnicos y de investigación, que participaron en el segundo año del Programa de

Monitoreo Ambiental del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios (abril 2016 - marzo 2017).

i) Variabilidad ambiental de largo plazo en el área de estudio

Facultad de Ciencias, Universidad Austral de Chile
Pedro Rubilar, Biólogo Marino, M.Sc. Ecología Aplicada (c)
Eduardo Jaramillo, Ph.D.

ii) Estudios específicos

Calidad del agua y sedimentos

Facultad de Ciencias Naturales y Oceanográficas, Laboratorio de Oceanografía
Química (LOQ), Universidad de Concepción
Marco Salamanca, Biólogo Marino, M.Sc., Ciencias Marinas Ambientales,
Ph.D. Oceanografía Costera
Cristián Chandía, Biólogo Marino, Diplomado en Ingeniería Química
Ambiental
Claudia Figueroa, Químico Analista
Gabriela Franyola, Biólogo Marino
Verónica Pinto, Químico Analista
Francesca Gauthier, Químico Analista
Juanita Elgorriaga, Químico Analista
Carlos Casanueva, Químico Analista
Leonardo Rosemberg, Biólogo Marino
Edgardo Muñoz, Técnico de terreno
Michel Rivas, Técnico de terreno

Facultad de Ciencias, Universidad Austral de Chile
Eduardo Jaramillo, Ph.D.
Marcia González, M.Sc., mención Zoología
Emilio Acuña, Biólogo Marino
Mario Manzano, Lic. en Ciencias Biológicas, Dr. © Biología Marina

Flujos de material suspendido en un canal estuarial del río Cruces

Facultad de Ciencias, Universidad Austral de Chile
Mario Pino, Geólogo, Dr. rer. nat.

Planicies sedimentarias intermareales

Facultad de Ciencias, Universidad Austral de Chile
Mario Manzano, Lic. Ciencias Biológicas, Dr. © Biología Marina
Eduardo Jaramillo, Ph.D.

Macrófitas acuáticas y sensores remotos

Facultad de Ciencias, Universidad Santo Tomás, Santiago
Fabio Labra, Biólogo Marino, Dr. en Ciencias Biológicas, mención Ecología

Macroinfauna de fondos sedimentarios

Facultad de Ciencias, Universidad Austral de Chile
Eduardo Jaramillo, Ph.D.
Marcia González, M.Sc., mención Zoología
Emilio Acuña, Biólogo Marino

Macrofauna de fondos ritrales

Facultad de Ciencias, Universidad Austral de Chile
Emilio Acuña, Biólogo Marino
Eduardo Jaramillo, Ph.D.
Nadja Bello, Biólogo Marino

Fauna de camarones

Facultad de Ciencias, Universidad Austral de Chile
Eduardo Jaramillo, Ph.D.
Marcia González, M.Sc., mención Zoología
Emilio Acuña, Biólogo Marino

Facultad de Ciencias Naturales y Oceanográficas, Laboratorio de
Oceanografía Química (LOQ), Universidad de Concepción
Marco Salamanca, Biólogo Marino, M.Sc., Ciencias Marinas Ambientales,
Ph.D. Oceanografía Costera
Cristián Chandía, Biólogo Marino, Diplomado en Ingeniería Química
Ambiental
Claudia Figueroa, Químico Analista
Gabriela Franyola, Biólogo Marino
Verónica Pinto, Químico Analista
Francesca Gauthier, Químico Analista

Juanita Elgorriaga, Químico Analista
 Carlos Casanueva, Químico Analista
 Leonardo Rosemberg, Biólogo Marino
 Edgardo Muñoz, Técnico de terreno
 Michel Rivas, Técnico de terreno

Ictiofauna

Facultad de Ciencias, Universidad Austral de Chile
 Eduardo Jaramillo, Ph.D.
 Marcia González, M.Sc., mención Zoología
 Emilio Acuña, Biólogo Marino

Facultad de Ciencias Veterinarias

Enrique Paredes, Médico Veterinario, Dr. med. vet.
 Ricardo Enríquez, Médico Veterinario, Dr. med. vet.
 María José Navarrete, Médico Veterinaria, M.Sc., Medicina Preventiva
 Animal, Ph.D. Patología Animal
 Pamela Muñoz, Médico Veterinaria, M.Sc., Ciencias Animales y Veterinarias,
 mención Medicina Preventiva Animal
 Alex Romero, Bioquímico, Dr. en Ciencias, mención Biología Celular y
 Molecular
 Jorge Vásquez, Bioquímico

Facultad de Ciencias Naturales y Oceanográficas, Laboratorio de Oceanografía
 Química (LOQ), Universidad de Concepción

Marco Salamanca, Biólogo Marino, M.Sc., Ciencias Marinas Ambientales,
 Ph.D. Oceanografía Costera
 Cristián Chandia, Biólogo Marino, Diplomado en Ingeniería Química
 Ambiental
 Claudia Figueroa, Químico Analista
 Gabriela Franyola, Biólogo Marino
 Verónica Pinto, Químico Analista
 Francesca Gauthier, Químico Analista
 Juanita Elgorriaga, Químico Analista
 Carlos Casanueva, Químico Analista
 Leonardo Rosemberg, Biólogo Marino
 Edgardo Muñoz, Técnico de terreno
 Michel Rivas, Técnico de terreno

Herpetofauna

Facultad de Ciencias, Universidad Austral de Chile

José Nuñez, Bioquímico, Dr. en Ciencias, mención Zoología

Avifauna

Facultad de Ciencias, Universidad Austral de Chile

Eduardo Jaramillo, Ph.D.

Juan Navedo, PhD.

Jorge Ruiz, Médico Veterinario

Pedro Rubilar, Biólogo Marino, M.Sc. Ecología Aplicada (c)

Mario Manzano, Lic. en Ciencias Biológicas, Dr. © Biología Marina

Pamela López, Biólogo Marino

Facultad de Ciencias Naturales y Oceanográficas, Laboratorio de Oceanografía Química (LOQ), Universidad de Concepción

Marco Salamanca, Biólogo Marino, M.Sc., Ciencias Marinas Ambientales, Ph.D. Oceanografía Costera

Cristián Chandía, Biólogo Marino, Diplomado en Ingeniería Química Ambiental

Claudia Figueroa, Químico Analista

Gabriela Franyola, Biólogo Marino

Verónica Pinto, Químico Analista

Francesca Gauthier, Químico Analista

Juanita Elgorriaga, Químico Analista

Carlos Casanueva, Químico Analista

Leonardo Rosemberg, Biólogo Marino

Edgardo Muñoz, Técnico de terreno

Michel Rivas, Técnico de terreno

Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Geografía, Universidad de Concepción

Helen de la Fuente, Geógrafo

Mamíferos acuáticos

Facultad de Ciencias, Universidad Austral de Chile

Mario Manzano, Lic. en Ciencias Biológicas, Dr. © Biología Marina

Análisis comparativos de datos en estudios de riesgo ecológico

Facultad de Ciencias, Universidad Austral de Chile

Mario Manzano, Lic. en Ciencias Biológicas, Dr. © Biología Marina

Cambios de uso del suelo

Facultad de Ciencias, Universidad Austral de Chile

Adriano Rovira, Geógrafo, Dr. en Geografía

Facultad de Ciencias Forestales y Recursos Naturales

Víctor Sandoval, Ingeniero Forestal, M.Sc., Inventarios y Monitoreo de Bosques Tropicales, Dr. Ciencias Forestales

Conocimiento ecológico local

Facultad de Filosofía y Humanidades Universidad Austral de Chile

María Ignacia Fuenzalida, Ingeniero en Recursos Naturales Renovables, M.Sc. Desarrollo Rural (c)

Alejandra Carmona, Ingeniero en Recursos Naturales Renovables, M.Sc. Desarrollo Rural (c)

Kenneth Alvarado, Licenciado en Ecoturismo, M.Sc. Desarrollo Rural (c)

Pablo Iriarte, Sociólogo, Licenciado en Filosofía, M.Sc. Estudios Latinoamericanos