



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA CIVIL

METODOLOGÍA DE DISEÑO DE UNA RED DE MONITOREO
DE RECURSOS HÍDRICOS PARA HUMEDALES:
APLICACIÓN EN LA LAGUNA DE BATUCO

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

CRISTÓBAL COX OETTINGER

PROFESOR GUÍA:
CARLOS ESPINOZA CONTRERAS

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:
ANA MARÍA SANCHA FERNÁNDEZ
MARÍA PÍA MENA PATRI

SANTIAGO DE CHILE
MAYO 2007

RESUMEN DE LA MEMORIA
PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL
POR: CRISTÓBAL COX O.
FECHA: 26/04/2007
PROF. GUIA: Sr. CARLOS ESPINOZA C.

“METODOLOGÍA DE DISEÑO DE UNA RED DE MONITOREO DE RECURSOS HÍDRICOS PARA HUMEDALES: APLICACIÓN EN LA LAGUNA DE BATUCO”

Los humedales son ambientes que combinan características acuáticas y terrestres. Corresponden a suelos saturados o cubiertos por una capa de agua de pocos metros, temporal o permanentemente, generando ecosistemas muy productivos, esenciales para la conservación de la biodiversidad. Adicionalmente, los humedales cumplen con una serie de funciones, como conservar el recurso hídrico, otorgándole al ser humano enormes beneficios económicos.

Sin embargo, esta predominancia del agua también hace que los humedales sean bastante propensos ante impactos ambientales. De hecho, estos ecosistemas se encuentran dentro de los más amenazados del mundo. Es por esto que el objetivo general del presente trabajo de título es proponer una metodología para diseñar una Red de Monitoreo que resguarde la cantidad y calidad de las aguas en los humedales.

Para llevar a cabo este objetivo, se estudiaron las características de los humedales y en base a éstas, se determinaron los aspectos necesarios para diseñar una Red de Monitoreo en ellos. Conjuntamente, se describieron las características de los grupos de variables más importantes en el monitoreo de un humedal, las cuales no sólo se refieren a hidrología y calidad del agua, sino que también a controlar las actividades que ocurren en el entorno y sus efectos.

Como objetivo secundario, se aplicó la Metodología de Diseño de Redes de Monitoreo al Humedal Laguna de Batuco. Este Humedal de tipo depresional, que se encuentra 40 km al norte de Santiago, es un ecosistema bastante alterado, que está en constante riesgo por su cercanía a actividades antrópicas. No obstante, corresponde a un importante sitio de nidificación y concentración de avifauna, con grandes potenciales para un uso turístico y educacional.

Antecedentes bibliográficos y actividades de terreno demuestran que diversos pretilles han separado y confinado la Laguna de Batuco en 4 partes casi independientes, que su alimentación depende primariamente de aportes superficiales y secundariamente de flujos subterráneos, y que sus aguas son someras y básicas y van de dulces a salobres.

Finalmente, la Red de Monitoreo diseñada para el Humedal Laguna de Batuco consideró estaciones ubicadas en cada una de las partes de la Laguna, en sus afluentes y efluentes superficiales principales y en pozos y norias ubicados en su contorno. Así, midiendo la cantidad y la calidad de las aguas en estos puntos, y controlando las actividades de riesgo de la cuenca es posible preservar este cuerpo de agua ante impactos antrópicos. Este diseño se hizo minimizando los recursos, haciéndolo realizable con un Fondo de Protección Ambiental otorgado por la CONAMA.

*“Descubrí que mi obsesión de que cada cosa
estuviera en su puesto, cada asunto en su tiempo,
cada palabra en su estilo, no era el premio merecido
de una mente en orden, sino al contrario, todo un
sistema de simulación inventado por mí para
ocultar el desorden de mi naturaleza”.*
Gabriel García Márquez

A la Cosa más linda del Mundo.

AGRADECIMIENTOS

Por fin (!!!) termina este interminable trabajo y también esta sufrida carrera. Después de tantos años en la U no me queda más que agradecer a quienes hicieron posible todo esto:

En primer lugar a los profesores Carlos Espinoza, Ana María Sancha y María Pía Mena, gracias por sus enseñanzas y sobre todo por la paciencia.

A la gente del Laboratorio de Calidad, sobretodo a Viviana y a la profesora Gabriela Castillo.

Muchas gracias a Guido Martínez y a don Jaime Contreras de la Municipalidad de Lampa. También a Pamela Zenteno de la COREMA RM y a la gente del Totoral de Batuco. Gracias por su confianza.

A todos los que fueron a mojarse las patitas a Batuco: profe Carlos, Guido, Mauricio, Rodrigo, Pepe, Quique, Felipe, don Pato y en especial a la que empezó con todo esto, Claudia, una inmejorable compañera de trabajo. Muchas gracias a todos.

Un cariñoso abrazo a mis amigos y compañeros que a lo largo de esta carrera siempre han estado ahí: Abelardo, Tania, Mauricio, Claudia, Lalo, José. Me gustaría decirles tantas cosas a cada uno de ustedes pero no hay espacio... quedo en deuda.

A los cerros, fuente de inspiración. Y los grandes amigos que me trajeron esas soledades.

Gracias a mis padres que me motivaron a seguir este camino y que me han dado demasiado. Y a mi hermano por sus consejos y por obligarme a jugar cuando tenía que trabajar.

A mi pequeña amija Amanda.

Por último a mi compañera, Nadia. Sin tu amor nada de esto hubiese sido posible. Gracias por aguantarme.

TABLA DE CONTENIDOS

CAPITULO 1: INTRODUCCIÓN	9
1.1 Estudio de Caso: Laguna de Batuco.....	10
CAPITULO 2: HUMEDALES EN EL MUNDO Y EN CHILE	13
2.1 Definición de Humedal.....	13
2.1.1 Funciones y valores de los humedales	14
2.2 Características Principales.....	15
2.2.1 Hidrología	17
2.2.2 Ambiente fisicoquímico	19
2.2.3 Biota.....	23
2.2.4 Relación entre los nutrientes y la biota: la eutroficación	24
2.3 Clasificación de los Humedales	25
2.3.1 Clasificación hidrogeomórfica	26
2.3.2 Clasificación del U.S. Fish and Wildlife Service (FWS).....	27
2.3.3 Clasificaciones basadas en el hábitat	27
2.4 La Protección de los Humedales en un Mundo en Desarrollo	27
2.4.1 Alteraciones	28
2.4.2 Normativa internacional	30
2.5 El Caso de Chile	31
2.5.1 Importancia de los humedales	31
2.5.2 Hitos en la historia: protección y contaminación de humedales.....	31
CAPITULO 3: FACTORES RELEVANTES EN UN MONITOREO DE HUMEDALES 38	
3.1 Generalidades.....	38
3.1.1 Definiciones	38
3.1.2 Importancia del monitoreo en humedales	38
3.1.3 Aspectos esenciales	39
3.2 Paisaje y Entorno.....	43
3.3 Morfología, Hidrología e Hidráulica.....	44
3.3.1 Cuerpo de agua	44
3.3.2 Escorrentía superficial	47
3.3.3 Aguas subterráneas.....	48
3.3.4 Meteorología.....	51
3.4 Calidad del Agua.....	52
3.4.1 Aguas superficiales.....	54
3.4.2 Aguas subterráneas.....	64
3.5 Cuadro Resumen de Variables	67
CAPITULO 4: ANTECEDENTES DEL ÁREA DE ESTUDIO	69
4.1 Antecedentes Generales.....	69
4.1.1 Ubicación y accesos	69
4.1.2 Uso del suelo	70
4.1.3 Clima.....	72
4.1.4 Flora, vegetación y fauna.....	72
4.1.5 Situación ambiental.....	75
4.2 Geología y Geomorfología	76
4.2.1 Geomorfología y geología de la cuenca del río Maipo.....	76
4.2.2 Geología del área de estudio.....	76
4.3 Hidrología e Hidrografía	78

4.3.1	Pluviometría.....	79
4.3.2	Red de drenaje	83
4.3.3	Fluviometría	85
4.4	Hidrogeología.....	86
4.4.1	Definición de acuíferos	86
4.4.2	Catastro de captaciones	89
4.4.3	Niveles de aguas subterráneas.....	90
4.4.4	Recarga, movimiento y descarga.....	91
CAPITULO 5: TRABAJO DE TERRENO		95
5.1	Actividades Realizadas.....	95
5.2	Paisaje y Entorno.....	95
5.2.1	Catastro de actividades	95
5.2.2	Observaciones generales	97
5.3	Morfología, Hidrología e Hidráulica	98
5.3.1	Cuerpo de agua	98
5.3.2	Escorrentía superficial	103
5.3.3	Aguas Subterráneas	107
5.3.4	Meteorología.....	109
5.4	Calidad del Agua.....	109
5.4.1	Aguas superficiales.....	110
5.4.2	Aguas subterráneas.....	116
CAPITULO 6: DISEÑO DE LA RED DE MONITOREO		120
6.1	Generalidades.....	120
6.1.1	Clasificación de la Laguna	120
6.2	Paisaje y Entorno.....	121
6.2.1	Catastro de actividades	121
6.2.2	Observaciones generales	121
6.3	Morfología, Hidrología e Hidráulica	122
6.3.1	Cuerpo de agua	122
6.3.2	Escorrentía superficial	125
6.3.3	Aguas Subterráneas	129
6.3.4	Meteorología.....	132
6.4	Calidad del Agua.....	134
6.4.1	Aguas superficiales.....	134
6.4.2	Aguas subterráneas.....	139
6.5	Actores Involucrados y Costos de Monitoreo.....	143
6.5.1	Actores involucrados.....	143
6.5.2	Costos de monitoreo.....	145
CAPITULO 7: CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y DISCUSIÓN.....		147
7.1	Discusión	147
7.2	Conclusiones	147
7.2.1	Sobre el Humedal Laguna de Batuco	147
7.2.2	Sobre la Red de Monitoreo diseñada.....	148
7.3	Recomendaciones	152
REFERENCIAS		154

ANEXOS:

ANEXO A: CLASIFICACIÓN DE HUMEDALES

ANEXO B: ESTACIONES Y MÉTODOS FLUVIOMÉTRICOS

ANEXO C: REQUISITOS DE MANIPULACIÓN Y PRESERVACIÓN DE LAS
MUESTRAS

ANEXO D: PROYECTO FPA LAGUNA DE BATUCO

ANEXO E: ANTECEDENTES DEL ÁREA DE ESTUDIO

ANEXO F: ANÁLISIS COMPLETO DE LA CALIDAD DE LA COLUMNA DE AGUA EN
LA LAGUNA DE BATUCO

ANEXO G: NORMATIVA Y ESTÁNDARES APLICABLES A HUMEDALES (DIGITAL)

ANEXO H: INFORMES DE TERRENO (DIGITAL)

CAPÍTULO 1:
INTRODUCCIÓN

CAPITULO 1: INTRODUCCIÓN

La diversidad biológica no está distribuida de forma homogénea a lo largo y ancho del planeta, sino que tiende a concentrarse en “puntos claves”, como los humedales, considerados entre los ecosistemas más productivos del mundo.

Los humedales son una combinación entre ambientes terrestres y acuáticos, correspondiendo a una amplia gama de hábitat, sean estos interiores, costeros o marinos. Se han definido de varias formas, pero la generada en la Convención Internacional de Humedales realizada en Ramsar, Irán (Convención Ramsar, 1971) es la más amplia ya que incluye de una u otra forma a todas las demás definiciones. Según Ramsar los humedales corresponden a “extensiones de marismas, pantanos, turberas o aguas de régimen natural o artificial, permanentes o temporales, estancadas o corrientes, dulces, salobres o saladas, incluyendo las extensiones de agua marina cuya profundidad en marea baja no exceda los seis metros” (Dugan, 1992)¹.

Los humedales corresponden a áreas someramente inundadas o con aguas justo por debajo de la superficie. Esto hace que se generen suelos con bajo contenido de oxígeno y por ende plantas que se adapten a ellos. En estas aguas, suelos y plantas se suceden las transformaciones químicas que hacen que estos ecosistemas sean tan productivos.

De esta forma, los humedales son un nido para gran cantidad de especies de aves, mamíferos, reptiles, anfibios, peces e invertebrados, muchos amenazados de extinción. También cumplen una serie de funciones y aportan gran cantidad de beneficios económicos a la sociedad. Entre las funciones y valores más importantes se pueden mencionar la mitigación de crecidas, la depuración y el abastecimiento de aguas, y las posibilidades de recreación y turismo.

Pese a todo esto, los humedales por siglos fueron considerados como lugares no deseables debido a las escasas posibilidades de aprovechamiento económico que presentaban. Es por esto que muchos de estos ambientes fueron restringidos y secados.

Esto hasta que a principios de la década de los 60s, debido a la notoria baja en la población de aves acuáticas y a la importancia de conservar el hábitat de las especies migratorias se creó la Convención Ramsar. Esta convención ha sentado las bases a nivel mundial para el cuidado de los humedales y ha realizado un inventario de humedales de importancia internacional.

Sin embargo, aún cuando la mentalidad actualmente ha cambiado bastante, el crecimiento urbano, agrícola e industrial, ha provocado que los humedales sigan siendo ecosistemas amenazados que deben ser monitoreados.

¹ Manual de la Convención de Ramsar: Guía a la Convención sobre los Humedales (Ramsar, Irán, 1971), Secretaría de la Convención de Ramsar, 2004.

Un monitoreo puede ser definido como un programa de observaciones sistemáticas para evaluar el cumplimiento de un nivel predeterminado, estándar o una norma (RAUCH, 2005). Entonces, al ser los humedales ambientes complejos y variables, una Red de Monitoreo en ellos debe incluir una gran cantidad de factores como son los aspectos hidrológicos, biológicos, físico-químicos y socio-económicos en una distribución espacial y temporal adecuada.

En el caso particular de esta memoria el objetivo está enfocado a la definición de una metodología para diseñar una Red de Monitoreo sobre la calidad y cantidad de aguas en humedales, sin dejar de lado la información preliminar que se puedan obtener en otros aspectos.

Para cumplir con este objetivo es necesario realizar una investigación que permita comprender los ecosistemas humedales en un contexto mundial y nacional, y conocer a cabalidad los distintos aspectos en el diseño de una Red de Monitoreo de aguas en humedales. Estos dos temas se abordarán en los Capítulos 2 y 3 respectivamente.

1.1 Estudio de Caso: Laguna de Batuco

Chile posee una cantidad y variedad importante de humedales, desde bofedales, salares y lagunas altoandinas en el extremo norte, hasta marismas y turberas en la zona austral, pasando por estuarios, lagos y lagunas costeras e interiores. Lamentablemente no todos estos humedales se encuentran en situaciones naturales, existiendo un buen número bajo amenaza ambiental. Entre estos últimos está la Laguna de Batuco, que aún cuando es un sistema lacustre también es catalogada como un humedal por sus características.

El Humedal Laguna de Batuco entonces, es un sistema enormemente intervenido y en constante riesgo por su cercanía a distintas actividades antrópicas. De hecho, en 2003 y 2005 se registraron en el sector eventos de mortandad de varias especies por causas que todavía se están analizando.

Estos aspectos hacen que aplicar la metodología de diseño de Redes de Monitoreo en humedales aquí sea un importante desafío abarcado en el Capítulo 6 de esta memoria. Para esto será necesario evaluar preliminarmente los recursos hídricos de la Laguna de Batuco en bibliografía y en terreno (Capítulos 4 y 5 respectivamente).

El Humedal Laguna de Batuco se sitúa a unos 40 km al norte de la Cuenca de Santiago, al noroeste de una extensa llanura. La Laguna es de aguas someras y salinas (CONAMA, 1998). Posee una extensión aproximada de 250 hectáreas y en años lluviosos alcanza una superficie de 350 hectáreas (Del Campo, 2000). La Laguna se encuentra en el corazón de un humedal que tiene, según algunos estudios, 14.788 hectáreas de terrenos inundables y pantanos, éste es el famoso Humedal de Batuco.

En el Humedal Laguna de Batuco habitan más de 70 especies de aves, algunas en peligro de extinción y otras con problemas de conservación, lo que representa cerca de un 20% de la avifauna del país (Del Campo, 2000). En relación a la flora, existen en el

sector una serie de especies que son endémicas de Chile, algunas de distribución restringida o poco conocidas.

Figura 1.1
Vista aérea del Humedal Laguna de Batuco



Fuente: COREMA RMS, 2005.

Es por esto que, pese a toda la intervención antropogénica, este sector tiene un alto valor como una gran área verde, con grandes potenciales para un uso turístico y educacional. Así, el Humedal Laguna de Batuco, además de generar servicios ambientales tan valiosos como la preservación del recurso agua (por citar el más relevante), posee un gran potencial económico debido a su cercanía con la ciudad más grande de Chile.

Al ser la Laguna de Batuco un sitio lacustre, sus recursos hídricos, tanto superficiales como subterráneos, juegan un papel fundamental en su desarrollo. Esto hace que monitorear estos recursos sea muy importante si se desea mantener este ambiente. En este sentido, la generación de esta memoria será fundamental para concretar esta tarea.

Y así lo demuestra un proyecto que se adjudicó el Fondo de Protección Ambiental (FPA) 2007 otorgado por la CONAMA, que tiene por objetivos la educación ambiental y el monitoreo en la Laguna de Batuco. De hecho, parte de este fondo se destinará a la implementación y operación de la Red de Monitoreo diseñada en esta memoria, la cual interesa a la Municipalidad de Lampa y a otros organismos públicos y privados.

CAPÍTULO 2:

HUMEDALES EN EL MUNDO Y EN CHILE

CAPITULO 2: HUMEDALES EN EL MUNDO Y EN CHILE

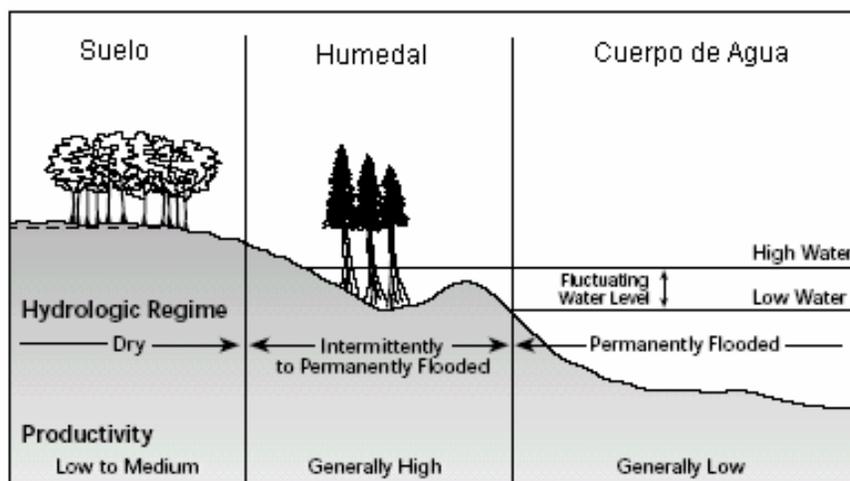
“Y cuando Inti se levante por el este, la vida se echa a andar una vez más. En los protegidos bofedales, la vicuña y el guanaco se reencuentran con el sol y con la hierba dura que los alimenta, y en las lagunas congeladas por la noche, la tagua y la parina pueden de nuevo hurgar entre las aguas liberadoras de sustento”.

Gastón Oyarzún
Andes, Chile

2.1 Definición de Humedal

Los humedales son la unión entre suelo y agua, tal como se muestra en la Figura 2.1. Ocupando así la zona de transición entre ambientes permanentemente húmedos y generalmente secos. Pueden ser hallados en todos los continentes menos en la Antártica, principalmente en áreas planas con vegetación, en depresiones y entre suelo seco y agua a lo largo de esteros, ríos, lagos y costas.

Figura 2.1
Humedal como unión entre suelo y agua



Fuente: Modificado de America's Wetlands, EPA, 1999.

Para que exista un sistema humedal debe producirse al menos una de las siguientes condiciones, periódica o permanentemente:

- El nivel freático de las aguas subterráneas tiene que estar muy cerca o sobre la superficie de terreno.
- El suelo debe estar cubierto por aguas someras provenientes de lluvias o escorrentías superficiales continentales o marinas.

Además, los suelos saturados de los humedales, por lo general, deben ser capaces de acoger vegetación adaptada a este tipo de condiciones (hidrófitas).

Aún cuando, existen muchas más definiciones para los humedales, es más fácil y útil diferenciarlos de otros ecosistemas exponiendo sus atributos. La Convención Ramsar (Ramsar, 2004) hizo un listado con las funciones y valores de los humedales, justificando su condición única.

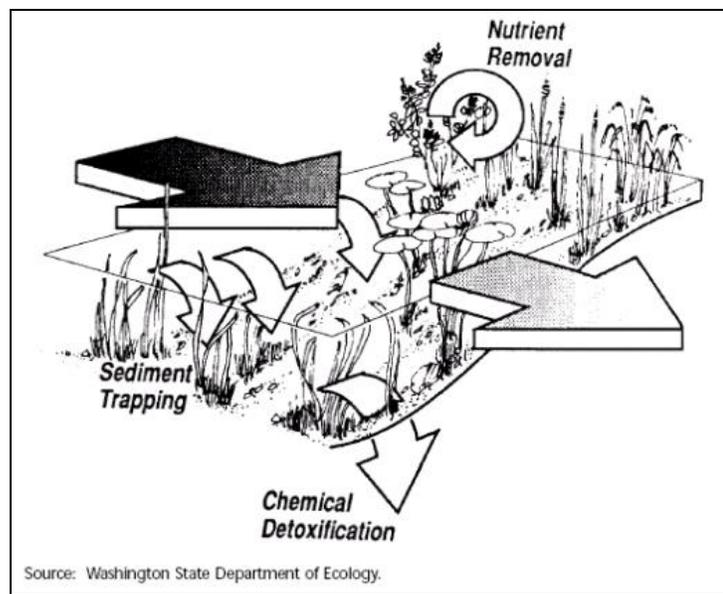
2.1.1 Funciones y valores de los humedales

2.1.1.1 Funciones

Las interacciones de los componentes físicos, biológicos y químicos de un humedal, como los suelos, el agua, las plantas y los animales, hacen posible que desempeñe muchas funciones vitales, como por ejemplo:

- Almacenamiento de agua;
- protección contra tormentas y mitigación de crecidas;
- estabilización de costas y control de la erosión;
- recarga de acuíferos (movimiento descendente de agua del humedal al acuífero subterráneo);
- descarga de acuíferos (movimiento ascendente de aguas que se convierten en aguas superficiales en un humedal);
- depuración de aguas;
- retención de nutrientes;
- retención de sedimentos;
- retención de contaminantes;
- estabilización de las condiciones climáticas locales, particularmente lluvia y temperatura.

Figura 2.2
Mejoramiento de la calidad del agua en humedales



Fuente: America's Wetlands, EPA, 1999.

2.1.1.2 Valores

Los humedales reportan a menudo beneficios económicos enormes, como por ejemplo:

- Abastecimiento de agua (cantidad y calidad);
- pesca (más de dos tercios de las capturas mundiales de peces están vinculadas a la salud de las zonas de humedales);
- agricultura, gracias al mantenimiento de las capas freáticas y a la retención de nutrientes en las llanuras aluviales;
- madera y otros materiales de construcción;
- recursos energéticos, como turba y materia vegetal;
- recursos de vida silvestre;
- transporte;
- un amplio espectro de otros productos de humedales, incluidas hierbas medicinales;
- posibilidades de recreación y turismo.

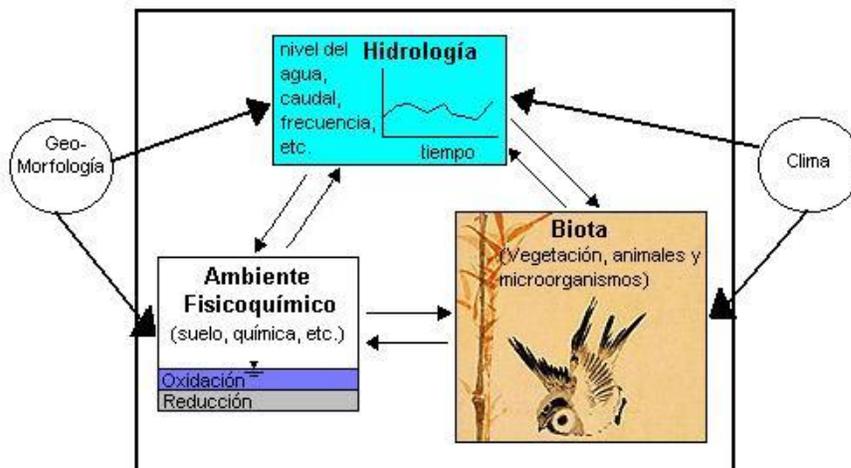
Además, los humedales poseen **atributos especiales** como parte del patrimonio cultural de la humanidad: están asociados a creencias religiosas y cosmológicas y a valores espirituales, constituyen una fuente de inspiración estética y artística, aportan información arqueológica sobre el pasado remoto, sirven de refugios de vida silvestre y de base a importantes tradiciones sociales, económicas y culturales locales.

2.2 Características Principales

Debido a todos estos beneficios ecológicos y económicos, los humedales son ampliamente apreciados. Sin embargo, estos ambientes han permanecido como un enigma para los científicos. Los humedales tienen propiedades únicas que no pueden ser explicadas por los presentes paradigmas de la ecología ni por ninguno de sus campos como la limnología, la ecología de los estuarios y la ecología terrestre (Mitsch & Gosselink, 2000). De hecho, las investigaciones referentes a humedales requieren de una aproximación multidisciplinaria y de una preparación normalmente no incluida en los programas universitarios.

Las tres componentes básicas para entender los humedales son: la hidrología, el ambiente fisicoquímico y la biota, las cuales se relacionan formando el esquema de la Figura 2.3. El punto inicial lo indican el clima y la geomorfología de la cuenca, los cuales determinan el potencial para que existan estos ecosistemas. Los humedales suelen ser más comunes en climas fríos o húmedos que en climas cálidos o secos. En los climas fríos hay menos pérdida de agua por evapotranspiración, mientras que en los climas húmedos existen mayores precipitaciones. Con respecto a la geomorfología de la cuenca, mientras menor pendiente exista, mejores serán las condiciones para la existencia de un ambiente humedal. Además, una cuenca aislada tiene un potencial diferente para que se forme un humedal que una alimentada por el mar o un río. El clima y la geomorfología afectan también la biota y las características fisicoquímicas respectivamente. Un ejemplo de la segunda relación es la dependencia entre los minerales que existen en el suelo de la cuenca y la química del agua en el humedal.

Figura 2.3
Las tres componentes básicas de los humedales y sus relaciones



Fuente: Elaboración propia.

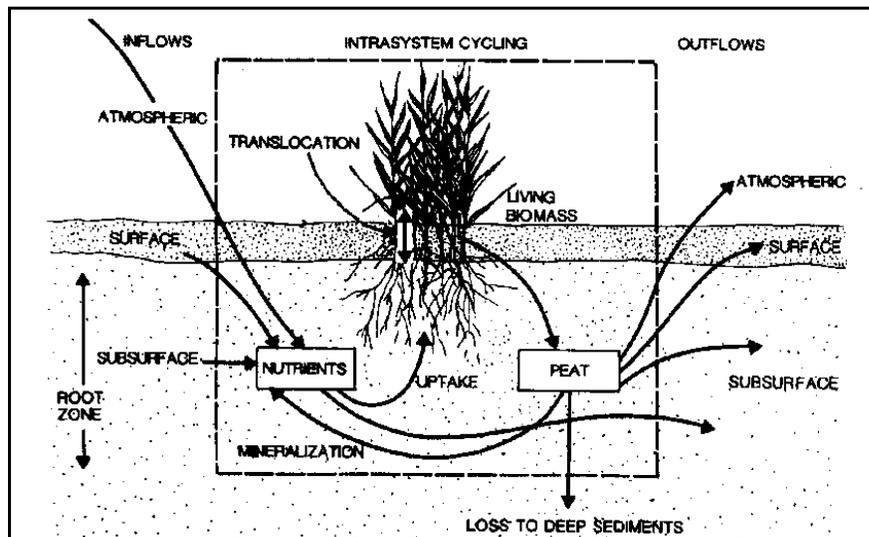
La hidrología de un humedal afecta y cambia directamente su ambiente físicoquímico, particularmente la disposición de los sedimentos, la disponibilidad de oxígeno y nutrientes, la salinidad, el pH y la toxicidad. Las concentraciones de los elementos presentes en él varían según su volumen cambia. Además, una pequeña modificación en las condiciones hidrológicas de un humedal puede traer fuertes consecuencias en la biota del humedal, cambiando la variedad y riqueza de las especies y la productividad de este ecosistema.

Algunas modificaciones del ambiente físicoquímico de los humedales, como la acumulación de sedimentos, pueden cambiar la geometría de la cuenca o el flujo hacia o desde estos ambientes, alterando así su hidrología. A su vez, los niveles de anoxia y nutrientes en los sedimentos, son propiedades físicoquímicas que afectan directamente la biota de un humedal.

En la Figura 2.3 se puede apreciar que existe una retroalimentación desde la biota hacia la hidrología y las características físicoquímicas de los humedales. Estas relaciones se producen según varios mecanismos. Los microorganismos, por ejemplo, catalizan virtualmente todos los cambios químicos en los sedimentos, mientras que las plantas modifican su medio físico, formando suelo vegetal y atrapando los sedimentos, nutrientes y contaminantes. Las plantas también afectan la hidrología, reduciendo la erosión, alterando la forma en que se depositan los sedimentos e interrumpiendo el flujo del agua. Además, su evapotranspiración es un factor más a considerar en el balance hídrico de un humedal. Los animales, a su vez, alteran la hidrología de estos ecosistemas construyendo hoyos y presas.

La Figura 2.4 muestra las relaciones que existen entre las tres componentes básicas de un humedal a una escala menor. A continuación se describirá cada una de ellas.

Figura 2.4
Esquema del Balance de masas en un humedal



Fuente: Department of Environment, Maryland (<http://www.mde.state.md.us>).

2.2.1 Hidrología

El patrón hidrológico de la cuenca es el principal factor forzante para los humedales y por ello, diferencias en magnitud, frecuencia y duración del caudal generan una variedad de respuestas dentro del humedal (Contreras, 2006).

Las componentes más importantes para caracterizar la hidrología de los humedales son: precipitaciones, evapotranspiración, flujos superficiales, recargas y descargas subterráneas y mareas en humedales costeros (Figura 2.5). Todas ellas forman los aportes y las descargas en un balance hídrico de un humedal. A continuación se describirá cada una de ellas:

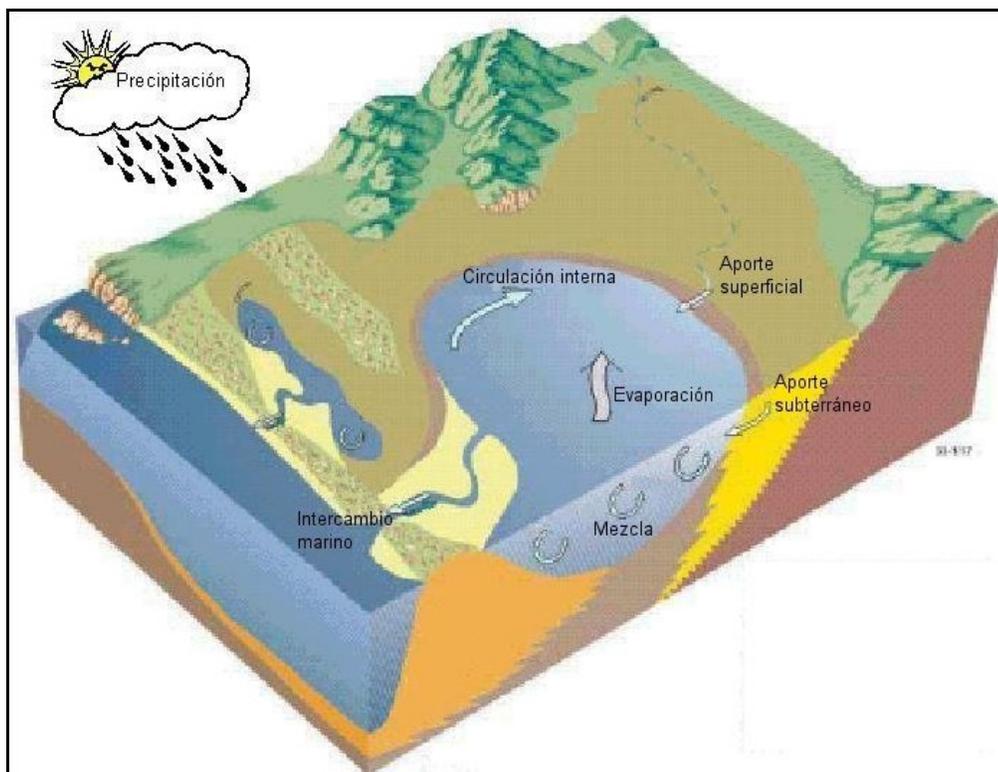
- **Precipitación:** Se refiere al aporte que cae directamente sobre el cuerpo de agua o depresión. Los humedales son más frecuentes en regiones donde la precipitación excede las pérdidas por evapotranspiración y descarga superficial. Excepciones ocurren en humedales alimentados por el mar o por ríos.
- **Evapotranspiración:** Es la descarga resultante de la suma entre el agua que se evapora desde el suelo o desde el espejo de agua (evaporación), junto con la humedad que pasa a través de las plantas hacia la atmósfera (transpiración). La evaporación y la transpiración dependen de las mismas condiciones meteorológicas, como la radiación solar, la temperatura, el viento y la humedad del aire. Es por esto que resulta difícil saber cuál de las dos produce mayores descargas hacia la atmósfera, esto depende del tipo de planta y de la estación del año. Debido a que las aguas en los humedales tienen mayor extensión horizontal que vertical el peso que tiene esta descarga en el balance hídrico es notorio.
- **Flujos superficiales:** Estos aportes o descargas pueden deberse a escorrentías de precipitaciones que caen en la cuenca del humedal, a flujos en cauces que llegan o salen del humedal, o a inundaciones de ríos o esteros aledaños.

- **Recargas o descargas subterráneas:** En algunos casos el agua subterránea puede influenciar enormemente la hidrología de los humedales, mientras que en otros casos sólo existe una pequeña relación. Esto último es bastante común ya que en la mayoría de los humedales los suelos tienen poca permeabilidad. La recarga subterránea hacia estos ecosistemas ocurre cuando el nivel de las aguas en el humedal o nivel freático, si éstas se encuentran bajo la superficie, se encuentra bajo el nivel de las aguas subterráneas aledañas. Si ocurre lo contrario, el humedal estará descargando sus aguas hacia la napa. En un mismo humedal pueden ocurrir ambas situaciones.
- **Mareas:** Las fluctuaciones periódicas y predecibles de las mareas son el mayor aporte en los humedales costeros. En costas más irregulares estas fluctuaciones son mayores llegando a varios metros en la dirección vertical.

Los humedales que se encuentran influenciados por el flujo de aguas subterráneas tienen menores fluctuaciones que los que sólo tienen aportes y descargas superficiales. Aún así, una fluctuación estacional del nivel del agua es la regla, no la excepción en la mayoría de los humedales (Mitsch & Gosselink, 2000).

Por último, una característica fundamental de la hidrología de los humedales son sus bajas velocidades de flujo, lo que se traduce en altos tiempos de residencia del agua al interior del cuerpo. Lo anterior, junto con la baja profundidad del agua, genera importantes efectos en la fisicoquímica y biota de estos ecosistemas, diferenciándolos de los lagos más profundos.

Figura 2.5
Esquema simplificado de la hidrología de un humedal costero



Fuente: Modificado de Contreras, 2006.

2.2.2 Ambiente fisicoquímico

Los ciclos fisicoquímicos de los humedales son una combinación de transformaciones químicas y procesos de transporte únicos en la naturaleza. Estos ambientes pueden ser fuentes, sumideros o transformadores de químicos, dependiendo del tipo de humedal, de sus condiciones hidrológicas y de la magnitud, frecuencia y duración de los aportes químicos.

Si bien el transporte de sedimentos y químicos ocurre principalmente en el medio acuoso, es en los suelos donde suceden la mayor parte de los procesos fisicoquímicos de los humedales. Por lo tanto, a continuación se describirá este compartimiento, para luego hablar de las transformaciones que ocurren tanto en el suelo como en el agua. Finalmente, se hablará de dos fenómenos que pueden jugar un rol importante en los humedales: la estratificación y la salinidad.

2.2.2.1 Los suelos de los humedales

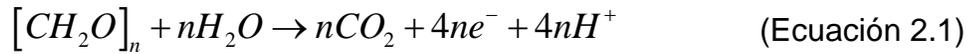
En ellos ocurren muchas de las transformaciones fisicoquímicas de estos ecosistemas, y además, sirven como lugar de almacenaje para los químicos usados por la mayoría de las plantas. Las condiciones saturadas en que se desarrollan los suelos en los humedales, generan condiciones anaeróbicas que se traducen en un ambiente reductor. Sólo una pequeña capa superficial, se mantiene oxidada. Por lo tanto, estas dos capas (surface y subsurface en la Figura 2.4) componen un medio terrestre ideal para las transformaciones químicas tanto de oxidación como de reducción.

Existen dos tipos de suelos en los humedales, los orgánicos y los minerales. Los primeros tienen más materia orgánica y son más ácidos que los segundos. Sin embargo, ambos suelos tienen una capa de materia orgánica en su extremo superior.

2.2.2.2 Transformaciones químicas

La remoción de sólidos suspendidos es muy efectiva en los humedales (Musalem, 2002). De hecho, la decantación de la materia orgánica sedimentable es muy rápida debido a la baja velocidad y a la filtración. Posteriormente, esta materia junto con la que está en estado disuelto y coloidal es descompuesta por los microorganismos. La actividad microbiana puede ser aeróbica cerca de la superficie del agua y cerca de las raíces y rizomas de la vegetación, pero la descomposición anaerobia prevalece en el resto del sistema (Musalem, 2002).

Las reacciones de óxido-reducción, que ocurren principalmente en los suelos de los humedales, van variando según cambia el potencial redox de este medio. Esta variable depende del tiempo y de la cantidad de materia orgánica presente. La materia orgánica es el mayor sustrato o dador de electrones del resto de las reacciones. La descomposición de esta materia es más rápida en presencia de oxígeno y más lenta para receptores de electrones como nitratos y sulfatos. En la Ecuación 2.1 se describe la oxidación de sustrato orgánico:



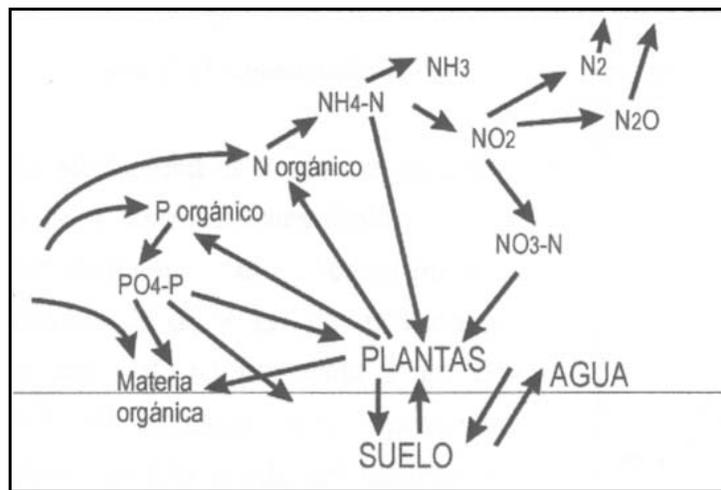
Simultaneas a esta transformación, se suceden reacciones que utilizan los electrones donados por la materia orgánica. La primera y más común ocurre cuando el potencial redox se encuentra entre 400 y 660 mV, es la oxidación aeróbica:



En esta transformación, el oxígeno es el aceptor de electrones.

Bajo un ambiente aerobio y una vez que la mayoría de la materia orgánica ha sido degradada, los organismos nitrificantes entran en acción. Pero antes, el nitrógeno orgánico que entra en un humedal o que proviene de su propia vegetación sufre descomposición o mineralización liberando nitrógeno en forma amoniacal (NH_4-N). La posterior transformación de este nitrógeno en nitrito (NO_2) y luego en nitrato (NO_3) es la llamada nitrificación, la cual requiere condiciones especiales de temperatura y alcalinidad. Luego vendrá la desnitrificación bajo condiciones anóxicas (Figura 2.6).

Figura 2.6
Transformación de nutrientes dentro de un humedal



Fuente: Musalem, 2002.

Las reacciones de reducción toman lugar después que el suelo se vuelve anaeróbico. Estas se suceden como muestran la Tabla 2.1 y la Figura 2.7, envolviendo no sólo al nitrógeno sino que a otros elementos de manera simultánea.

Tabla 2.1
Formas oxidadas y reducidas de varios elementos

Elemento	Forma Oxidada	Forma reducida	Potencial redox aproximado para la transformación (mV)
Nitrógeno	NO_3^- (nitrato)	N_2O , N_2 , NH_4^+	250
Manganeso	Mn^{4+} (mangánico)	Mn^{2+} (manganoso)	225

Tabla 2.1
Formas oxidadas y reducidas de varios elementos (continuación)

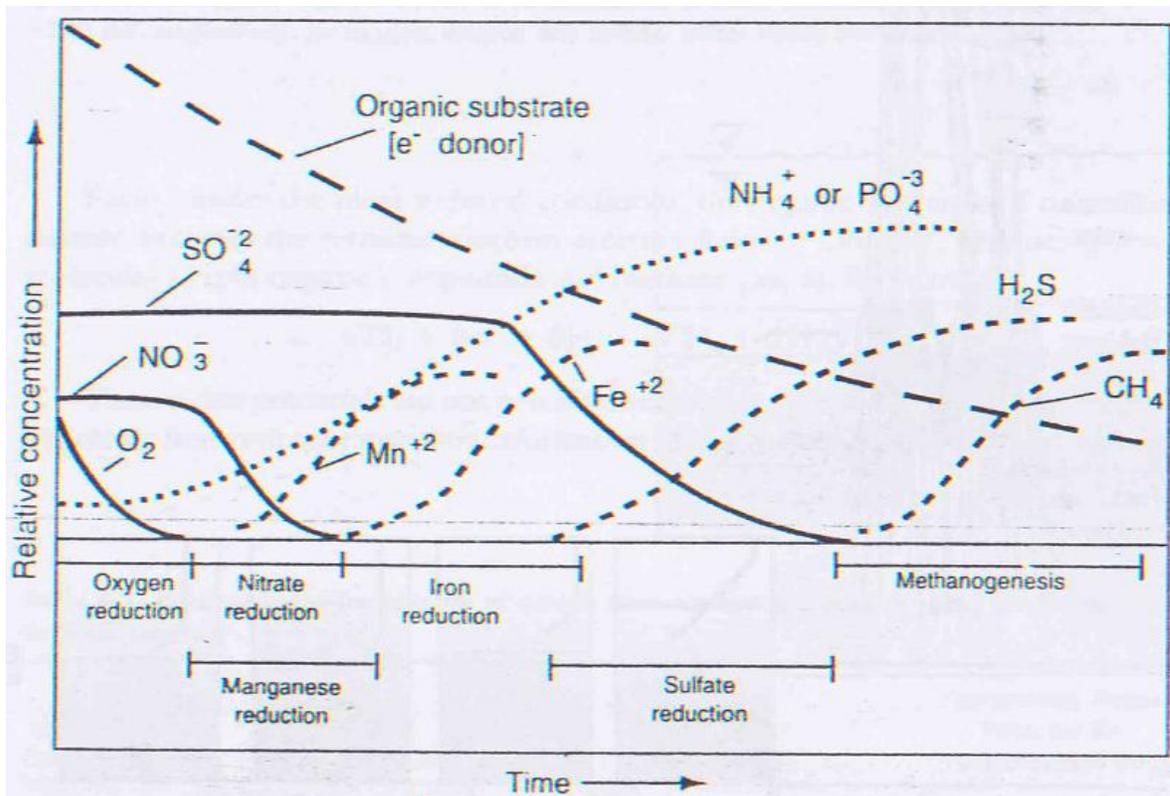
Elemento	Forma Oxidada	Forma reducida	Potencial redox aproximado para la transformación (mV)
Fierro	Fe ³⁺ (férrico)	Fe ²⁺ (ferroso)	100 a -100
Sulfuro	SO ₄ ⁻ (sulfato)	S ⁻ (sulfito)	-100 a -200
Carbono	CO ₂ (dióxido de carbono)	CH ₄ (Metano)	Bajo -200

Fuente: Mitsch & Gosselink, 2000.

El caso del fósforo es diferente, este nutriente no está directamente relacionado con el potencial redox. El fósforo se presenta de manera soluble e insoluble, orgánico e inorgánico, teniendo un ciclo sedimentario y no gaseoso como el del nitrógeno. Entre las formas inorgánicas y solubles del fósforo están los ortofosfatos (PO₄³⁻, HPO₄²⁻ y H₂PO₄⁻). El fósforo se encuentra relativamente no disponible para las plantas y microconsumidores debido a:

- La precipitación de los fosfatos insolubles con el fierro, el calcio y el aluminio bajo condiciones aeróbicas;
- la adsorción del fosfato en las partículas del suelo;
- la incorporación del fósforo en la materia orgánica (biomasa viva, algas y macrófitas vasculares).

Figura 2.7
Sucesión de reducciones químicas en el suelo de los humedales



Fuente: Mitsch & Gosselink, 2000.

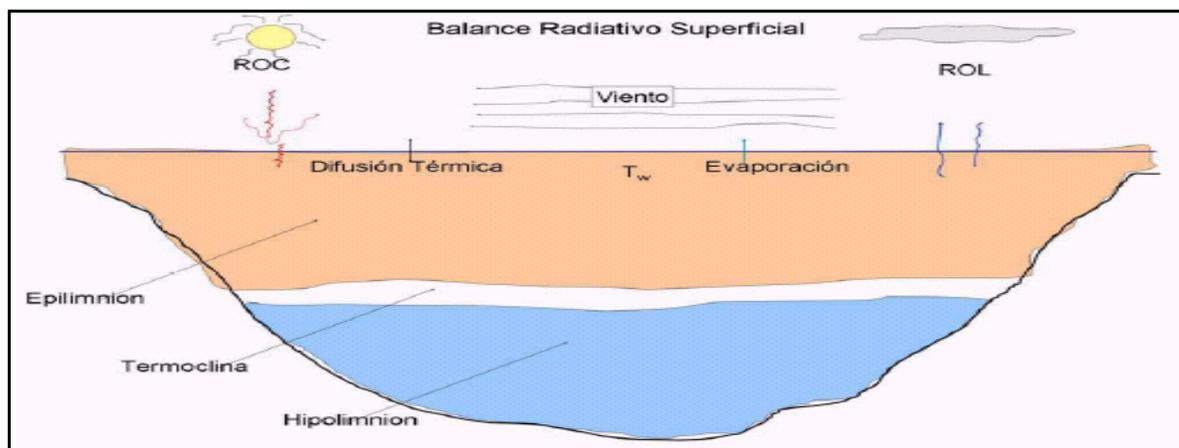
Al igual que los microorganismos y las plantas, el pH y la temperatura juegan un rol fundamental en las velocidades de todas estas transformaciones. Pero sin duda es el tiempo de retención el parámetro que más determina cuáles de éstas se llevan a cabo y hasta qué punto. De hecho, casi todas las remociones de elementos en humedales dependen directamente de este parámetro, usándose como medio de control en el tratamiento de aguas residuales en humedales artificiales. Dependiendo de la vegetación presente en estos sistemas los tiempos de retención óptimos pueden ir entre 1 y 2 semanas, removiendo y transformando gran parte de la contaminación presente en sus aguas.

2.2.2.3 La estratificación

El aumento de la temperatura superficial durante el verano produce una disminución en la densidad del agua superficial con respecto al agua profunda. Este escenario de densidades es conocido como un escenario estable, ya que naturalmente los fluidos de menor densidad se ubican en las zonas altas y los de mayor densidad en la parte baja. Por lo tanto, si se desea mezclar la columna de agua es necesario entregar una cantidad de energía para “subir” el agua densa a la superficie y “bajar” el agua menos densa a la capa más profunda. Este proceso se conoce como estratificación. Usualmente, el estrato superficial se conoce como epilimnion, el profundo como hipolimnion y el intermedio como metalimnion o termoclina en caso que la estratificación sea por temperatura (Contreras, 2006).

Figura 2.8

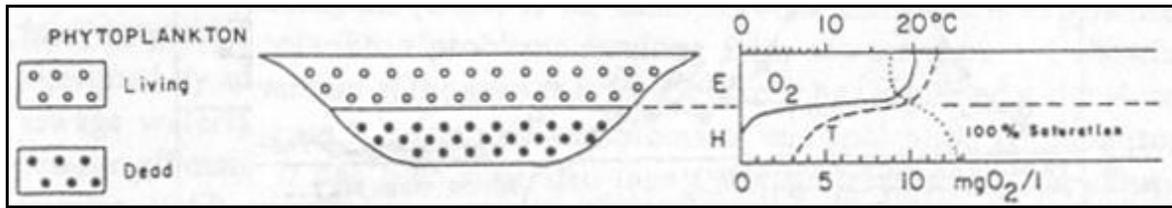
Esquema de la estratificación por intercambio calórico con la atmósfera



Fuente: Contreras, 2006.

La estratificación implica que la capa profunda se aísla respecto del intercambio con la atmósfera, en particular, del traspaso de oxígeno atmosférico. Al recibir poco oxígeno el hipolimnion, las reacciones químicas en los sedimentos lo consumen, y por lo tanto, no es inusual encontrar condiciones anóxicas en este estrato (Contreras, 2006). Es necesario recalcar que en cuerpos de agua poco profundos el consumo de oxígeno en el hipolimnion es mayor (Figura 2.9).

Figura 2.9
Efectos de la estratificación en la concentración de oxígeno disuelto



Fuente: Ryding & Rast, 1989.

Debido a lo somero de sus aguas, los humedales muchas veces no presentan estratificación ya que el aumento de la temperatura superficial alcanza a toda la columna de agua. Además, en ocasiones, el viento puede generar suficiente energía para producir la mezcla de las capas.

En cuerpos de agua con cubiertas de hielo se desarrolla una estratificación térmica inversa, con consecuencias parecidas a la estratificación estival.

En los humedales costeros puede ocurrir una estratificación distinta a la descrita anteriormente. Esta es la estratificación por sal, que se genera por la diferencia de densidades entre el agua salada del mar y el agua dulce. Pero la salinidad en los humedales no está presente sólo en las cercanías del mar.

2.2.2.4 La salinidad

La baja profundidad y gran extensión de las aguas de los humedales, hacen que bajo un ambiente de alta evaporación se acumulen grandes cantidades de sales en los suelos y aguas de estos ecosistemas. Por lo tanto, es frecuente encontrar humedales salobres o salinos en sectores interiores. En general, la salinidad va aumentando desde los afluentes hacia los efluentes debido al mayor tiempo que tiene el agua para evaporarse.

2.2.3 Biota

Los humedales son críticos para la supervivencia de una amplia variedad de animales y plantas, incluyendo especies raras y en peligro de extinción (America's Wetlands, EPA, 1999). Son el habitat para muchas especies como la garza, el coipo y el bato.

Sin embargo, el ambiente de los humedales es, de muchas formas, severo (Mitsch & Gosselink, 2000). Los mayores *stresses* son la anoxia, la salinidad y las fluctuaciones del agua. Por lo tanto, la mayoría de los organismos presentes en estos ecosistemas se encuentran adaptados especialmente a estas condiciones.

Los organismos unicelulares, por ejemplo, tienen la habilidad de respirar anaerobicamente, de consumir los productos tóxicos del metabolismo anaeróbico, de obtener energía de la reducción de los compuestos orgánicos de los sedimentos, y de usar elementos minerales en el sedimento como receptores de electrones cuando no hay oxígeno disponible.

Las plantas y los animales han desarrollado una gran cantidad de adaptaciones debido a su complejidad y movilidad. Las raíces de las plantas, al estar en una situación anóxica por la saturación de agua en el suelo, deben obtener el oxígeno de espacios porosos abiertos en sus tejidos corticales superiores. En tanto, los animales han desarrollado tejidos y pigmentos especiales y sistemas mejorados de circulación para adaptarse a la falta de oxígeno. El exceso de sal es enfrentado por las plantas y los animales con tejidos especiales u órganos destinados a regular la concentración interna de sal y a proteger al resto del cuerpo de los efectos de ésta. Por último, gracias a su alta movilidad, los animales suelen evadir las altas fluctuaciones de estos ambientes.

2.2.4 Relación entre los nutrientes y la biota: la eutroficación

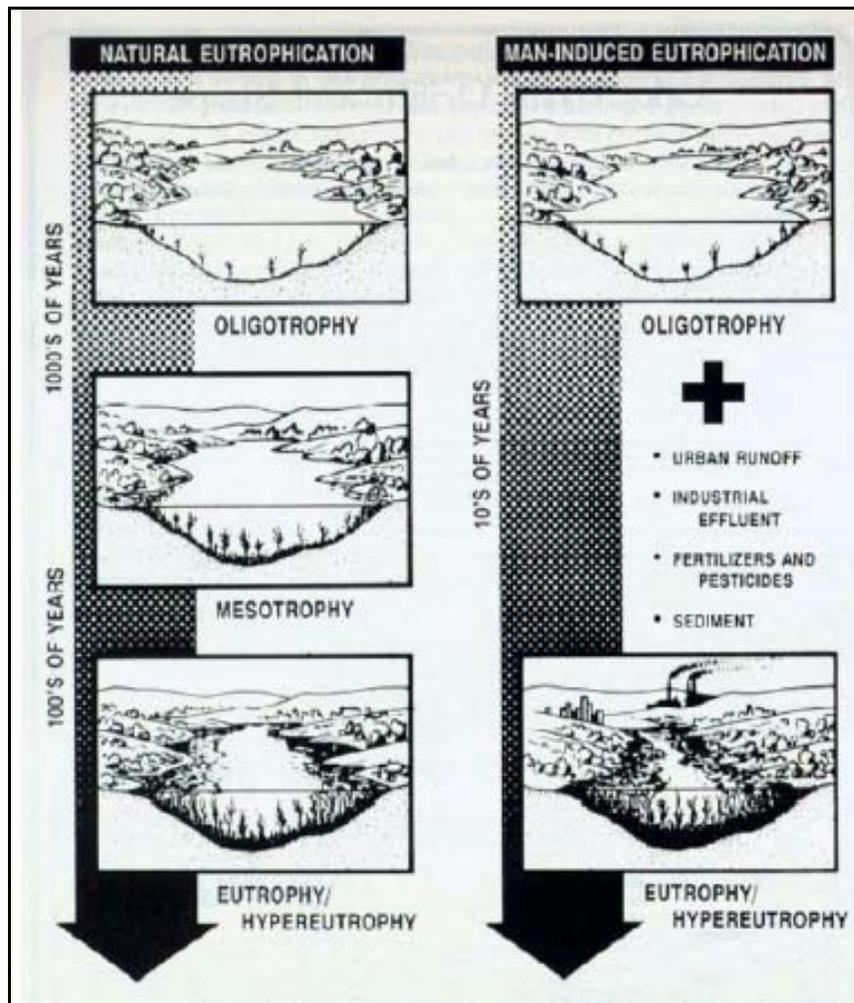
La presencia de nutrientes en los humedales es clave para la existencia de vida. Y no sólo eso, la proporción atómica entre el nitrógeno y el fósforo debe ser 16N:1P para optimizar el crecimiento de fitoplancton en un lago o reservorio (Ryding & Rast, 1989). Es decir, siempre existirá un nutriente limitante para el desarrollo de la vida. En el suelo de los humedales, el nitrógeno es por lo general el nutriente limitante debido a su baja acumulación en los sedimentos. En consecuencia, en las planicies de inundación y en los humedales costeros el nitrógeno es el nutriente limitante, mientras que el fósforo es limitante en los humedales profundos y de agua dulce.

Las macrófitas y las comunidades microbianas usualmente controlan la recarga de nutrientes en los humedales. De esta forma, la recarga externa es muy importante en los lagos, mientras que en los humedales la recarga interna es la fundamental. Por esto y por su escasa estratificación, los humedales resultan ser sistemas mucho más productivos que los lagos (Sánchez & Álvarez, 2000). Sin embargo, el exceso de nutrientes puede traer consigo un crecimiento excesivo de algas, lo que muchas veces es considerado un problema. En muchos humedales someros, esta alta productividad puede forzar la salida del CO₂ del agua hacia la atmósfera, elevando el pH hasta 9 o 10 (Mitsch & Gosselink, 2000).

Los lagos y reservorios pueden ser clasificados como oligotróficos (del griego, poca comida) o eutróficos (del griego buena comida). Aún cuando estas descripciones tróficas no tienen significado alguno, actualmente son usadas para denotar el estatus de los nutrientes en un cuerpo de agua y para describir los efectos de estos nutrientes sobre la calidad del agua. En general, la eutroficación es considerada no deseable ya que interfiere significativamente con muchos usos que el hombre le da a este recurso (Ryding & Rast, 1989).

Los humedales pasan de un estado oligotrófico hacia un estado eutrófico, siendo este proceso unidireccional e irreversible (Figura 2.10). Este proceso puede ser acelerado por el hombre (Contreras, 2006). En las últimas décadas, muchos humedales han caído en una eutroficación gradual, principalmente por la escorrentía agrícola y las aguas residuales (Sánchez & Álvarez, 2000).

Figura 2.10
 Descripción del proceso de eutrofización en humedales



Fuente: Contreras, 2006.

Aún cuando la definición y las características principales de los humedales pueden ser claras, es difícil reconocer este tipo de ambientes ya que algunos gran parte del año se encuentran secos. Además, existen muchos tipos de humedales que pueden formar paisajes completamente distintos. Por lo tanto, para terminar de definir este concepto se hace necesario entender su clasificación.

2.3 Clasificación de los Humedales

Según Mader (Tiner, 1999) el rol de la clasificación de humedales es suplir las necesidades del administrador o dueño de la tierra.

Según la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA)², existen dos enfoques principales de clasificación de los recursos hídricos. Uno está basado en la

² Methods for evaluating wetland condition. #7 Wetlands Classification. 2002.

geografía y el otro está determinado por factores ambientales independientes de la geografía como uso de suelo, vegetación, hidrogeomorfología u otros.

El enfoque geográfico no es más que realizar una serie de divisiones jerárquicas de un territorio de modo de hacer más simple su manejo medioambiental, y evaluar los factores ambientales en cada una de las áreas. En Estados Unidos, por ejemplo, se definieron 76 Eco-Regiones a lo largo de todo el país.

A continuación se describirán los métodos de clasificación más comunes, según el enfoque determinado por los factores ambientales.

2.3.1 Clasificación hidrogeomórfica

Este método, diseñado por Brinson en 1993, se basa en factores geomórficos, origen del agua e hidrodinámica. Existen siete clases según esta clasificación:

- **Sistemas depresionales** (Depressional systems): Como su nombre lo dice, están localizados en depresiones topográficas donde el agua superficial se puede acumular. Pueden ser subdivididos dependiendo de la existencia de afluentes o efluentes y de la fuente principal de abastecimiento (cerrado, abierto/agua subterránea, abierto/agua superficial).
- **Humedales de margen lacustre** (Lacustrine fringe wetlands): Están ubicados a lo largo de las orillas de los lagos, donde la altura del agua en el lago determina la altura de agua en el humedal. Se encuentran influenciados por procesos de formación de costa.
- **Humedales de margen marino** (Tidal fringe wetlands): Ocupan la misma posición de los humedales anteriores pero a lo largo de los bordes marinos, donde el nivel del mar influencia la cota del agua en el humedal aledaño.
- **Humedales de pendiente** (Slope wetlands): Ocurren en pendientes, donde el agua subterránea descarga a la superficie, la cual no tiene la suficiente capacidad de almacenamiento.
- **Humedales ribereños** (Riverine wetlands): Se encuentran en planicies de inundación y en sectores asociados a ríos, esteros y canales.
- **Planicies de suelo mineral** (Mineral soil flats): Zonas de relieve topográfico bajo que tienen a la precipitación como su mayor fuente de recarga.
- **Planicies de suelo orgánico** (Organic soil flats): Son parecidas a los sistemas anteriores pero son controladas por la acumulación de material orgánico.

Para visualizar mejor esta clasificación, fotografías de algunas de estas clases se pueden ver en el ANEXO A.1.

2.3.2 Clasificación del U.S. Fish and Wildlife Service (FWS)

Desarrollado por Cowardin et al. en 1979, ha sido establecido como el sistema oficial de clasificación en gran parte de Estados Unidos. Combina varios factores como la posición, el régimen hidrológico, el hábitat, etc.

Según este esquema, los humedales son clasificados primero según su posición (marinos, lacustres, palustres, ribereños), después por su cobertura (por ejemplo: agua superficial, agua subterránea, vegetación emergente o persistente, arbustos o bosques), y por último por su régimen hidrológico (que va desde saturado o temporalmente inundado a permanentemente inundado, y también depende de si el humedal es afectado por mareas o no).

Un esquema de esta clasificación se encuentra en el ANEXO A.2.

2.3.3 Clasificaciones basadas en el hábitat

Tal como lo dice su nombre, estos tipos de clasificaciones se refieren a los distintos tipos de hábitats que existen en los humedales, definidos por sus asociaciones vegetales y su fauna. Shaw y Fredine en 1956 definieron varios hábitats utilizados actualmente, los cuales tomaron forma en la Circular 39 que en el ANEXO A.3 se comparó con la clasificación de Cowardin. La Nature Conservancy for Terrestrial Vegetation en tanto, creó una clasificación jerárquica más detallada.

2.4 La Protección de los Humedales en un Mundo en Desarrollo

Por siglos, los sistemas humedales han sido considerados como tierras no deseables, difíciles de cultivar, zonas de atracción de insectos, poco atractivas y peligrosas. Sin embargo, en las últimas décadas esta visión ha cambiado, y los humedales se han transformado en uno de los paisajes más variados y hermosos de la Tierra, con una gran cantidad y diversidad de vida vegetal y animal.

Debido a la notoria baja en la población de aves acuáticas (especialmente patos) en los principios de la década de los 60s y a la importancia de conservar el hábitat de las especies migratorias se creó la “Convención de Humedales de Importancia Internacional especialmente como Hábitat de Aves Acuáticas”, comúnmente conocida como Convención Ramsar, debido a su lugar de nacimiento en Irán el 2 de febrero de 1971. Esta convención ha sentado las bases a nivel mundial para el cuidado de los humedales.

De hecho, la Convención Ramsar ha realizado un inventario de humedales de importancia internacional, que llevaba hasta el 2005 una superficie total de 125,4 millones de hectáreas protegidas en 123 países suscritos.

Desafortunadamente, y a pesar de los progresos realizados en los últimos decenios, los humedales siguen figurando entre los ambientes más amenazados del mundo. Los científicos estiman que más de un 50% de estos ecosistemas han sido destruidos en el último siglo (Revista Ecoamérica, 2003).

Figura 2.11
Sticker oficial Día Mundial de los Humedales 2007



Fuente: Ramsar (<http://www.ramsar.org>).

2.4.1 Alteraciones

Las alteraciones o perturbaciones son procesos que afectan la estructura y el funcionamiento de los humedales. Dependiendo de su comportamiento pueden ser de dos tipos: i) presión, donde el proceso actúa por un periodo prolongado de tiempo, y ii) pulso, donde existe un evento único (Contreras, 2006). En función del origen las perturbaciones también pueden ser naturales o antrópicas, siendo estas últimas, en la mayoría de los casos, de carácter negativo.

Según la EPA³, las actividades humanas causan degradación y pérdida de humedales, cambiando la calidad, cantidad y velocidad de sus aguas; incrementando la inyección de contaminantes; y cambiando la composición de las especies como resultado de las alteraciones e introducción de especies no nativas. Las actividades humanas comunes que causan degradación son las siguientes:

2.4.1.1 Alteraciones hidrológicas

Las condiciones hidrológicas hacen que el nivel freático sature o inunde el suelo por un cierto período en el año. Cualquier cambio en la hidrología puede alterar significativamente la química del suelo y las comunidades de plantas y animales. Las alteraciones hidrológicas más comunes son:

- Depositación de material de relleno para urbanización;
- drenaje para el desarrollo urbano, agrícola y control de insectos;

³ Threats to Wetlands, 2001.

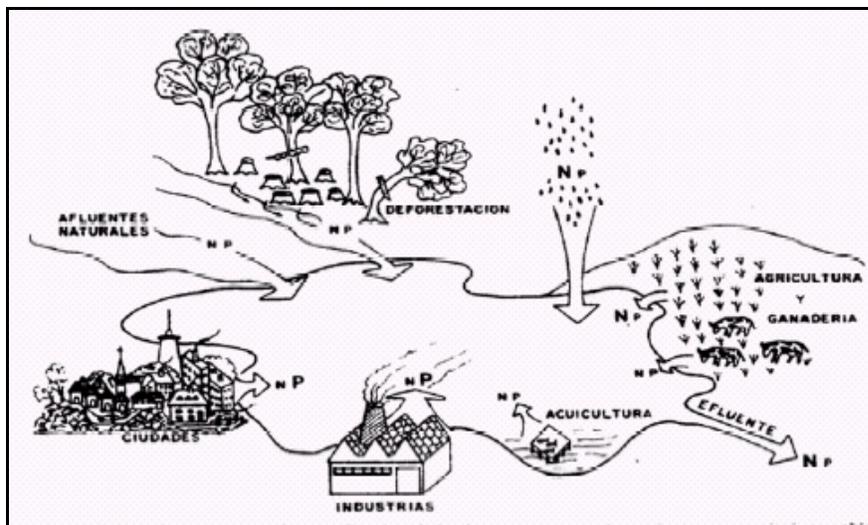
- dragar y canalizar para la navegación y el control de inundaciones;
- formación de pretilos o presas para formar pozas o lagos;
- desviación del flujo desde o hacia un humedal;
- adición de capas impermeables.

2.4.1.2 Inyección de contaminantes

Aún cuando, los humedales son bastante resistentes a las inyecciones químicas (han sido usados como plantas de tratamientos en muchas ocasiones), su capacidad de asimilar contaminaciones humanas desde la atmósfera o la hidrósfera no es ilimitada. Los contaminantes que causan mayor degradación son los sedimentos, fertilizantes, aguas residuales domésticas, desechos animales, pesticidas, metales pesados y selenio. Los contaminantes pueden ser causados por distintas fuentes, siendo éstas difusas o puntuales, incluyendo:

- Escorrentía proveniente de áreas residenciales, agrícolas, forestales y mineras;
- contaminación del aire desde automóviles, industrias y plantas de producción eléctrica;
- basurales y vertederos que infiltren lixiviados al suelo;
- botes o lanchas que aumentan la turbiedad y generan contaminantes.

Figura 2.12
Fuentes difusas y puntuales de materia orgánica y nutrientes desde la cuenca hidrológica hacia los humedales



Fuente: Contreras, 2006.

2.4.1.3 Daño a la vegetación

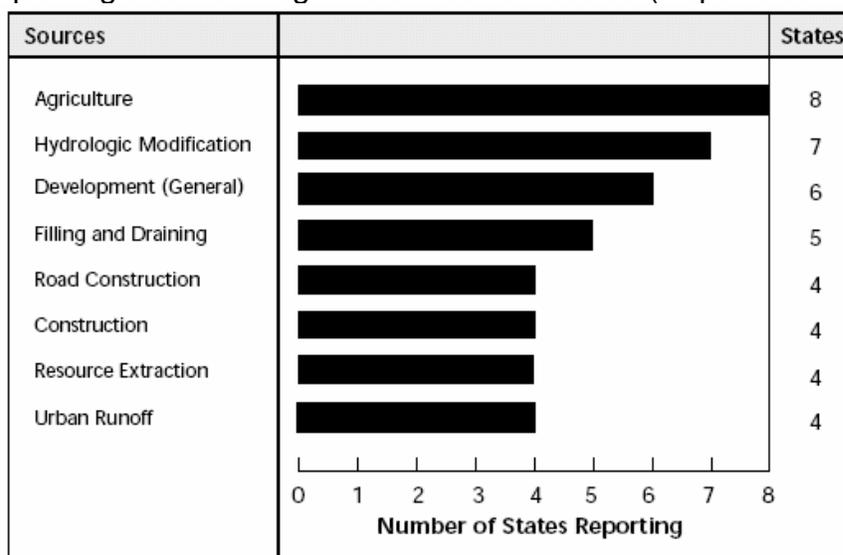
Las plantas en los humedales son susceptibles a degradación debido a alteraciones hidrológicas e inyección de contaminantes. Otras actividades que pueden alterar la vegetación son:

- Daño producido por animales domésticos;

- introducción de plantas no nativas que compitan con las nativas;
- remoción de la vegetación por minería superficial.

Según un estudio realizado en humedales de 10 estados norteamericanos⁴ las fuentes que degradan mayormente estos sitios son la agricultura, las alteraciones hidrológicas y el desarrollo inmobiliario e industrial en general (Figura 2.13).

Figura 2.13
Fuentes que degradan la integridad de los humedales (Reporte de 10 estados)



Fuente: America's Wetlands, EPA, 1999.

Como los humedales pueden ser alterados tan fácilmente, se hace difícil identificarlos después de estos cambios; este el caso, por ejemplo, con los humedales que han sido plantados por un período extenso de años (Mitsch & Gosselink, 2000).

2.4.2 Normativa internacional

Existen pocos lugares en el mundo donde se han creado estándares de aguas específicos para humedales. Sin embargo, debido a que los humedales son ambientes acuáticos es posible aplicarles estándares referentes a este tipo de ambientes. En la Tabla 2.2 se repasarán algunas normativas o guías existentes.

Tabla 2.2
Algunas normativas internacionales aplicables a humedales

País u organismo	Última actualización	Especificidad
Australia y Nueva Zelanda	2000	Específica
Estado de Minnesota, Estados Unidos	2005	Específica
Provincia de British Columbia, Canadá	2006	No específica
Unión Europea	1978	No específica
OCDE	1982	No específica

⁴ America's Wetlands, EPA, 1999.

Estas normativas aparecen en formato digital en el ANEXO G.1. También se puede llegar a ellas visitando los siguientes sitios en Internet:

Australia y Nueva Zelanda:

<http://www.environment.gov.au/water/quality/nwqms/index.html#quality>

Estado de Minnesota, Estados Unidos:

<http://www.revisor.leg.state.mn.us/arule/7050/>

Provincia de British Columbia, Canadá:

http://www.env.gov.bc.ca/wat/wq/BCguidelines/approv_wq_guide/approved.htm

Unión Europea:

<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:31978L0659:ES:HTML>

2.5 El Caso de Chile

2.5.1 Importancia de los humedales

Como se dijo previamente, los humedales son determinantes en el funcionamiento de los ecosistemas y por ende de la vida humana. Existen habitantes de nuestro país que han ubicado y ubican su residencia en estos ambientes húmedos por siglos. En ellos encuentran agua fresca, alimentos o lugares para crianza de animales domésticos, pesca o caza. Desde el extremo norte hasta cerca de Santiago las cuencas hidrográficas son deficitarias en agua. Es decir, son zonas áridas o semiáridas, en que los humedales constituyen una situación excepcional y por lo tanto muy valiosa. Más al sur los humedales son cada vez más frecuentes pero continúan concentrando actividades humanas. El aumento de las actividades productivas y de nuestra población presionan estos espacios húmedos. Afortunadamente, también es mayor el conocimiento que tenemos de los mismos y la voluntad de protegerlos.

2.5.2 Hitos en la historia: protección y contaminación de humedales

Nuestra historia está marcada por distintos hitos que son un tanto contradictorios al momento de brindarle protección y resguardo a los humedales. A continuación se citarán acontecimientos que se relacionan directa o indirectamente con la protección y la contaminación de humedales:

- En **1978** fue promulgada la Norma Chilena Oficial 1333, la cual establece los requisitos de calidad del agua para diferentes usos. Así mismo, el vaciamiento de residuos contaminantes a masas o cursos de agua deberá ajustarse a los requerimientos de calidad especificados para cada uso.

Los usos del agua concernientes a humedales, especificados en esta Norma, son el de riego y el de vida acuática. Los requisitos de calidad se encuentran en formato digital en el ANEXO G.2.

- La convención Ramsar fue aprobada en Chile como Ley de la República en septiembre de 1980 y promulgada como tal a través del DS N° 771 de **1981**, del

Ministerio de Relaciones Exteriores. En la Tabla 2.3 se pueden ver los humedales de importancia internacional que tiene Chile a la fecha.

Tabla 2.3
Sitios Ramsar en Chile

NOMBRE	REGION	SUPERFICIE (ha)	TIPO DE HUMEDAL
Salar de Surire	Tarapacá	15.858	Lacustre, estacional. Salar altiplánico seco y Laguna salina.
Salar de Huasco	Tarapacá	6.000	Lacustre, permanente. Salar altiplánico intermitente.
Salar de Tara	Antofagasta	5.443	Lacustre, permanente. Salar altiplánico.
Sistema Hidrológico de Soncor	Antofagasta	5.016	Lagunas salobres permanentes.
Complejo lacustre laguna Negro Francisco y laguna Santa Rosa	Atacama	62.460	Lacustre, permanente. Salares altiplánicos.
Laguna Conchalí	Coquimbo	34	Laguna costera de agua salobre.
Humedal El Yali	Valparaíso	520	Lacustre, palustre, costero. Lagunas costeras de agua dulce y salobre. Salinas artificiales.
Santuario de la Naturaleza Carlos Anwandter	Los Lagos	4.877	Ribereño, perenne con bañados intermareales.
Bahía Lomas	Magallanes	58.946	Playa de escasa pendiente con intensa influencia de las mareas.
TOTAL		160.154	

Fuente: CONAMA, 2005.

- El Código de Aguas de **1981** cambió radicalmente el sistema de derechos de aprovechamiento de aguas previamente existente en nuestro país, fortaleciendo la propiedad privada de ellos. El nuevo sistema supuestamente favorecería los incentivos de mercado y reduciría la regulación estatal, con potenciales beneficios como mayor eficiencia y flexibilidad en el uso del agua y menos intervención y gasto estatal. Sus desventajas, sin embargo, comprenden importantes externalidades sociales y medioambientales (Protección de humedales en el norte de Chile, DGA).

El impacto de este Código fue extremadamente negativo para los humedales de Chile en general y sobre todo para las vegas y bofedales andinos ubicados en el norte de nuestro país, cuyo hábitat y entorno fueron afectados enormemente.

- El Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas del Estado (SNAPE), que es administrado por Corporación Nacional Forestal (CONAF), fue creado mediante la Ley N° 18.362 de **1984**, para la conservación (planes de manejo y administración) de los ambientes naturales, terrestres o acuáticos. Está formado por: Parques Nacionales, Reservas Nacionales y Monumentos Naturales, dentro de los cuales se encuentran protegidos varios humedales a lo largo del país.

Dentro de algunos de estos sitios se encuentran humedales como: Monumento Natural Salar de Surire, Parque Nacional Lauca, Reserva Nacional Las Vicuñas, y Parque Nacional Volcán Isluga en la I Región; Parque Nacional Lullaillaco, y Reserva Nacional Los Flamencos en la II Región; Parque Nacional Nevado Tres Cruces en la III Región; y Reserva Nacional El Yali en la V Región.

- En **1992** el Código de Aguas fue modificado, incorporando los artículos 58 y 63 (citados en formato digital en el ANEXO G.2). Los cuales tienen la función de proteger y conservar los humedales del altiplano de las Regiones I y II, mediante la prohibición de explorar y explotar, respectivamente, los recursos subterráneos que constituyan una fuente importante de alimentación para estos ecosistemas.

La Dirección General de Aguas (DGA) identificó y delimitó varios acuíferos. De esta manera, en la I Región quedaron protegidos 139 humedales con un total de 335 km², y en la II Región fueron resguardados 167 con una superficie de 2.798 km².

Los artículos 63 y 65 del Código de Aguas mencionan que la DGA puede declarar áreas de prohibición y restricción en todo Chile. Lo que tiene por objetivo resguardar de la sobreexplotación a los acuíferos y con esto a los recursos naturales que estos sostienen.

- Desde **1994** opera en Chile el Comité Nacional de Humedales, constituido por instituciones gubernamentales y no gubernamentales, las que se reúnen periódicamente y desarrollan acciones de elaboración de una estrategia para la conservación de los humedales en Chile, confección y evaluación de propuestas para postular proyectos al financiamiento de humedales para el futuro, entre otras (Del Campo, 2000).
- La Ley 19.300 de Bases del Medio Ambiente de **1994**, a través del Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA), contempla cuatro artículos relativos específicamente a los humedales, además de otros relativos a cuerpos de agua en general y zonas de protección oficial.

Los artículos 3 y 6 son citados en el ANEXO G.2 (digital) y se refieren a la inclusión de proyectos que impacten vegas o bofedales de la I y II Regiones y humedales en general al SEIA. Los artículos 79 y 80 estipulan los permisos ambientales sectoriales para explorar y explotar aguas subterráneas, respectivamente. El artículo 77 hace referencia a acuíferos que alimenten vegas y bofedales en las Regiones I y II y el artículo 78 regula la explotación de zonas prohibidas en todo el país.

- En el año **2000** comenzó a regir un decreto, cuyo fin es regular las emisiones líquidas a cuerpos superficiales (DS N° 90). Si bien en este decreto no se protegen específicamente los sistemas humedales, existen límites máximos para descarga de residuos líquidos a cuerpos de agua lacustres (lagos, lagunas) y a afluentes de éstos. Estos valores están resumidos en formato digital en el ANEXO G.2 donde se encuentra la Tabla N° 3 del decreto. La DGA tiene la facultad de definir ciertos humedales como cuerpos lacustres.
- Entre **2003 y 2004**, mediante las resoluciones 529 y 464 del Código de Aguas, se agregaron más kilómetros cuadrados a proteger, completando una superficie de 491 km² en la I Región (160 vegas y bofedales) y 5.149 km² en la II Región (228 vegas y bofedales).
- La DGA opera y mantiene una red hidrométrica a nivel nacional, que monitorea la calidad y cantidad de aguas en el país. Si se piensa en los humedales como cuerpos de agua, esta red cumple un rol de preservación para estos ambientes. Hasta el año **2004** esta red contaba, a lo largo de Chile, con 397 estaciones fluviométricas, 535 estaciones meteorológicas y 563 estaciones de monitoreo de niveles de aguas subterráneas. Lamentablemente, sólo en algunas de las estaciones fluviométricas y de niveles se vigila la calidad de las aguas. La DGA también controla la calidad de las aguas en 16 lagos y embalses a lo largo del país.
- En **2005**, en una modificación al Código de Aguas, se incorpora el establecimiento de un caudal mínimo ecológico en la constitución de derechos de aprovechamiento de agua con el fin de velar por la preservación de la naturaleza y la protección del medio ambiente.
- El año **2005** la Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA) lanza la Estrategia Nacional para la Conservación y Uso Racional de los Humedales en Chile que tiene como objetivo general promover la conservación de los humedales prioritarios de Chile, y sus funciones y beneficios en un marco de desarrollo sustentable. Se crea así el Comité Nacional de Humedales, que decidirá los parámetros a considerar para evaluar la nominación de un humedal como "Humedal Prioritario".
- La Ordenanza Plan Regulador Metropolitano de Santiago (**2005**) define en su artículo 8.3.1.1 las Áreas de Preservación Ecológica como aquellas áreas que serán mantenidas en estado natural, para asegurar y contribuir al equilibrio y calidad del medio ambiente, como asimismo preservar el patrimonio paisajístico. Desde 1997 la Provincia de Chacabuco está regulada por el Plan Regulador Intercomunal de Santiago, que designó gran parte del Humedal de Batuco como Área de Preservación Ecológica.
- Actualmente se están elaborando Normas Secundarias de Calidad para las aguas de varias cuencas del país. Las cuales, según la Ley 19.300, tienen por objeto proteger y conservar el medio ambiente y preservar la naturaleza.

Lamentablemente, al menos en el Anteproyecto de Normas Secundarias de Calidad Ambiental para la Protección de las Aguas Continentales Superficiales de la Cuenca del Río Maipo (CONAMA, 2006), según su artículo 2°, "No se aplicarán las disposiciones del presente anteproyecto a las aguas minerales, a los humedales, lagunas, embalses, ni en los canales de regadío".

- Además, la Constitución Política de la República establece el régimen de propiedad en los humedales. Este problema no se presenta respecto del espejo de agua de los humedales, ya que por expresa disposición de ley, el dominio de las aguas pertenece al Estado o a la Nación de Chile, en calidad de Bienes Nacionales de Uso Público⁵. El problema se produce en los terrenos adyacentes a las aguas, donde existen dos conceptos importantes de definir:
 - **Álveo o cauce natural:** El suelo que el agua ocupa y desocupa alternativamente en sus creces y bajas periódicas.
 - **Riberas o márgenes:** Las zonas laterales que lindan con el álveo o cauce.

Si el propietario de los terrenos adyacentes al cuerpo de agua es un particular existen dos situaciones en cuanto al dominio, las cuales se describen en la Tabla 2.4 y en la Tabla 2.5.

Tabla 2.4
Humedal de aguas corrientes

Área delimitada	Dominio
Agua	Bien nacional de uso público
Álveo o cauce natural	Bien nacional
Terrenos riberanos	Particular

Fuente: Modificado de Tabilo.

Tabla 2.5
Humedal de aguas detenidas

Área delimitada	Dominio
Agua	Bien nacional de uso público
Álveo o cauce natural	Particular
Terrenos riberanos	Particular

Fuente: Modificado de Tabilo.

Pese a todos los cuidados expuestos en los puntos anteriores, el año 2004, en el Santuario de la Naturaleza "Carlos Anwandter", primer Sitio Ramsar chileno (1981), ubicado entre San José de la Mariquina y Valdivia, en la X Región, ocurrió quizás la

⁵ Artículos 595 y 589 del Código Civil y 51 del Código de Aguas.

más conocida tragedia ambiental en humedales chilenos. Se trata de la muerte de gran cantidad de especies, siendo la más destacada el Cisne de Cuello Negro. Algunas investigaciones actualmente concluyen que la causa de esta catástrofe se debió a la contaminación de las aguas por residuos provenientes de una planta de las empresas Celulosa de Arauco y Constitución S.A., que se había ubicado recientemente aguas arriba del humedal.

Actualmente, en las distintas regiones del país existen diversos planes de acción para evitar que los humedales sigan siendo deteriorados, donde tanto entidades gubernamentales como privadas se encuentran luchando por la protección de estos ambientes.

CAPÍTULO 3:

FACTORES RELEVANTES EN UN MONITOREO DE HUMEDALES

CAPITULO 3: FACTORES RELEVANTES EN UN MONITOREO DE HUMEDALES

3.1 Generalidades

3.1.1 Definiciones

Si bien en la introducción se dio una definición de lo que es un monitoreo, no existe un consenso cuando se utiliza este término. Sin embargo, si se puede hacer una diferencia entre lo que es una evaluación o valoración de humedales y lo que es un monitoreo de humedales. De hecho, la Convención Ramsar (Ramsar, 2004), se refirió ampliamente a este tema planteando una definición para cada concepto:

- **Evaluación preliminar de humedales:** Determinación del estado de los humedales y de las amenazas que pesan sobre ellos, como base para reunir información más específica mediante actividades de monitoreo.
- **Monitoreo de humedales:** Reunión de información específica atendiendo a hipótesis derivadas de la evaluación preliminar, y aplicación de estos resultados a las actividades de gestión. La reunión de información en series temporales no impulsada por hipótesis sobre la evaluación preliminar se califica de reconocimiento en lugar de monitoreo.

Por lo tanto, la hipótesis planteada puede hacer la diferencia entre los distintos tipos de monitoreo. En efecto, el cumplimiento de un nivel predeterminado, estándar o una norma puede ser una de estas hipótesis. Otras hipótesis pueden llevar a la investigación de un contaminante en específico, al estudio de la biota, a la identificación de fuentes de contaminación, al análisis de tendencias, a la comparación entre varios humedales, etc.

Este capítulo se referirá a la primera hipótesis mencionada en el párrafo anterior, planteando así una Red de Monitoreo en un humedal en específico como un programa de detección de impactos ambientales (perturbaciones en general antrópicas) que ocurran en sus recursos hídricos a lo largo del tiempo. No obstante esto, muchos de los antecedentes recolectados y analizados en este capítulo y en esta memoria serán posibles de utilizar en la evaluación de humedales y en todos los tipos de monitoreo.

3.1.2 Importancia del monitoreo en humedales

Monitorear el estado de los humedales es vital para su protección. Validando esto, la EPA hizo un listado de utilidades que tiene la información que se obtiene de un programa de monitoreo y evaluación en humedales⁶:

- Proteger de manera más eficiente los humedales y sus recursos hídricos;
- elegir y priorizar ciertos humedales para su restauración;

⁶ Wetland Monitoring & Assessment, 2001.

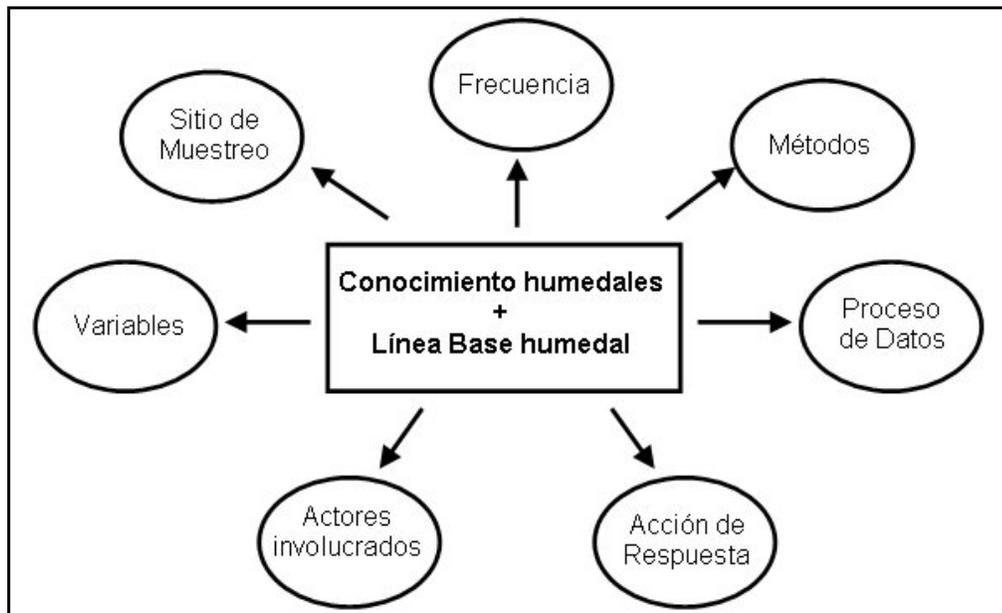
- mejorar el manejo de los impactos en estos cuerpos de agua;
- determinar si ciertos proyectos causarán problemas en la calidad de sus aguas;
- evaluar los efectos de vertidos en los humedales;
- apoyar la evaluación de proyectos de mitigación;
- ayudar a los métodos de evaluación a limitar las fuentes de contaminación;
- justificar mejores planes de acción en los humedales;
- entender mejor como estos cuerpos de agua contribuyen al ecosistema que los rodea.

Siendo las utilidades primera, tercera y cuarta, las que caracterizan de mejor forma la información que se obtiene en un programa de detección de impactos ambientales.

3.1.3 Aspectos esenciales

El diseño de una Red de Monitoreo en un humedal es un tema complejo que debe abordar los siguientes aspectos: variables a monitorear; sitios o estaciones de muestreo; frecuencia de muestreo; métodos de recolección, conservación y análisis; almacenamiento, presentación y evaluación de los datos; acciones de respuesta; y actores involucrados (Figura 3.1).

Figura 3.1
Aspectos esenciales en el monitoreo de humedales



Fuente: Elaboración propia.

Aún cuando teniendo resueltos estos aspectos se puede llegar a una Red de Monitoreo óptima, es necesario primero recabar antecedentes fundamentales para el diseño de ésta Red. Dichos antecedentes no tienen que ver exactamente con los aspectos planteados anteriormente.

El **entendimiento acabado de los procesos que ocurren en los humedales** y puntualmente en el humedal en estudio es uno de ellos. El otro antecedente esencial es

obtener una evaluación certera y profunda de la situación actual o **línea base del humedal**, que incluya un catastro de potenciales fuentes contaminantes. Esta información se puede obtener mediante una revisión bibliográfica completa y a través de visitas a terreno.

A continuación se describen cada uno de los aspectos esenciales nombrados anteriormente:

3.1.3.1 Variables a monitorear

Diversos tipos de mediciones han sido aplicados o pueden ser aplicados en el monitoreo de un humedal. Las variables más usadas incluyen mediciones de las propiedades de plantas o animales específicos, mediciones de las comunidades vegetales y de vida silvestre, mediciones de propiedades físicas y químicas del agua y mediciones de las propiedades del suelo. Algunas menos usadas han sido las mediciones de propiedades hidrológicas e hidráulicas (Kent, 2001).

En un humedal, como en cualquier ecosistema, existe una fuerte dependencia entre las variables que lo componen. De este modo, no es necesario utilizarlas todas para monitorear el estado del humedal. Así, identificando las variables que describen el comportamiento global del humedal se puede llegar a una Red de Monitoreo más acotada pero igual de representativa y sensible.

Si se toman en cuenta sólo las variables que tienen alguna relación con los recursos hídricos de un humedal, éstas pueden ser agrupadas en las variables de paisaje y entorno, en las variables morfológicas, hidrológicas e hidráulicas, y en las variables de calidad del agua. Más adelante se describirán cada uno de estos grupos de variables.

3.1.3.2 Sitios o estaciones de muestreo

Los sitios de muestreo tienen que ser representativos de la situación del humedal. Se encuentran sujetos a la variabilidad espacial de cada parámetro a medir y a la ubicación de las posibles fuentes de contaminación, debiendo ser situados para detectar rápidamente una alteración producida por éstas en el humedal.

Existen dos aproximaciones disponibles para monitorear un humedal: el monitoreo remoto y el de contacto. El monitoreo remoto adquiere la información desde la distancia, sin contacto físico. Esta aproximación puede monitorear procesos a gran escala. Ejemplos de este monitoreo se refieren al análisis de fotografías aéreas o satelitales. El monitoreo de contacto, en cambio, se refiere a la adquisición de datos de un humedal encontrándose físicamente presente en él. Aún cuando, este tipo de monitoreo no provee una información macro, con él es posible muestrear muchos parámetros específicos en el humedal. Es necesario que las estaciones de muestreo en un monitoreo de contacto queden definidas claramente y sean accesibles.

3.1.3.3 Frecuencia de muestreo

Depende de la variabilidad temporal de los parámetros a monitorear, pero sobre todo de la duración de los posibles eventos de contaminación.

La Norma Chilena NCh411/1 (INN, 1996) consigna que existen dos factores que determinan la frecuencia de muestreo:

- a) La magnitud y duración de las desviaciones con respecto a las condiciones deseadas.
- b) La probabilidad de ocurrencia de desviaciones con respecto a las condiciones deseadas.

Si uno debe elegir entre resolución temporal o espacial, la resolución temporal es la opción lógica, ya que muchas veces una estación es suficiente para describir la situación en un lago o reservorio (Ryding & Rast, 1989). Sin embargo, en las estaciones de muestreo de un humedal, es común que existan situaciones diametralmente opuestas debido a las transformaciones químicas presentes.

3.1.3.4 Métodos de recolección, conservación y análisis

Son muy importantes para que las muestras sean fidedignas de la situación que ocurre en el humedal. Dependen de la variable que se quiera medir, de las características del humedal, del instrumental disponible, de los recursos disponibles, etc. Estos métodos generalmente se encuentran normalizados, estando los resultados supeditados a cual de ellos se use.

La recolección puede ser manual o automática. El análisis se puede hacer en terreno o en un laboratorio. De elegirse este último método, las muestras deben ser conservadas o preservadas como corresponda. Detalles acerca de estos aspectos se presentan en las próximas partes de este capítulo y también en los Informes de Terreno que se encuentran en formato digital en el ANEXO H.

Con respecto a las técnicas específicas de monitoreo en humedales, como dice la EPA (2001)⁷, éstas son una mezcla entre las que se usan en monitoreos de lagos y ríos y las que se utilizan en bosques y campos. Además, al presentarse, los humedales, en una tremenda variedad de formas, requieren un amplio espectro de técnicas de muestreo.

3.1.3.5 Almacenamiento, presentación y evaluación de los datos

Los datos se deben guardar de forma ordenada y segura para que puedan ser utilizados en el futuro. Para esto es importante, para cualquier muestra, registrar en una hoja estandarizada cierta información como: localización o nombre del punto de muestreo, detalles del punto de muestreo, fecha y hora del muestreo, método empleado para tomar y analizar las muestras, nombre del muestreador, condiciones climatológicas, rótulo de las muestras, información obtenida en terreno y demás observaciones. Luego toda esta información se tiene que llevar a una base de datos.

Los datos deben presentarse idealmente de manera gráfica, como por ejemplo, clasificando el estado ecológico de las aguas superficiales según colores azules, verdes, amarillos, naranjas y rojos para aguas muy buenas, buenas, aceptables, deficientes y malas, respectivamente (Unión Europea, 2000).

⁷ Volunteer Wetland Monitoring.

La evaluación de los datos se podrá hacer de dos maneras, según métodos estadísticos y/o a través de la comparación con límites preestablecidos. El uso apropiado de estos métodos reduce la ocurrencia de errores falso-positivos (Tipo I), sobretodo cuando se tienen claras las variaciones naturales del humedal. En las normativas y estándares del ANEXO G (digital) y más adelante en este capítulo se establecen límites o valores típicos de ciertos parámetros importantes en los humedales. Estos límites, sin embargo, no representarán necesariamente al humedal en estudio ya que estos ecosistemas, como se vio anteriormente, pueden variar enormemente. Es por esto que se puede establecer el orden de los niveles de concentración de parámetros específicos en estaciones seleccionadas utilizando la línea base del humedal.

Finalmente, es importante redactar informes con todos estos datos y análisis, de manera de facilitar la evaluación de cambios en el programa de muestreo e investigaciones anexas.

3.1.3.6 Acciones de respuesta

Si la evaluación de los datos arroja una situación anómala se debe seguir rápidamente con un plan certero que primero asegure si se trata realmente de contaminación. Luego de comprobarse esto, el plan tiene que intentar neutralizar los efectos de ésta, y finalmente debe buscar la fuente de la contaminación para que ésta no se vuelva a repetir.

3.1.3.7 Actores involucrados

En una Red de Monitoreo es fundamental designar responsabilidades que recaigan en organismos o gente capacitada y comprometida. El monitoreo voluntario, por ejemplo, es una tradición en Estados Unidos y otros países, siendo también una actividad educativa utilizada comúnmente en colegios y universidades. Las comunidades científicas locales y las organizaciones gubernamentales y no gubernamentales también suelen involucrarse en estos monitoreos.

Si bien, cada aspecto del monitoreo puede recaer sobre personas distintas, es recomendable que se designe una sola entidad como líder, y que existan canales de comunicación fluidos entre los distintos componentes de la Red.

El muestreo puede ser una actividad peligrosa. Es por eso, que el personal que se encargue de hacerlo debe estar informado de las precauciones que se deben tomar durante las operaciones de monitoreo. La Norma Chilena NCh 411/1 (INN, 1996) en su punto 7 especifica ciertas precauciones de seguridad a seguir.

El monitoreo es siempre mejor cuando ocurre sin cambios a lo largo del tiempo. Por eso que es más conveniente elegir una buena estrategia y seguir con ella permanentemente (Volunteer Wetland Monitoring, EPA, 2001). Sin embargo, se hará necesario aumentar la frecuencia y número de estaciones, aunque sea momentáneamente, si existiese alguna condición anormal (crecida de los afluentes, instalación de una nueva planta industrial). Cualquier cambio que se realice sobre la Red de Monitoreo, conviene hacerlo sin modificar los parámetros, posiciones y frecuencia de muestreo iniciales. Por

ejemplo, es mejor agregar una estación que mover una existente. Lo mismo sucede al evaluar la información, siendo preferible utilizar límites y rangos más restrictivos que los anteriores, obtenidos de nuevas investigaciones o normativas.

De esta manera, idealmente, una Red de Monitoreo en un humedal debe contar con personal capacitado, que use técnicas adecuadas y replicadas en una amplia cantidad de muestras a lo largo del tiempo. No obstante, siendo realista, los programas de monitoreo siempre se encuentran muy restringidos económicamente. Por lo tanto, antes de comenzar cualquier monitoreo es imprescindible hacer un análisis económico con el objeto de reducir los costos, optimizando el beneficio y permitiendo la continuidad del muestreo.

A continuación se describe la importancia y las características fundamentales de los grupos de variables más importantes en el monitoreo de un humedal, mencionados anteriormente.

3.2 Paisaje y Entorno

Si bien estos parámetros no tienen relación directa con los recursos hídricos de un humedal, los humedales son un “espejo” de la condición ambiental de la cuenca y de los cambios que en ella ocurren (Contreras, 2006). Es por esto que, la vigilancia íntegra pero superficial de toda esta área tiene que ser una de las componentes de una buena Red de Monitoreo.

Como se dijo anteriormente, al realizar la evaluación de un humedal, anterior al inicio de un monitoreo, se debe hacer un catastro de las potenciales fuentes contaminantes. Sin embargo, esto no es suficiente ya que estas condiciones iniciales en particular pueden cambiar enormemente en el tiempo, iniciándose nuevas empresas o actividades en la cuenca, o cambiando los procesos productivos de éstas.

Adicionalmente, existen muchos eventos que podrían alterar de alguna forma los recursos hídricos de un humedal y que no pueden ser asociados a una empresa o actividad en particular. Estos eventos incluyen, entre otros, la inyección de contaminantes, el vertido ilegal de basura, la introducción de especies no nativas, y la construcción de obras que puedan alterar tanto las recargas y descargas superficiales y subterráneas, como la extensión del cuerpo de agua. Ejemplos de estas obras son bocatomas, canales, pozos, drenes, pretilos e instalaciones portuarias. Todos estos eventos deben ser tomados en consideración al momento de monitorear un humedal.

Existen muchos métodos estandarizados para cuantificar las variables que se refieren al paisaje y al entorno. Sin embargo, una forma común de monitorear estos factores es realizar inspecciones en la cuenca del humedal con una cierta frecuencia, apuntando las situaciones anormales que puedan causar alteraciones o que indiquen actuales problemas en el ecosistema (mortalidad de aves, cambios en la vegetación). Sólo sobre estas situaciones es recomendable hacer luego investigaciones más profundas.

Según Musalem (2002) las fotografías pueden ser documentos relevantes para el control de la vegetación y el mantenimiento del paisaje. Estas fotografías deben ser

sacadas en las mismas condiciones, localizaciones y con el mismo ángulo de visión, para hacerlas comparables. Se recomiendan lugares donde se hayan detectado problemas, además de los puntos donde exista mayor acceso del hombre.

3.3 Morfología, Hidrología e Hidráulica

Un humedal es un humedal porque está húmedo. Es por esto, que las variables hidrológicas e hidráulicas son tan importantes. Éstas proveen información de la estructura y funciones del humedal. Asimismo, evalúan los efectos de cambios internos o externos en el humedal (Kent, 2001). Como se pudo ver en la Figura 2.3 la hidrología de un humedal, afecta y cambia directamente su ambiente fisicoquímico. De hecho, la carga de los contaminantes depende del caudal que los transporta.

Las variables medidas en el cuerpo de agua (parte 3.3.1), así como en sus afluentes y efluentes superficiales (parte 3.3.2) cobran importancia cuando existe un espejo de agua sobre la superficie del humedal. En el caso de los humedales que se presentan estacional o permanentemente sin este espejo de agua, las variables hidrológicas e hidráulicas más importantes son las que se refieren a las aguas subterráneas (parte 3.3.3). En tanto, el clima (parte 3.3.4) es el punto de inicio de la hidrología de un humedal (Mitsch & Gosselink, 2000).

Debido a las grandes variaciones hidrológicas en los humedales, estos parámetros deben ser medidos frecuentemente. De hecho, según la Unión Europea (2000) la periodicidad máxima de las variables hidrológicas en lagos debe ser de un mes. En humedales este período puede ser menor.

3.3.1 Cuerpo de agua

A continuación se describen las variables hidrológicas que principalmente se miden en el cuerpo de agua de un humedal:

- **Variables morfológicas:** Parámetros importantes que describen el cuerpo de agua de un humedal son sus variables morfológicas. Estas pueden variar, como se vio anteriormente, debido a alguna alteración como es la construcción de obras. La forma y el tamaño de un humedal son las variables morfológicas más destacadas. La forma se define como el perímetro partido por el área. Mientras que el tamaño de un humedal puede ser descrito por su área o por algunas dimensiones lineales como su largo, su ancho o la división entre estas dos. Estos parámetros determinan en los humedales una topografía plana que se traduce en una amplia y superficial cobertura de aguas. Según la Unión Europea (2000), las variables morfológicas en un lago se pueden medir cada 6 años.
- **Extensión areal:** La extensión areal de las lagunas afecta la disponibilidad de hábitat para las especies acuáticas y la avifauna (Contreras, 2006). De hecho, en un estudio reciente realizado en 44 humedales (Gernes & Helgen, 2002) se encontró una relación directa entre el tamaño de los humedales y la salud de los invertebrados y de las plantas.

La extensión se debe controlar semestralmente después de los meses con mayores temperaturas y después de las precipitaciones. La cobertura de la vegetación hidrofila limita la extensión del cuerpo de agua, por lo tanto, es necesario controlarla anualmente en el período de actividad o crecimiento.

- **Profundidad:** Esta es otra variable estructural de un humedal. La batimetría es la técnica mediante la cual se puede obtener la profundidad en varios puntos del humedal. De esta manera es posible interpolar las curvas de isoprofundidad, que junto con el área, determinan el volumen del cuerpo de agua.

La profundidad promedio d , en cualquier tiempo puede ser descrita como:

$$d = \frac{V}{A} \quad (\text{Ecuación 3.1})$$

donde, V es el volumen del cuerpo de agua y A su área.

Para los humedales que no están permanentemente inundados, la cantidad de tiempo en que se encuentran bajo las aguas se llama duración de inundación; el número promedio de veces que están inundados en un año hidrológico se llama frecuencia de inundación (Mitsch & Gosselink, 2000).

- **Velocidad:** La velocidad es el parámetro hidráulico más importante del cuerpo de agua. Describe la rapidez a la cual el agua viaja, y refleja no solamente la profundidad y el ancho del cuerpo de agua, sino que además el gradiente topográfico, la extensión y el tipo de vegetación (Kent, 2001). La velocidad del agua puede causar heterogeneidad lateral en la distribución de materiales disueltos. En un humedal suelen existir aguas de rapidez cero, a estos sitios estancados se les llama cortocircuitos. Un cortocircuito puede generar diferenciaciones de la calidad del agua.
- **Tiempo de residencia (t_r):** O tiempo de retención o renovación. Se calcula de la siguiente forma:

$$t_r = \frac{V}{Q} \quad (\text{Ecuación 3.2})$$

donde, V es el volumen y Q es el caudal total afluente o efluente.

Este término es muy usado en la hidrología de humedales. Debido a las bajas velocidades y grandes volúmenes de los cuerpos de agua suelen ser largos, permitiendo reacciones biológicas y químicas importantes. Los cortocircuitos hacen que este último valor teórico sea en general mayor que el valor real.

Aún cuando los tiempos de residencia en humedales naturales pueden variar enormemente, en humedales artificiales los tiempos óptimos de tratamiento van entre 1 y 2 semanas, según lo que se dijo en la parte 2.2.2.2.

Según Ryding & Rast (1989), los parámetros hidrológicos e hidráulicos importantes para evaluar la eutroficación en un lago son: el área del lago, su volumen, sus profundidades media y máxima, y su tiempo de residencia.

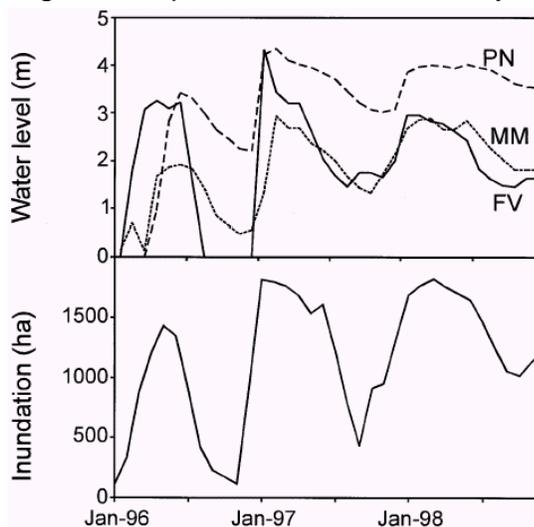
Una vez que se tiene esquematizada la morfología del humedal, una gran cantidad de información puede ser obtenida a un bajo costo. El nivel del agua en msnm puede ser medido continuamente con un transductor de presión (Figura 3.4), o discretamente mediante visitas a terreno utilizando una regla. Con este valor se pueden determinar la profundidad del agua, la frecuencia y duración de inundación, y otros parámetros relacionados como la extensión áreal.

Para minimizar los sitios de monitoreo en el cuerpo de agua, éstos deben tener comportamientos hidrológicos e hidráulicos distintos entre ellos, ya sea porque representan lugares con distintas profundidades o distanciados entre ellos, o porque algunos están cerca de afluentes o efluentes mientras que otros están cerca de la vegetación.

La variación de los niveles depende del clima y de la influencia de las aguas superficiales y subterráneas. Fluctúan estacionalmente en humedales rivereños (Figura 3.2), diaria o semi-diariamente en humedales de margen marino (debido a la marea), e impredeciblemente en otros muchos tipos de humedales (Mitsch & Gosselink, 2000). Debido a esto se hace difícil saber cuándo las variaciones del nivel de las aguas son causadas por alteraciones humanas. Es necesario, entonces, llevar un registro constante para poder realizar análisis estadísticos. Según Contreras (2006), el nivel del agua o nivel hidrométrico se debería controlar semanalmente en la cubeta principal del humedal.

Figura 3.2

Fluctuación del nivel de agua en 3 puntos de un humedal y variación de su extensión



Fuente: Sánchez-Carrillo & Álvarez-Cobelas, 2000.

Finalmente, las metodologías para medir la mayoría de las variables hidrológicas del cuerpo de agua van desde el análisis de fotografías satelitales o aéreas hasta la utilización de técnicas topográficas. El GPS puede ser también un instrumento bastante útil y económico para medir las coordenadas horizontales en el cuerpo de agua. La medición de la velocidad del agua resulta ser más compleja ya que ésta por lo general es baja. Trazadores y micromolinetes pueden ser algunos de los instrumentos usados para este fin.

3.3.2 Escorrentía superficial

Si un humedal tiene afluentes y/o efluentes de aguas superficiales, sean estos ríos, esteros, estuarios, o canales temporales o permanentes, es posible medirlos mediante el aforo o medición de caudales. Estos parámetros serán muy importantes en la Red de Monitoreo ya que, al ser los humedales ambientes muchas veces acuáticos, de ellos depende directamente la salud del humedal, afectando el estado trófico, las condiciones de óxido-reducción, el balance químico, la biota, entre otros. En el caso de humedales marinos, las fluctuaciones de las mareas cobran importancia y muchas veces es el único parámetro que se puede medir de la escorrentía superficial.

La frecuencia y duración de los ingresos y salidas de agua pueden ser críticos para la salud del humedal (EPA, 2001)⁸. Así mismo, la ubicación de éstos es clave ya que se relaciona con la dinámica de los procesos que ocurren en estos ecosistemas. Por lo tanto no sólo será necesario medir el caudal sino que habrá que fijarse también en estos parámetros.

3.3.2.1 Estaciones hidrométricas o fluviométricas

El aforo de caudales se puede realizar sistemáticamente en una Estación Hidrométrica o Fluviométrica. Existen varios tipos de estaciones: con curva de descarga, aforo con Vertedero y aforo con Canaleta Parshall.

- **Con curva de descarga:** Es el método más utilizado para estaciones en flujos naturales, donde es posible obtener una relación constante entre altura de aguas y caudal.
- **Aforo con Vertedero:** La altura de carga sobre un vertedero sirve como medida de la cantidad de agua escurrida.
- **Aforo con Canaleta Parshall:** El agua se mueve con velocidad crítica a través de una sección especial.

En el ANEXO B se encuentran los detalles de cada una de estas estaciones junto con los métodos de medición de caudales.

⁸ Volunteer Wetland Monitoring.

3.3.2 Frecuencia de medición

Para las estaciones fluviométricas de la DGA, se exigen dos observaciones diarias como mínimo, efectuadas en lo posible cada 12 horas. Cuando en la sección existe también un limnógrafo, la exigencia se rebaja a un mínimo de una lectura diaria. Esta lectura servirá para controlar la inscripción limnigráfica. Estos últimos datos serán los utilizados para la determinación de los caudales medios diarios.

Sin embargo, para el objetivo de detectar impactos ambientales las mediciones pueden tener una frecuencia semanal en los tributarios y efluentes superficiales de un humedal (Contreras, 2006). En tanto, la Unión Europea (2000) recomienda una frecuencia mensual para lagos.

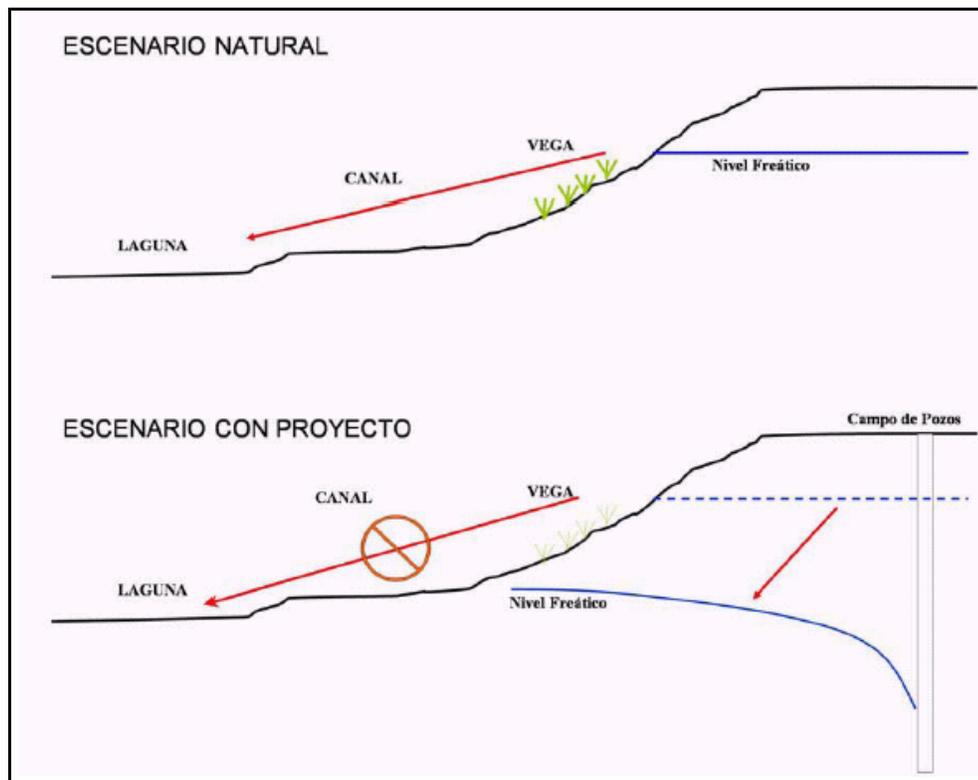
3.3.3 Aguas subterráneas

La mayoría de los humedales están influenciados por el flujo de las aguas subterráneas. Para saber si existen alteraciones en la cantidad de agua subterránea que entra o sale de un humedal es necesario conocer primero antecedentes como la topografía de la cuenca, los acuíferos que existen en ella, y sus respectivas permeabilidades y niveles freáticos. Luego, se podrá comenzar con el monitoreo de variables como los niveles de aguas subterráneas y la humedad del suelo.

3.3.3.1 Niveles de aguas subterráneas

Figura 3.3

Efecto de la extracción del recurso subterráneo en el escurrimiento superficial



Fuente: Contreras, 2006.

En la mayoría de las cuencas endorreicas, el recurso subterráneo es fundamental. De hecho, en estos casos, el nivel freático suele coincidir con el nivel superficial del humedal, sirviendo como fuente hídrica para la vegetación hidrófila y para la fauna que habita el lugar. Es por eso que controlar los niveles subterráneos es clave en el monitoreo de estos ecosistemas, sobretodo cuando existe una extracción intensiva de este recurso.

El nivel de las aguas subterráneas o nivel freático es la distancia a la cual se presenta el agua bajo la superficie. Estos niveles varían estacionalmente influenciados por la hidrología superficial. Es por esto que es fundamental tener una larga estadística para conocer primero las tendencias naturales de este parámetro y así poder evaluar el verdadero efecto de alguna descarga artificial. Según Contreras (2006), los niveles del acuífero superficial se deben controlar mensualmente en bofedales y vegas en cuencas endorreicas.

Los niveles freáticos se miden con sensores de nivel de agua (pozómetros - Figura 3.5) o transductores de presión (Figura 3.4), desde piezómetros o captaciones normales (pozos y norias). Los piezómetros son pozos de monitoreo realizados específicamente para obtener el nivel de las aguas subterráneas. Por lo tanto, no pueden ser utilizados para obtener muestras. Estos pozos tienen un diámetro pequeño y una profundidad variable. La longitud de sus cribas es pequeña, para que sólo alcancen el acuífero deseado. Además, como no tienen filtro y si tienen un buen sello, miden exactamente el nivel que existe en su entorno. Aún cuando, los piezómetros son menos costosos que las captaciones normales, estas últimas se encuentran comúnmente en lugares donde se explota el recurso subterráneo o donde existe una red de muestreo. Por lo tanto, en estos lugares, es mejor utilizar las captaciones normales ya construidas que instalar piezómetros nuevos.

Figura 3.4
Transductor de presión



Fuente: USDA Forest Service (www.fs.fed.us).

Figura 3.5
Pozómetro



Fuente: Hidrosuprimentos
(www.hidrosuprimentos.com.br).

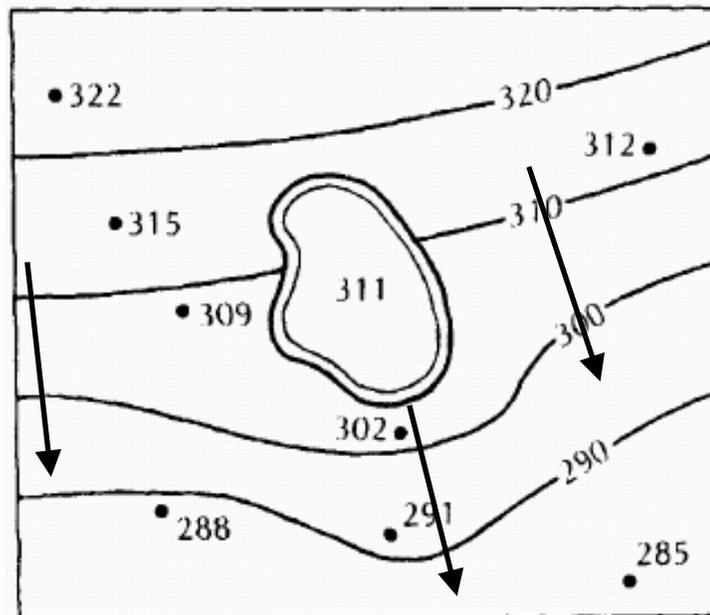
Para proteger al humedal de descargas artificiales, se pueden instalar pozos de monitoreo o piezómetros superficiales alrededor de éste. De esta forma, si los niveles registrados llegan a un nivel que no permite la subsistencia del ecosistema se pueden

realizar rápidamente estudios más específicos que logren dar con la causa del problema.

Además, teniendo el nivel freático en varios puntos del área de estudio, se pueden obtener otros dos parámetros importantes: el flujo y la velocidad de estas aguas. Para obtener estos parámetros es necesario construir la superficie piezométrica del acuífero. La definición de altura piezométrica o nivel de energía y su directa relación con el nivel freático aparecen en el Informe de Terreno del 30 de Mayo que está en formato digital en el ANEXO H.

Como muestra la Figura 3.6, la dirección del flujo es perpendicular a las líneas equipotenciales o de igual nivel piezométrico. Además, el agua subterránea se mueve desde niveles de energía mayores a menores.

Figura 3.6
Mapas del nivel piezométrico y dirección del flujo



Fuente: Modificado de Espinoza, 2004.

Luego, la velocidad se puede obtener de la Ley de Darcy:

$$v = -K \cdot \left(\frac{dh}{dl} \right) \quad (\text{Ecuación 3.3})$$

donde, K es la conductividad hidráulica promedio del acuífero y $\left(\frac{dh}{dl} \right)$ representa el gradiente hidráulico.

La dirección y velocidad del flujo también se pueden estimar usando infiltrómetros o isótopos estables.

3.3.3.2 *Humedad del suelo*

Como la mayor parte de la biomasa de raíces de vegetación hidrófila se desarrolla sólo hasta el primer metro de profundidad, y la capilaridad del agua subterránea no supera más allá de los 1 o 2 metros, cuando el nivel del agua subterránea se encuentra muy bajo es necesario medir la humedad del suelo no saturado para determinar si se encuentran las condiciones para la vegetación presente en el humedal. La humedad del suelo se puede medir en utilizando un horno o en terreno con instrumentos específicos como los tensiómetros. Contreras (2006) recomienda medir la humedad en el área de la vegetación hidrófila con una frecuencia mensual en bofedales y vegas en cuencas endorreicas.

3.3.4 **Meteorología**

Las características hidrológicas de una región quedan determinadas en gran medida, por su clima y sus condiciones meteorológicas (Espildora & Brown, 1975).

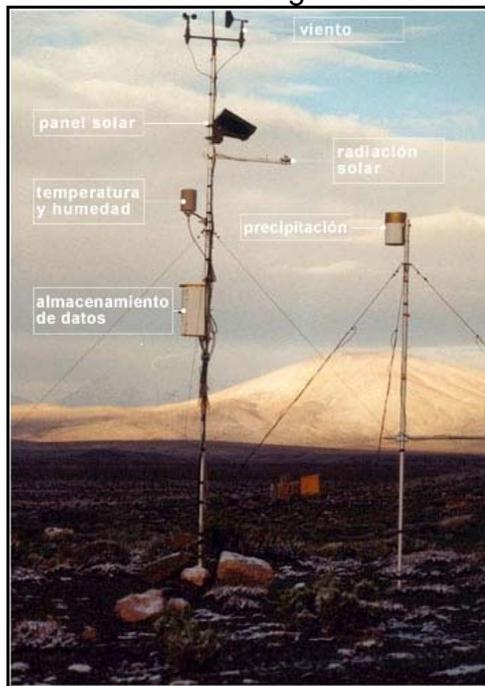
Entre los factores climáticos y meteorológicos que influyen en el régimen hidrológico de un humedal, se pueden mencionar la cantidad y distribución de las precipitaciones, la existencia y distribución de nieves y hielos y los efectos del viento, de la radiación solar, de la temperatura, y de la humedad del aire.

Estos factores influyen directamente en el balance hídrico del cuerpo de agua, interviniendo en la cantidad de agua que llega al humedal, en la dinámica dentro de él, y en la cantidad de agua que sale. Esto a su vez influye en la calidad del agua.

A continuación se describen cada una de estas variables:

- **Precipitaciones:** Para medir la cantidad de lluvia caída en un cierto período de tiempo se utilizan en líneas generales dos instrumentos, los pluviómetros y los pluviógrafos. Aún cuando se pueden utilizar estos mismos instrumentos para medir la nieve, existen instrumentos diseñados especialmente para este fin, estos son los nivómetros. A su vez, las rutas de nieve sirven para estimar el manto nival en grandes áreas. Las precipitaciones totales anuales son una variable hidrológica muy importante, de hecho, los años hidrológicos pueden categorizarse de acuerdo a esta variable. Una categorización que se puede usar es definir como años secos a los años con precipitaciones anuales que están bajo la precipitación anual de probabilidad de excedencia 85%, como años húmedos a los que tienen precipitaciones anuales por sobre la precipitación anual de probabilidad de excedencia 20%, y como años normales a los que no pertenecen a ninguno de estos dos tipos.
- **Viento:** Los parámetros que caracterizan el viento son su dirección y su intensidad o velocidad. Éstos se miden con instrumentos llamados veletas y anemómetros respectivamente.

Figura 3.7
Estación Meteorológica en Visviri



Fuente: DGF Universidad de Chile
(www.atmosfera.cl).

- **Radiación solar:** Es una energía que se mide en Watt·Hora/m² con instrumentos que varían de acuerdo al rango de longitud de onda de la radiación registrada y a las características de su construcción. Éstos se denominan solarímetros, actinógrafos o piroheliómetros.
- **Temperatura:** La mayoría de las veces la temperatura se mide mediante un termómetro de máxima y un termómetro de mínima, que registran las temperaturas máxima y mínima alcanzadas en el día, respectivamente. Algunas veces se usa un termógrafo, que permite registrar las variaciones continuas de esta variable.

- **Humedad del aire:** En general medida como humedad relativa, que es el cociente entre la presión de vapor actual observada y la presión de vapor saturado. Indica por lo tanto la relación entre la humedad existente en cierto volumen de aire y la humedad máxima que dicho volumen puede contener a esa temperatura. Los instrumentos más comunes para medir la humedad del aire son los psicrómetros y los higrómetros.

Todos los instrumentos mencionados anteriormente pueden reunirse en una estación meteorológica. Ésta en lo posible debe estar en la misma cuenca del humedal, lo más cercana a él que se pueda. Debido a la variabilidad de los parámetros meteorológicos, la frecuencia con que se deben medir es bastante seguida, a lo menos una vez al día.

3.4 Calidad del Agua

La Unión Europea en su Directiva 2000/60/CE consignó que un monitoreo de aguas, aparte de medir los parámetros hidromorfológicos debe medir:

- Los parámetros representativos de todos los indicadores de calidad biológica;
- los parámetros representativos de todos los indicadores generales de calidad fisicoquímica;

- la lista prioritaria de los contaminantes que se descargan en la cuenca o subcuenca;
- otros contaminantes que se descargan en cantidades significativas en la cuenca o subcuenca.

Los dos últimos puntos son complementarios al catastro de actividades que se recomienda hacer en la parte 3.2.

Para caracterizar una masa de agua, generalmente es imposible examinar el total y por lo tanto es necesario extraer muestras. Las muestras tomadas deben ser tan representativas como sea posible, del total que se debe caracterizar (INN, 1996).

Las muestras puntuales e instantáneas representan normalmente la calidad del agua en el momento y lugar de donde fue extraída. Son las más útiles para investigar la posible existencia e intensidad de una contaminación.

Las muestras compuestas e integradas son dos tipos de muestras que son útiles cuando se quiere caracterizar el agua con recursos limitados. Las muestras compuestas son dos o más muestras puntuales e instantáneas, tomadas de manera discreta o continua en distintos tiempos pero en el mismo sitio, mezcladas en proporciones conocidas adecuadas, de modo de obtener el valor medio de la característica deseada. Este tipo de muestras son comúnmente utilizadas en ríos. Las muestras integradas en cambio, tienen las mismas características que las compuestas pero se toman en distintos sitios, en un tiempo similar. Son útiles para grandes cuerpos de agua.

Para obtener una muestra de agua, se deben utilizar aparatos o envases (muestreador o sacamuestras), con o sin intervención humana, con el propósito de examinar una o más características. Existen muestreadores abiertos para muestreos de superficie, muestreadores cerrados para muestreos a distintas profundidades o dispositivos de bombeo para extraer el agua.

Es necesario tomar todas las precauciones para asegurar que las muestras no experimenten cambios en el intervalo comprendido entre el muestreo y el análisis (INN, 1996).

Es importante asegurar que los envases de las muestras sean enviados al laboratorio sellados herméticamente y protegidos de los efectos de la luz y del calor excesivo. Adicionalmente, asegurar que las muestras que no se puedan analizar con rapidez sean estabilizadas o preservadas. En el ANEXO C y en la Norma Chilena NCh 411/3 aparecen los requisitos de manipulación y preservación de las muestras.

Las ventajas del análisis en terreno (in situ) es que se realiza en muestras frescas cuyas características no han sido alteradas como resultado del almacenamiento, estabilización o preservación. Se aplica, principalmente a la determinación de temperatura, pH, oxígeno disuelto y transparencia (Disco Secchi). En ocasiones no es necesario ni siquiera el uso de envases.

En la actualidad existen en el mercado muchos “kits” para análisis de agua en terreno cuyas ventajas y limitaciones es necesario conocer en profundidad al tomar decisiones sobre su utilización (Sancha & Mellado, 2006).

El análisis en laboratorio cubre desde metodologías simples hasta técnicas de alta complejidad, lo que permite una gran variedad de posibilidades. La elección de cada una de ellas deberá considerar la precisión, el límite de detección y el efecto de interferentes, entre otros factores.

La calidad del agua superficial, es decir del cuerpo de agua y de sus afluentes y efluentes superficiales, es el aspecto más importante a analizar en un humedal, ya que influencia directamente la biota de este ecosistema. Sin embargo, debido a que los humedales sufren fuertes variaciones estacionales y pueden llegar a no tener aguas superficiales, las aguas subterráneas cumplen un papel fundamental, no sólo como fuente de recarga, si no que como humedal propiamente tal. A continuación, en los puntos 3.4.1 y 3.4.2 se describen el muestreo de calidad en aguas superficiales y subterráneas respectivamente.

3.4.1 Aguas superficiales

En estudios de calidad de agua superficial se deben considerar los distintos compartimientos que componen el medio acuático: columna de agua, material particulado y organismos vivos (Sancha, 2004). Este último compartimiento evalúa directamente el estado de los humedales, mientras que los otros dos, hacen un análisis indirecto.

Tabla 3.1
Principales características de los compartimientos usados para monitorear la calidad del agua

Características	Columna De agua	Material Particulado		Organismos vivos		
		Suspendido	Depositado	Análisis de tejidos	Biotest	Determinaciones fisiológicas
Aplicación a cuerpos de agua	Ríos, Lagos, Aguas Subterráneas	Ríos	Lagos, Ríos	Ríos, Lagos	Ríos, Lagos	Ríos, Lagos
Especificidad a un contaminante dado						
Sensibilidad a bajos niveles de contaminación						

Fuente: Modificado de Sancha, 2003 y 2004.

3.4.1.1 Columna de Agua

a) Parámetros importantes

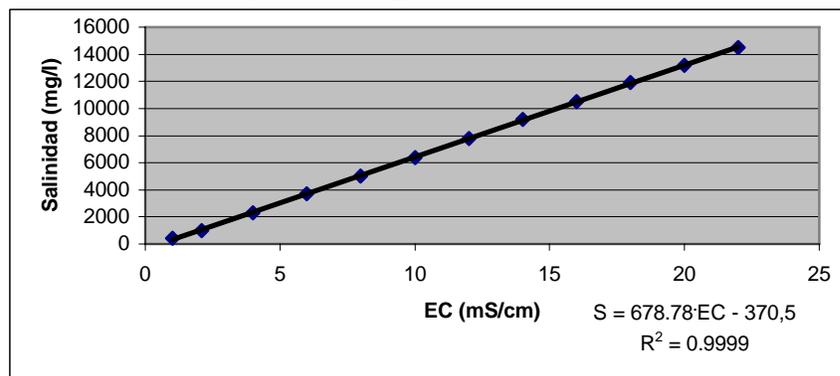
a.1) Físicoquímicos

Cualquier programa de muestreo de aguas debe considerar cuatro parámetros mínimos a medir en la columna de agua: temperatura, pH, oxígeno disuelto y conductividad eléctrica. Estas variables pueden indicar de manera sencilla, rápida y económica un cambio en el estado trófico del humedal o la inyección de contaminantes. Es por esto que Contreras (2006) recomienda controlarlas semanalmente en la cubeta principal del humedal (al menos en la superficie y fondo de la estación de profundidad máxima, y en los tributarios y efluentes superficiales). A continuación se describen los efectos de estos parámetros, y de otros, en la columna de agua:

- **Temperatura:** Influencia la velocidad de las reacciones metabólicas, la reactividad de las enzimas, la cantidad de oxígeno que puede ser disuelto en el agua y el pH.
- **pH:** Afecta las reacciones fisiológicas de los organismos y las características de membrana. Es afectada inversamente por la temperatura.
- **Oxígeno Disuelto (OD o DO):** Debe ser suficiente para permitir la difusión desde el agua hacia la sangre de los animales. Es afectado inversamente por la temperatura.
- **Conductividad Eléctrica (CE o EC):** Tiene una relación directa con la salinidad (Figura 3.8), la cual afecta la calidad del agua debido a su efecto en la habilidad de las especies para mantener su balance osmótico.

Figura 3.8

Curva de salinidad v/s EC para las aguas subterráneas de Vancouver, Canadá



Fuente: Beckie, Mayer, Smith & Heagle, 2005.

- **Potencial redox:** Como se vio en la Tabla 2.1, este parámetro influye directamente en las transformaciones químicas que ocurren en un humedal. Según sus valores un sistema puede ser de tipo fuente o sumidero. Debe

medirse con la misma frecuencia y en los mismos lugares que los parámetros mínimos (Contreras, 2006).

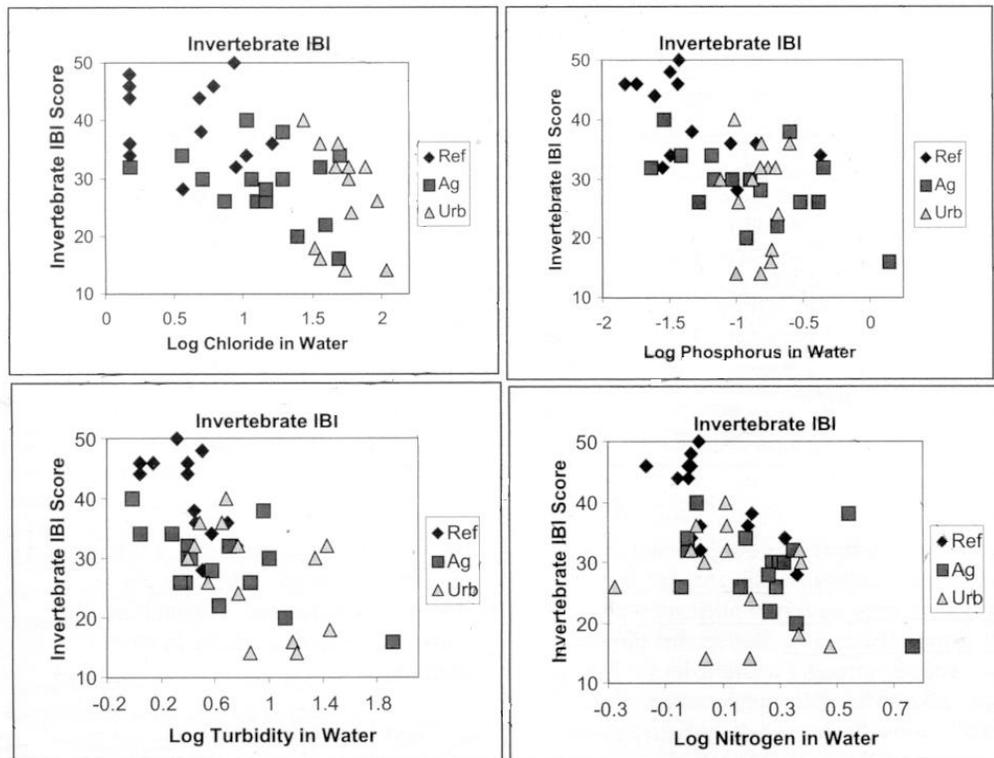
- **Turbiedad:** Restringe la profundidad a la cual la radiación solar puede penetrar la columna de agua. Según un estudio llevado a cabo entre 1999 y 2002 por la Agencia de Control de la Contaminación de Minnesota, EEUU⁹, a 44 humedales depresionales de gran tamaño en este Estado, la turbiedad mostró una importante relación inversa ($r^2 = 0,398$ – Figura 3.9) con un índice asociado a la salud de los invertebrados (Invertebrate Index of Biologic Integrity, IBI).

La turbiedad tiene relación con las mediciones de transparencia obtenidas a través del Disco Secchi.

- **Sólidos Disueltos:** O iones mayores como los carbonatos, bicarbonatos, cloruros, fosfatos, nitratos, y sales de calcio, magnesio, sodio y potasio. Afectan el balance iónico de los organismos y otros procesos fisiológicos. Según el mismo estudio de Minnesota (Gernes & Helgen, 1999), el cloruro exhibió una importante relación inversa con índices asociados a la salud de los invertebrados ($r^2 = 0,344$ – Figura 3.9) y de las plantas ($r = -0,613$).

Figura 3.9

Relaciones más importantes entre el IBI para invertebrados y parámetros químicos
(Fuente: Gernes & Helgen, 1999.)



Ref: Humedales de referencia o naturales.
Ag: Humedales agrícolas.
Urb: Humedales urbanos.

⁹ Gernes & Helgen.

La salinidad en la columna de agua es una medida directa de la cantidad de sólidos disueltos totales presentes. Por lo tanto, los sólidos disueltos totales, también se pueden medir a través de la conductividad eléctrica.

a.2) *Estado trófico*

Los parámetros de la Tabla 3.2 reflejan el estado trófico del humedal y describen la extensión y las características de los afluentes que llegan al cuerpo de agua.

Tabla 3.2
Criterios tróficos y su respuesta a la eutroficación
(Fuente: Ryding & Rast, 1989.)

Físicos	Químicos
Transparencia (D) (e.g. Disco Secchi)	Concentraciones de nutrientes (I)
Sólidos suspendidos (I)	Clorofila a (I)
	Conductividad eléctrica (I)
	Sólidos disueltos (I)
	Déficit de oxígeno en el hipolimnion (I)
	Supersaturación de oxígeno en el epilimnion (I)

- (I) Significa que el valor del parámetro generalmente incrementa con el grado de eutroficación.
(D) Significa que el valor generalmente decrece con el grado de eutroficación.

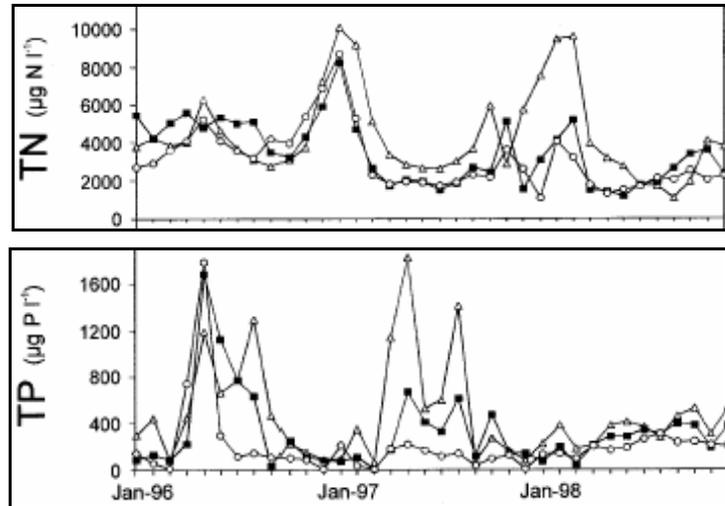
El pH y la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅) también son parámetros importantes para determinar la calidad de un cuerpo de agua. El primero se ve afectado por la eutroficación, incrementando su valor regular como se explicó en la parte 2.2.4. El segundo es la cantidad de oxígeno requerido por los microorganismos que estabilizan la materia orgánica bajo condiciones aeróbicas.

Los nutrientes significativos en los humedales son el nitrógeno y el fósforo, en sus formas biodisponibles. De hecho, Contreras (2006) recomienda medir el nitrógeno orgánico total y el fósforo total mensualmente, en la cubeta principal del humedal (al menos en la superficie y fondo de la estación de profundidad máxima, y en los tributarios y efluentes superficiales). Cabe destacar sin embargo que, el parámetro que representa a los ortofosfatos biológicamente disponibles es llamado fósforo filtrable reactivo (FRP). Según este mismo autor, la clorofila a se tiene que medir en estos mismos lugares y con esta misma frecuencia, siendo un excelente indicador de la presencia de microalgas en el agua. Si no se cumple la periodicidad antes recomendada será necesario al menos tomar una muestra en los meses de alto crecimiento vegetativo y otra en los meses de bajo crecimiento. De hecho, en los humedales los contenidos de nutrientes en primavera y verano pueden ser muy diferentes a las concentraciones de otoño e invierno (Howard-Williams, 1985 en Sánchez & Álvarez, 2000). También existe una fuerte variación provocada por las recargas o lavados ocurridos luego de lluvias intensas. Si un humedal está sometido a contaminación puntual y difusa, la primera se hará presente de manera más intensa en los períodos secos, mientras que la segunda contaminación afectará al humedal con los lavados de invierno (EPA, 2002)¹⁰. Según un estudio realizado en un humedal natural

¹⁰ Methods for evaluating wetland condition. #4 Study Design for Monitoring Wetlands.

de España (Sánchez & Álvarez, 2000), el nitrógeno tenía sus valores máximos en el invierno, mientras que el fósforo crecía a fines de primavera y principios de verano (Figura 3.10).

Figura 3.10
Variabilidad temporal de los nutrientes



Fuente: Sánchez-Carrillo & Álvarez-Cobelas, 2000.

Si un cuerpo de agua no tiene brazos o subcuencas significativas, y se encuentra bastante mezclado horizontalmente, una sola estación de muestreo en el lugar más profundo es usualmente adecuada para determinar la calidad del agua relacionada con la eutroficación. Pero, si las concentraciones de clorofila o nutrientes varían según un factor ± 10 a lo largo de un cuerpo de agua alargado, o la conductividad eléctrica cambia en más de 40-60 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (25°C), una sola estación de muestreo usualmente no provee una adecuada descripción de la condición trófica promedio de este cuerpo de agua (Lee & Jones, 1980 en Ryding & Rast, 1989).

Observando la Figura 3.9 es posible denotar que se evidenciaron relaciones inversas entre el fósforo ($r^2 = 0,359$) y el nitrógeno ($r^2 = 0,242$), y un índice de integridad biológica para invertebrados. Lo mismo sucedió con la clorofila a ($r^2 = 0,242$) y con los Sólidos Suspendidos Totales (SST) ($r^2 = 0,237$). A su vez, el fósforo mostró también una relación inversa ($r = -0,504$) con un índice de plantas.

a.3) Tóxicos

El muestreo de tóxicos como los metales pesados e hidrocarburos derivados del petróleo, proveen una medida directa de contaminación del humedal (Kent, 2001). El selenio es uno de los contaminantes que causa mayor contaminación en estos ecosistemas según lo que se dijo en la parte 2.4.1.2. En las normativas y estándares mencionadas en el ANEXO G (digital) se aprecia el importante rol que juega la dureza en la toxicidad de los metales, entonces será importante medirla también. Si el humedal tiene actividades agrícolas a su alrededor también será necesario hacer un muestreo de pesticidas según sus compuestos orgánicos originales o sus derivados. La Demanda Química de Oxígeno (DQO) es otro parámetro importante a medir en el agua, estima las materias oxidables presentes en ésta, cualquiera que sea su origen, orgánico o mineral.

Por último, un parámetro que aunque es muy general ya que detecta cualquier compuesto orgánico puede ayudar a minimizar los costos de muestreo, es el Carbono Orgánico Total (COT o TOC)

Sin embargo, medir estos parámetros es lento y costoso. Por lo tanto, es recomendable usar como indicadores los parámetros de calidad fisicoquímica y seleccionar sólo algunos tóxicos característicos de las potenciales fuentes de contaminación de la cuenca que irriga al humedal, para medirlos en unos pocos lugares y con una frecuencia menor. Cuando exista un evento de contaminación se hará necesario hacer un muestreo más completo. Como muchos de los componentes nombrados anteriormente se encuentran de manera natural en los humedales es importante saber los rangos normales de éstos para saber cuándo existe contaminación y no generar un error falso-positivo.

b) Métodos

b.1) Sobre la ubicación de las estaciones

El viento y la forma del cuerpo de agua pueden influenciar enormemente la distribución espacial de la calidad del agua en un humedal. Como se dijo anteriormente, los sitios de muestreo deben tener comportamientos hidrológicos e hidráulicos distintos entre ellos. Para medir la calidad del agua de buena forma es muy importante que se hagan muestreos cercanos a los tributarios del humedal, evitando así la transformación de los compuestos. Incluso, se pueden ubicar estaciones lejanas al cuerpo de agua propiamente tal (río, canal o mar). Otros puntos de interés son los lugares de mayor profundidad y los efluentes.

Las muestras recogidas en las orillas pueden ser completamente diferentes a las muestras recogidas lejos de ellas. Es por esto que antes de ubicar una estación es importante saber la variación que existe a medida que se aleja del borde.

El mejor método para disminuir la cantidad de muestras en un monitoreo se basa en una evaluación previa completa del humedal. Un ejemplo de esta metodología aparece en el libro de Ryding & Rast (1989):

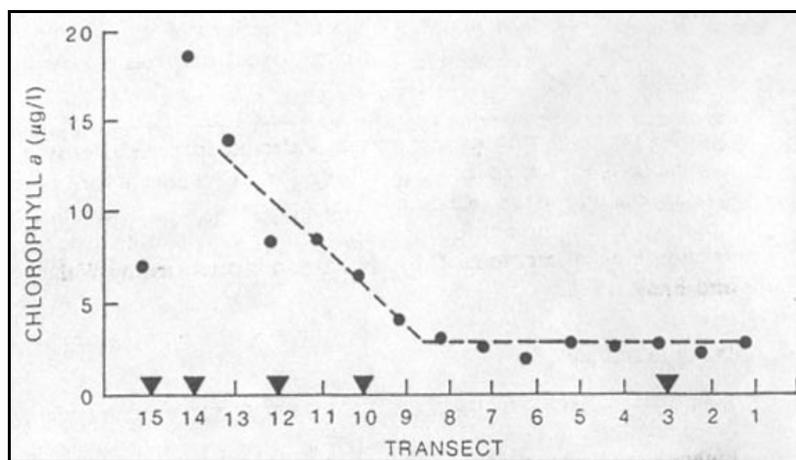
“K.W. Thornton et al. (1982) particionó un reservorio en 15 transectos, con un promedio de 5 estaciones/transecto. El reservorio fue muestreado para fósforo total, turbiedad y clorofila a, en julio de 1978 y enero y octubre de 1979. Modelos estadísticos lineales generales fueron utilizados para caracterizar los promedios de los transectos, asumiendo una distribución normal de los datos, homogeneidad de la varianza, etc.

Si el modelo muestra que la pendiente de los promedios de un parámetro en los transectos no es significativamente distinta de cero, un mínimo de una estación será necesaria para caracterizar el área. Si en cambio, una función lineal es necesaria para caracterizar la variación de los promedios, entonces un mínimo de dos estaciones serán necesarias para caracterizar el área. Finalmente, si una función cuadrática es necesaria, un mínimo de tres estaciones serán necesarias.

En este caso, los transectos 1-5 tenían promedios similares para todos los parámetros en todas las fechas. Por lo tanto, una estación es suficiente para caracterizar esta área. Los promedios de los transectos 6-13 requirieron un modelo lineal. Esto quiere decir que se necesitan al menos dos estaciones para caracterizar esta agua. Los transectos 14 y 15 son completamente distintos o requieren una recta para unirlos. O sea, una estación para cada uno es necesaria. Entonces, cinco estaciones de muestreo

ubicadas en los transectos 3, 10, 12, 14 y 15 son necesarias en este reservorio. Los valores de la clorofila a en esta evaluación aparecen en la Figura 3.11".

Figura 3.11
Variabilidad de la clorofila a y posición de las estaciones de muestreo



Fuente: Ryding & Rast, 1989.

Antes de tomar una muestra es conveniente realizar un perfil termal y de conductividad eléctrica para asegurarse de que existe una mezcla vertical completa en ese lugar. Si esto no ocurre será necesario tomar más de una muestra en la vertical, considerando el epilimnion y el hipolimnion. Se sugiere que en cuerpos de aguas templadas, con temperaturas de 20°C o más, una disminución de 0,5°C por metro de profundidad significa estratificación. Cualquier incremento significativo de la conductividad con la profundidad significa una estratificación de densidad por sal (Lee & Jones, 1980 en Ryding & Rast, 1989).

Las dos técnicas mencionadas en los párrafos anteriores describen las definiciones realizadas en la Norma Chilena NCh 411/4 (INN, 1996) sobre muestras de perfiles de área y muestras de perfiles de profundidad respectivamente.

b.2) Sobre la frecuencia

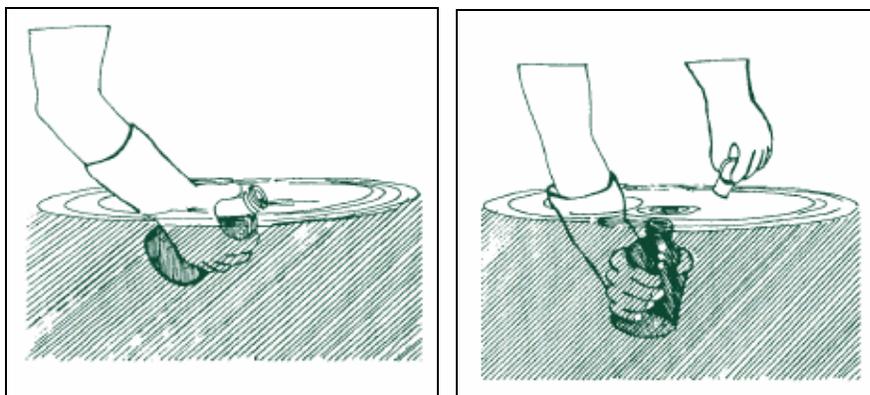
Coincidiendo con lo que se ha dicho anteriormente, la Norma Chilena NCh 411/4 (INN, 1996), propone un intervalo mínimo de una semana para el control de la calidad en un lago natural o artificial. Pero si se evidencian cambios rápidos en la calidad del agua puede ser necesario un muestreo diario o incluso continuo. Además, la calidad varía frecuentemente según la hora del día. Por lo tanto, las muestras se deberían tomar siempre a la misma hora, para minimizar este efecto.

b.3) Sobre el muestreo

Debido a su baja profundidad, muchas veces no es necesario contar con una embarcación para acceder a un humedal. Por esto mismo, la toma de muestra más común en estos cuerpos de agua, a no ser que exista estratificación, es directamente mediante un envase o tomamuestras, desde pocos centímetros bajo la superficie del

agua (Figura 3.12). Para medir los parámetros in situ se puede introducir directamente la sonda en el humedal.

Figura 3.12
Muestreo de la columna de agua



Fuente: Volunteer Wetland Monitoring, EPA, 2001.

Más detalles acerca de las técnicas de muestreo se pueden ver en los Informes de Terreno que están en formato digital en el ANEXO H y en la Norma Chilena 411/4.

c) Rangos de valores

En los estándares nacionales (ANEXO G.2 - digital) e internacionales (ANEXO G.1 - digital) aparecen límites para muchos parámetros. En el ANEXO G.3 (digital) se pueden ver más rangos de valores.

3.4.1.2 Material particulado

Como se observó en la Tabla 3.1, el material particulado depositado en lagos (o sedimento) tiene una sensibilidad alta a la contaminación. Esto se debe a que es en este compartimiento donde se acumulan gran parte de los contaminantes que llegan a estos cuerpos de agua. Al ser los humedales sistemas someros y por lo general extensos, esta característica se acentúa más aún. También son importantes los suelos que rodean el humedal ya que de éstos dependerá la calidad de las aguas lluvias que escurren hacia él

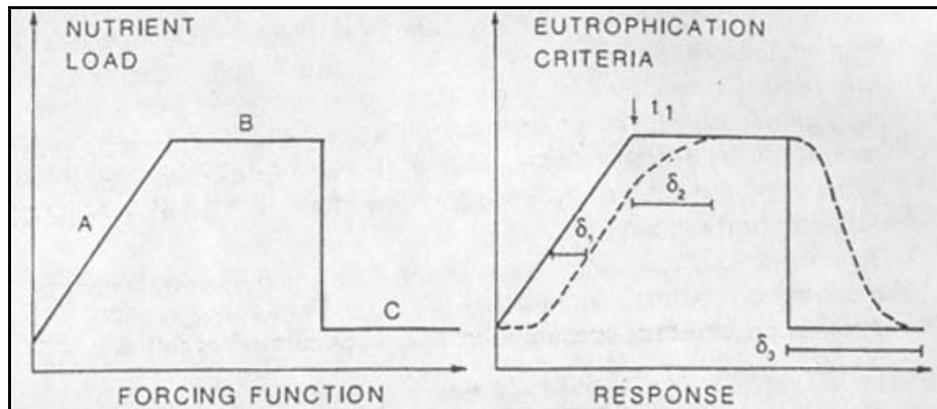
a) Parámetros importantes

Los parámetros que controlan las transformaciones químicas en los sedimentos de los humedales son el pH, la temperatura y el potencial redox (parte 2.2.2.2). Aún cuando estas variables tienen un amplio rango de valores que cambian con el tiempo y el tipo de humedal, una variación brusca de ellas podría ser un claro indicio de contaminación. Es por esto que se hace necesario un control semanal de ellas.

Otros parámetros importantes en este medio son el fósforo y los metales pesados. El fósforo, en los humedales, se acumula comúnmente en concentraciones elevadas, mientras que la concentración de algunos metales pesados en los sedimentos puede variar tres órdenes de magnitud, relacionándose con el tamaño de las partículas, la

materia orgánica presente, la mineralogía y las fuentes. Sin embargo, el factor acumulativo de estos parámetros hace que, aún cuando se quite la fuente, la contaminación perdure por bastante tiempo retenida en los sedimentos (Figura 3.13). Esto hace que los planes de remediación en los sedimentos sean más largos y complejos.

Figura 3.13
Retardo en la respuesta por inyección de fósforo
(Fuente: Ryding and Rast, 1989.)



Explicación de los términos: A = Período de incremento de la carga de fósforo; B = Período de inyección alta y constante de fósforo; C = Período que sigue a una baja en la carga de fósforo; δ_1 , δ_2 , δ_3 = Tiempo de respuesta del cuerpo de agua a A, B y C respectivamente.

b) Métodos

El objetivo del muestreo de sedimentos es recolectar los 5 primeros centímetros de suelo. Esta es la capa en donde los invertebrados y la vegetación acuática están más expuestos (Gernes & Helgen, 1999).

La recolección se puede hacer con una pala pequeña o directamente con el envase en donde se conservará la muestra. Cuando se deseen hacer análisis de metales sobre estos sedimentos, no se puede utilizar ningún instrumento de metal. Idealmente entonces la pala y el envase deben ser plásticos.

c) Rangos de valores

Sólo las Guías de Calidad del Agua de British Columbia exhiben estándares para algunos pocos químicos en sedimentos. Es por esto que en el ANEXO G.3 se muestran en formato digital algunos trabajos que servirán para generar rangos iniciales de algunos parámetros.

3.4.1.3 Organismos vivos

Debido a que la situación fisicoquímica crea una gran variedad de condiciones biológicas en un humedal, la medición del pH, oxígeno disuelto, etc. dan una visión limitada de la salud de los humedales. Además, estas metodologías sólo son una medida instantánea del momento en que se tomo la muestra. Es valioso entonces, mirar

a las plantas y animales para entender el funcionamiento ecológico y la condición biológica de un humedal integrada en el tiempo y en el espacio.

Un organismo indicador o bioindicador podría definirse como aquel capaz de informar acerca de las condiciones y/o características del sistema al que pertenece (Zenteno, 2005).

Los grupos de bioindicadores más utilizados en el mundo para fines de calidad de agua son las microalgas, los macroinvertebrados bentónicos y los peces (Zenteno, 2005). Según un estudio español (Sánchez-Carrillo & Álvarez-Cobelas, 2000), la dinámica de los humedales depende usualmente de la dinámica de las macrofitas, más que de las algas. En Chile, existen normas que utilizan las bacterias coliformes (fecales y totales) como indicadores de contaminación por aguas servidas.

Los Índices de Integridad Biológica (IBI) son parámetros que cuantifican el estado de bioindicadores en un sector o hábitat. Usando estos índices se pueden comparar las situaciones de distintos ecosistemas, concluyendo si alguno de ellos se encuentra contaminado.

Figura 3.14
Daphnia



Fuente: Rodríguez,
Canales & Ibarra, 2005.

Específicamente, especies como la Daphnia son particularmente efectivas en controlar la densidad del fitoplancton. En algunos casos, los rotíferos y los *copepods* (*calanoids*) pueden ser también efectivos (Ryding & Rast, 1989). Entonces, si estos organismos están presentes, la posibilidad de que exista eutroficación disminuye.

Según Lawson (2004), la diversidad de anfibios y la diversidad y abundancia de aves pueden ser otros dos indicadores biológicos en humedales. Adicionalmente, se puede cuantificar la acumulación de contaminantes como metales en los tejidos de plantas y animales.

Si bien en Chile las técnicas para realizar estas evaluaciones biológicas se encuentran disponibles hace tiempo, el conocimiento de la flora y fauna acuática aún es escaso e incompleto, sobre todo en el grupo de los macroinvertebrados bentónicos. Sin embargo, el Instructivo Presidencial para dictar Normas Secundarias permite el uso de bioensayos de toxicidad e indicadores biológicos como herramientas complementarias.

En la Tabla 3.3 se muestra la aplicación de bioindicadores para la medición del estado tróficos de lagos y reservorios.

Tabla 3.3
 Criterios tróficos y su respuesta a la eutroficación
 (Fuente: Ryding & Rast, 1989.)

Biológicos
Frecuencia de florecimiento de algas (I)
Diversidad de especies de algas (D)
Biomasa de Fitoplancton (I)
Vegetación litoral (¿I?)
Zooplancton (I)
Peces (¿I?)
Fauna de fondo (¿I?)
Diversidad de fauna de fondo (D)
Productividad primaria (I)

(I) Significa que el valor del parámetro generalmente incrementa con el grado de eutroficación.
 (D) Significa que el valor generalmente decrece con el grado de eutroficación.

3.4.2 Aguas subterráneas

En el caso del agua subterránea, sólo se puede analizar la columna de agua.

3.4.2.1 Parámetros importantes y rangos de valores

A modo de minimizar el número de análisis para caracterizar la calidad del agua subterránea, la presencia de constituyentes químicos es evaluada, a veces, midiendo parámetros indicadores, que incluyen pH, temperatura, y conductividad eléctrica.

Estos parámetros con otros que pueden ser importantes en este tipo de aguas, se encuentran junto con sus rangos en aguas naturales en la Tabla 3.4. En el caso de existir en la cuenca una fuente potencial de algún contaminante específico, será necesario agregar al monitoreo algún parámetro que lo detecte.

Tabla 3.4
 Parámetros físicos, químicos y biológicos claves del agua subterránea

Categoría	Parámetro	Rango estándar en aguas Subterráneas naturales
Físicos	Temperatura	10°-20°C
	Presencia de NAPLs	Ninguna
	Sólidos Suspendidos Totales	100-500 ppm
	Sólidos Disueltos Totales	100-1.000 ppm
Químicos	pH	6,5 – 8,5
	Oxígeno Disuelto	2-5 ppm
	Carbono Orgánico Total (COT o TOC)	1-10 ppm
	Conductividad Eléctrica o Específica	100-1.000 umhos/cm o 100-1.000 uS/cm
	Manganeso	0-0,01 ppm
	Hierro	0,01-10 ppm

Fuente: Delleur, 1999.

Tabla 3.4

Parámetros físicos, químicos y biológicos claves del agua subterránea (continuación)

Categoría	Parámetro	Rango estándar en aguas Subterráneas naturales
Químicos	Amonio	0-2 ppm
	Cloruro	2-200 ppm
	Sodio	1-100 ppm
	Compuestos Orgánicos Volátiles (VOC o COV)	< 40 ppb
	Sodio, Calcio, Bicarbonato, Magnesio	1.000-1.000.000 ppb
	Arsénico, Cadmio, Hierro, Plomo, Níquel, Selenio, Zinc	1-1.000 ppb
	Berilio, Mercurio, Plata, Talio	< 1 ppb
Biológicos	Coliformes, virus	0 organismos

Fuente: Delleur, 1999.

Los rangos anteriores junto con los valores de las normativas y estándares que se encuentran en formato digital en el ANEXO G, pueden dar una idea de valores límite para aguas subterráneas que alimentan humedales.

Otro parámetro no incluido en la Tabla 3.4 es la Materia Orgánica Halogenada Total (TOX), que detecta los compuestos orgánicos clorados. Por último, los sulfatos y los nitratos son indicadores importantes de actividad minera, agrícola y contaminación por aguas residuales domésticas principalmente.

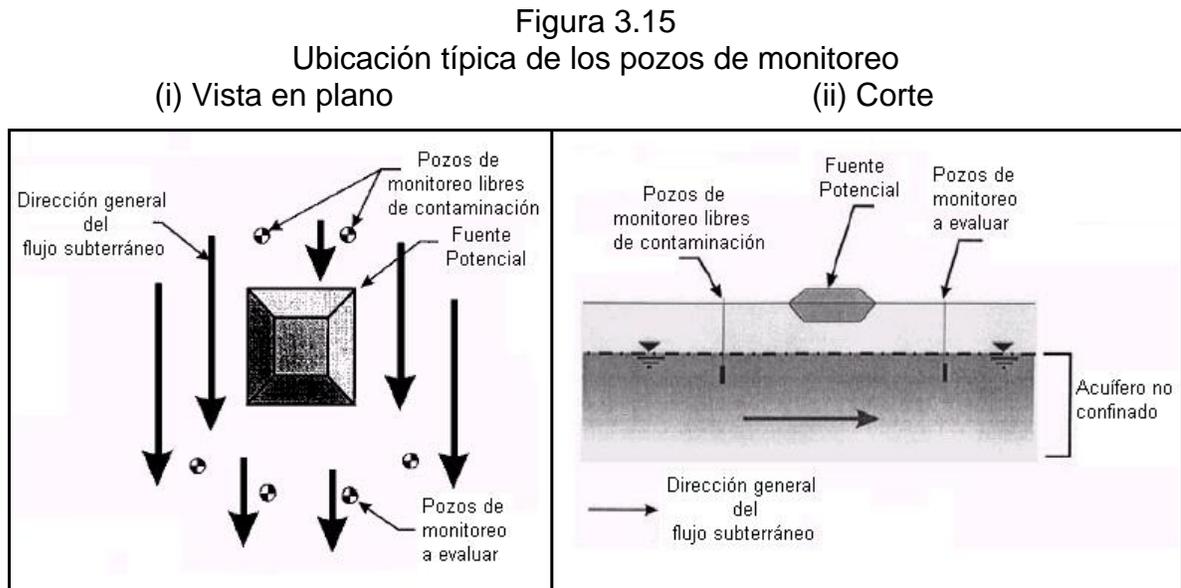
3.4.2.2 Métodos

Los antecedentes que aparecen al comienzo de la parte 3.3.3 sirven también para el monitoreo de la calidad del agua subterránea. Junto con estos datos, es necesario conocer la geoquímica del sitio.

Para detectar un impacto en la calidad del recurso hídrico subterráneo provocado por una fuente potencial, es importante saber las condiciones del acuífero sin contaminación (o *background conditions*). De esta forma se evaluará el impacto efectivo de la fuente potencial. Para realizar esto se deben tomar muestras en lugares donde no exista ningún efecto de la fuente estudiada ni de otras fuentes.

Luego, se deben ubicar estaciones de monitoreo para evaluar rápidamente el impacto de la fuente potencial en las aguas subterráneas y para evitar que el agua contaminada migre a través de ellos. Como estaciones de monitoreo se pueden utilizar pozos o norias. Estas pueden estar conectadas a uno o más acuíferos dependiendo del objetivo del monitoreo. Deben tener una apertura que permita el acceso del muestreador o una bomba para extraer la muestra. El pozo debe quedar completamente sellado una vez terminado el muestreo para así evitar el ingreso de contaminantes u otras aguas que entorpezcan el análisis de las muestras.

Para proteger un cuerpo de agua que se alimenta del recurso subterráneo será necesario ubicar las estaciones entre las potenciales fuentes de contaminación y el lago, reservorio o humedal (Figura 3.15)



Fuente: Modificado de Delleur, 1999.

Como estaciones de monitoreo se pueden utilizar pozos o norias. Estas pueden estar conectados a uno o más acuíferos dependiendo del objetivo del monitoreo. Deben tener una apertura que permita el acceso del muestreador o una bomba para extraer la muestra. El pozo debe quedar completamente sellado una vez terminado el muestreo para así evitar el ingreso de contaminantes u otras aguas que entorpezcan el análisis de las muestras.

La metodología de muestreo es la siguiente:

- i. Inspeccionar que no existan irregularidades en el pozo de monitoreo o en sus alrededores.
- ii. Medir la profundidad del pozo y el nivel de aguas como se describió en la parte 3.3.3.
- iii. Evacuar el agua subterránea dentro del pozo, de modo de obtener muestras representativas. Esta actividad se llama purgamiento y se realiza hasta completar 3 a 5 veces el volumen del pozo o hasta que los parámetros fisicoquímicos básicos se estabilicen (pH, temperatura, conductividad, oxígeno disuelto). Si el pozo monitoreado es usado frecuentemente, esta medida no es necesaria.
- iv. Obtener una muestra o varias muestras en un perfil de profundidad y luego medir in situ o en laboratorio, según sea el caso.

Debido a que el movimiento del agua subterránea es lento, la frecuencia no debe ser tan alta como en el caso de las aguas superficiales. La frecuencia utilizada depende básicamente de la velocidad con que se mueva el agua del acuífero que alimenta al humedal (Ecuación 3.3) y de la distancia entre la fuente y este cuerpo de agua. Según estándares internacionales, los programas de muestreo de aguas subterráneas usan frecuencias de entre 2 y 6 veces al año (Valdivieso, 2005).

3.5 Cuadro Resumen de Variables

La totalidad de las variables que son importantes de medir en un humedal están en la Tabla 3.5 separadas por grupo de variables.

Tabla 3.5
Cuadro resumen de variables importantes en un humedal

PAISAJE Y ENTORNO			
Catastro de potenciales fuentes contaminantes		Vigilar eventos contaminantes	
MORFOLOGÍA, HIDROLOGÍA E HIDRÁULICA			
Cuerpo de Agua: <ul style="list-style-type: none"> • Variables morfológicas (forma y tamaño) • Extensión areal • Profundidad • Velocidad del agua • Tiempo de residencia 	Escorrentía superficial: <ul style="list-style-type: none"> • Fluctuaciones de las mareas • Ubicación, frecuencia y duración de los ingresos y salidas de agua • Aforo de caudales 	Aguas subterráneas: <ul style="list-style-type: none"> • Niveles • Humedad del suelo 	Meteorología: <ul style="list-style-type: none"> • Precipitaciones • Viento • Radiación solar • Temperatura • Humedad del aire
CALIDAD DEL AGUA			
Aguas superficiales			Aguas subterráneas
Columna de agua: <ul style="list-style-type: none"> • Físicoquímicos: Temperatura, pH, CE, OD, potencial redox, turbiedad y sólidos disueltos. • Estado trófico: Transparencia, sólidos suspendidos, nutrientes (nitrógeno y fósforo), clorofila a, oxígeno disuelto y pH. • Tóxicos: Metales pesados, hidrocarburos, dureza, pesticidas, DQO y COT. 	Material particulado: <ul style="list-style-type: none"> • Temperatura • pH • Potencial redox • Fósforo • Metales pesados 	Organismos vivos: <ul style="list-style-type: none"> • Diversidad • Abundancia • Análisis de tejidos • Bioensayos 	<ul style="list-style-type: none"> • Temperatura • pH • CE • OD • Sólidos disueltos • Sólidos suspendidos • COT • Metales pesados • COV • Coliformes y virus • TOX • Presencia de NAPLs

CAPÍTULO 4:
ANTECEDENTES DEL
ÁREA DE ESTUDIO

ESTUDIO DE CASO:
LAGUNA DE BATUCO

CAPITULO 4: ANTECEDENTES DEL ÁREA DE ESTUDIO

“Batuco: Agua de la Tatora”.
del Mapudungun.

4.1 Antecedentes Generales

4.1.1 Ubicación y accesos

El área a estudiar corresponde al Humedal Laguna de Batuco y a la cuenca que aporta sus aguas superficiales y subterráneas. Este sector pertenece mayoritariamente a la Comuna de Lampa, Provincia de Chacabuco, Región Metropolitana. En la Figura 4.1 se muestra la ubicación de la zona a estudiar.

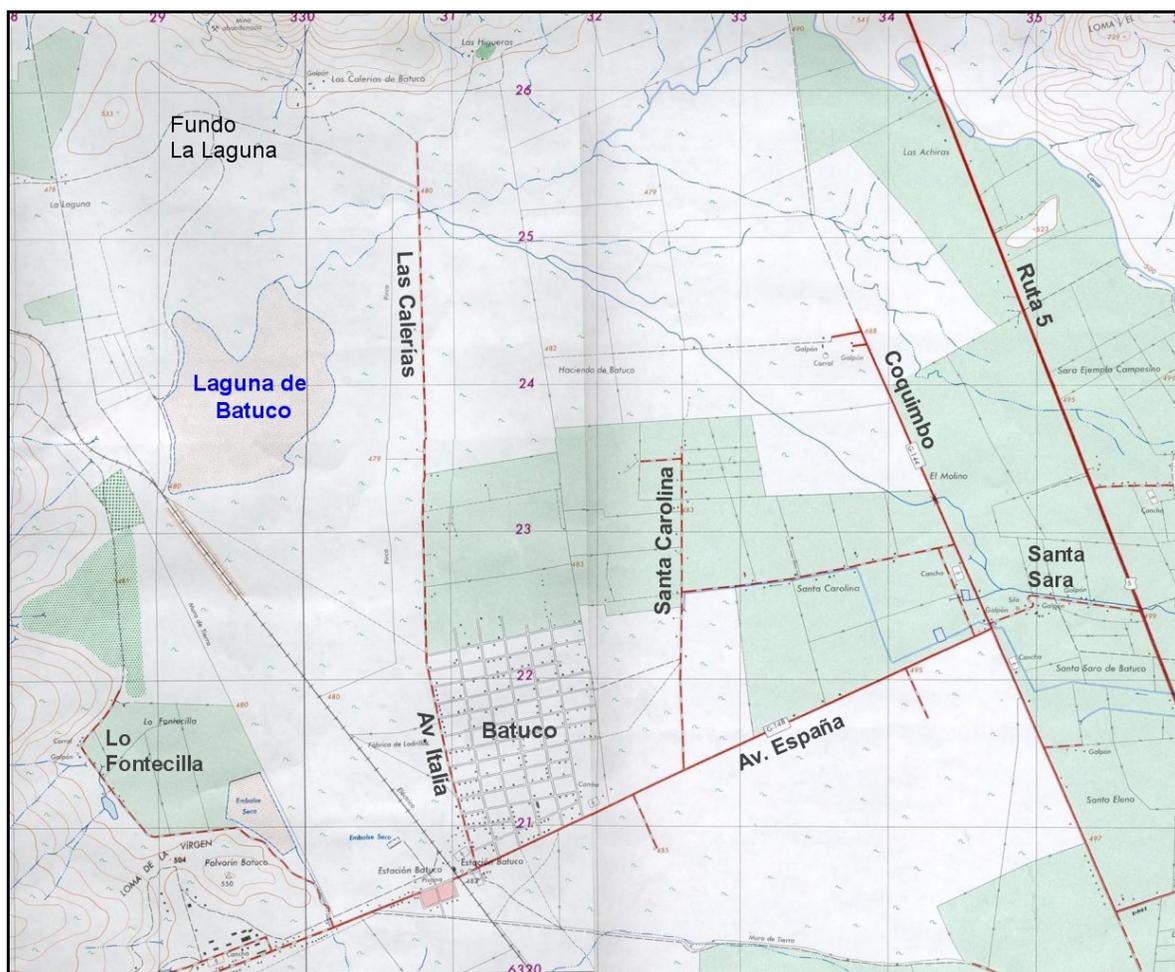
Figura 4.1
Localización del área de estudio



La zona de estudio comprende una amplia planicie con la Laguna en su extremo noroeste. Queda delimitada al norte por los cerros Altos de Polpaico; al este por los cerros del Manzano y sus prolongaciones cerro Leiva y cerro Liray; al oeste por el cerro

Chape; y al sur por la Av. España. Esta área se extiende entre las coordenadas geográficas 33°10'30" – 33°15' Latitud sur y 70°45'00" – 70°52'30" Longitud oeste. Su ubicación en coordenadas UTM es: UTM norte 6.320.000 – 6.328.000 y UTM este 326.000 – 337.000 (Datum Sudamericano 1969, Zona 19). Algunos autores llaman a este lugar cuenca de Batuco (Figura 4.2).

Figura 4.2
Mapa del área de estudio



Fuente: Fondo modificado de Carta IGM Batuco 1:25.000 de 1979 con Datum Sudamericano 1969.

Desde Santiago se puede llegar a la Laguna de Batuco recorriendo cerca de 40 kilómetros por la Ruta 5 Norte, y accediendo luego al poblado de Batuco a través del segundo cruce a Lampa hacia el poniente. Desde Batuco existen dos vías de acceso a la Laguna, una recorre su flanco este y norte y se puede tomar desde Av. Italia, y la otra recorre su flanco oeste y es posible tomarla accediendo hacia el sector de Lo Fontecilla.

4.1.2 Uso del suelo

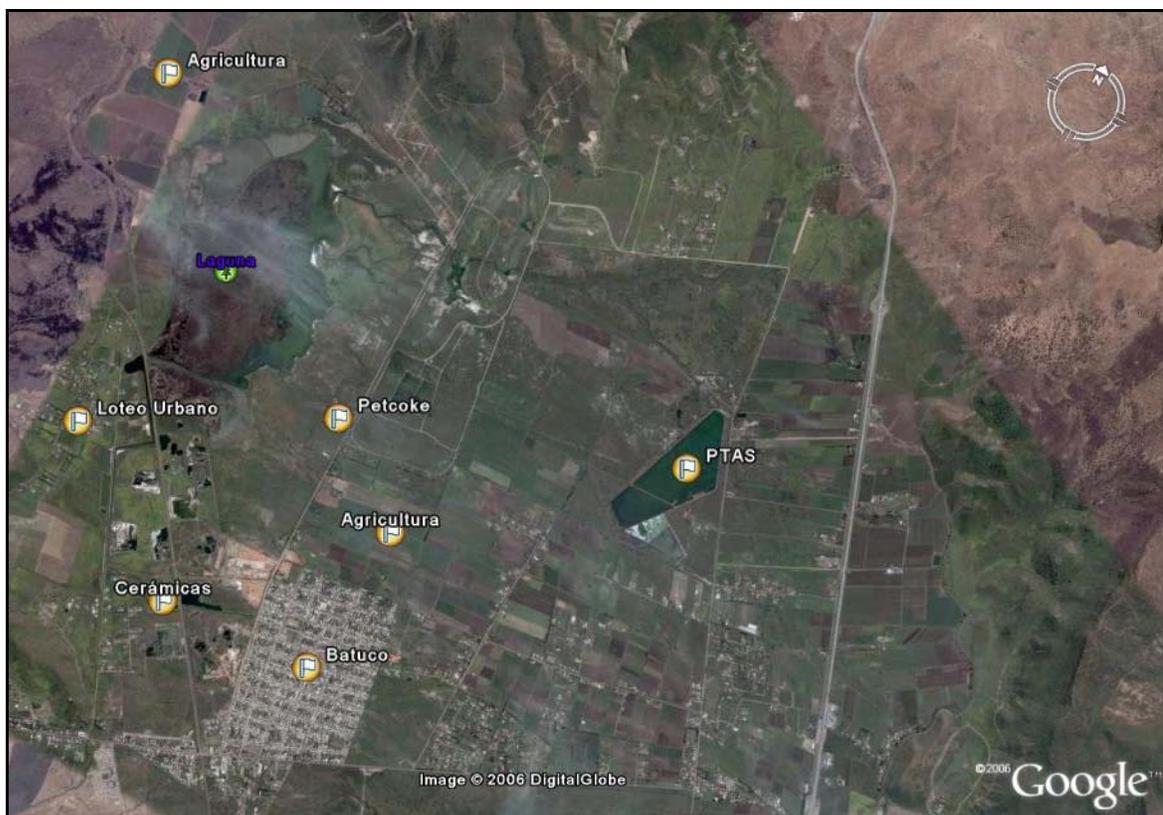
La comuna de Lampa tiene una superficie de 450 Km², con una población de 40.228 habitantes (censo 2002). Su territorio jurisdiccional constituye en consecuencia uno de los de menor densidad de la Región Metropolitana (89 hab/km²). Cerca del 70% de la población comunal reside en áreas urbanas (Lampa, Batuco, Estación Colina, Santa

Sara) y el 30% restante se encuentra relativamente dispersa en el sector rural en viviendas alineadas a lo largo de caminos de cierta importancia o agrupados en pequeños villorrios. Las poblaciones de Batuco y Santa Sara son 11.406 y 1.172 habitantes, respectivamente (censo 2002).

Las actividades económicas de la comuna son mayoritariamente agrícolas, pero en los últimos años se ha impulsado un importante desarrollo industrial debido al crecimiento experimentado en la comuna vecina de Quilicura. El explosivo crecimiento de las parcelas de agrado ha provocado la pérdida de suelos productivos y los agricultores han tratado de integrarse al sector industrial (CED, 2000).

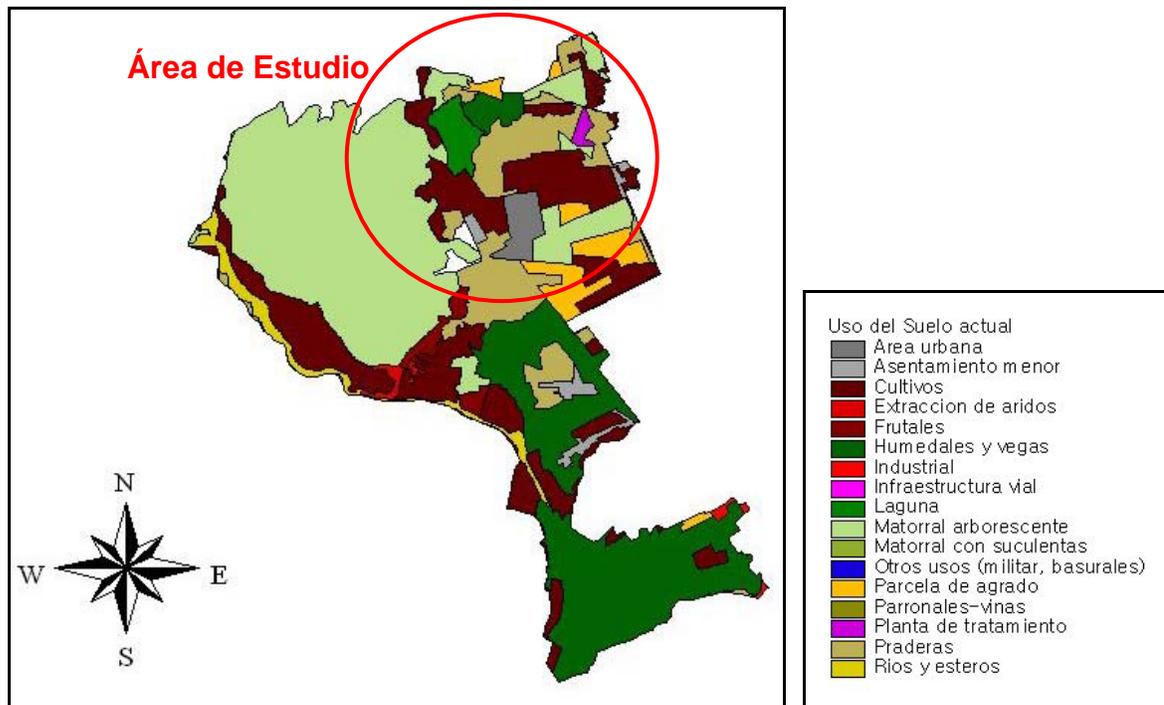
Específicamente en la cuenca de Batuco, la Laguna propiamente tal, ocupa entre 250 y 350 hectáreas (Del Campo, 2000). A su alrededor se encuentran instaladas gran cantidad de actividades, incluyendo algunas como la agricultura y las fábricas de cerámicas, que la han limitado construyendo pretilos. Otras actividades que destacan son los loteos urbanos, una planta de petcoke, la localidad de Batuco y una planta de tratamiento de aguas servidas (PTAS). En la Figura 4.3 y en la Figura 4.4 se puede apreciar la ubicación de estas actividades con respecto a la Laguna y al Humedal de Batuco, respectivamente. Es importante mencionar que el Humedal de Batuco corresponde a un área más grande dentro de la cual se encuentra la Laguna y el sector de estudio.

Figura 4.3
Principales actividades que rodean la Laguna



Fuente: Modificado de Aguirre, 2005.

Figura 4.4
Uso del suelo en el Sitio Prioritario Humedal de Batuco



Fuente: Modificado de Aramayo, 2006.

4.1.3 Clima

En la Región Metropolitana se presenta un clima templado cálido o mediterráneo con lluvias invernales. Predomina una estación seca prolongada.

Las precipitaciones medias anuales en Santiago son del orden de 350 mm y caen preferentemente en invierno, entre mayo y agosto, donde precipita alrededor del 80% de lo que cae en todo el año. La época seca está constituida por 7 u 8 meses en que llueve menos de 40 mm en cada uno de ellos. Incluso en algunos de los meses de verano, la normal de agua caída es inferior a 1 mm.

La situación de continentalidad de la Región, hace que la humedad relativa sea baja, ligeramente superior al 70% como promedio anual.

El sector de Batuco posee una temperatura máxima media en enero de 28°C y una temperatura mínima media en julio de 4°C; con 4 meses de receso vegetativo (Del Campo, 2000).

4.1.4 Flora, vegetación y fauna

Los humedales son sitios muy ricos en cuanto a diversidad biológica. Al ser el Humedal Laguna de Batuco el más importante de la Región Metropolitana, se pueden encontrar en él gran cantidad de especies de aves acuáticas y otros tipos de fauna únicos para la Región. Como elemento esencial de este medio se encuentran las especies vegetales

presentes en el Humedal (flora) y la manera en que éstas se estructuran y asocian (vegetación).

4.1.4.1 Flora

Del Campo (2000) identificó en la Laguna de Batuco y bordes 80 especies pertenecientes a 65 géneros y a 28 familias. Las familias mejor representadas fueron Compositae, Gramineae, seguidas de Chenopodiaceae. Pese a la intervención antrópica, del total de especies encontradas, un 66,25% son alóctonas y un 33,75%, autóctonas. Se encontraron algunos endemismos locales o de distribución restringida, como *Amaranthus looseri*, *Atriplex philippi* (Cenizo) y *Eringium sparganoidies*. Dentro de las especies con mayor presencia en el Humedal están la totora (*Typha angustifolia*) y el batro o totorilla (*Scirpus californicus*), las cuales son muy importantes para la fauna del lugar.

4.1.4.2 Vegetación

El área de estudio se encuentra en la Región Vegetacional del Matorral y del Bosque Esclerófilo, Sub-Región Vegetacional del Matorral y del Bosque Espinoso. Esta Sub-Región corresponde a una unidad vegetacional que ha sido profundamente afectada por las actividades humanas. La forma de vida predominante es la de los arbustos fuertemente espinosos, como el espino (*Acacia caven*) y el algarrobo (*Prosopis chilensis*) y la de las plantas como Bromeliaceae y Cactaceae.

Específicamente en la Laguna de Batuco y bordes, se distinguen 7 asociaciones vegetales (Del Campo, 2000). Sólo dos de éstas corresponden al total que existe en este Humedal (*Typha* - *Scirpus* y *Scirpus* - *Eleocharis*). El resto se distribuye en zonas inundables y no inundables de la Laguna (*Distichlis* - *Frankenia*, *Distichlis* - *Hordeum*, *Polypogon* - *Frankenia*, *Cressa* - *Frankenia* y *Frankenia* - *Chenopodium*), presentando características de halofilia, lo que estaría indicando el ambiente salino en el que se desarrollan. Estas 7 asociaciones responden a dos gradientes: uno de salinidad y otro de humedad.

4.1.4.3 Fauna

El Humedal Laguna de Batuco y sus alrededores son un importante sitio de nidificación y concentración de avifauna cercano a la capital.

En el año 2002, en la Laguna y sus alrededores, se registraron 85 especies de aves (Cerámica Santiago, 2005), lo que corresponde al 19% de las 450 especies registradas comúnmente para Chile. De las 85 aves, 7 presentan algún grado de amenaza: una especie es vulnerable, el Cisne de cuello negro; cuatro especies se consideran raras, la Garza cuca, el Pato gargantillo, el Huairavillo y el Piuquén ó Ganso andino; y dos especies se catalogan como inadecuadamente conocidas, el pato cuchara y el Nuco. Además, tres especies son endémicas, la Perdiz, la Turca y la Tenca y tres especies son introducidas, la Paloma, la Codorniz y el Gorrión. Destacan también, el Pato silbón pampa y el Pollito de mar tricolor, especies muy poco frecuentes en la zona.

Según un Censo de aves acuáticas realizado por la Red Ambiental de la Universidad de Chile (RAUCH, 2005), el 7 de agosto de 2005 se contabilizó un total de 2.024 individuos entre las 8:24 am y las 13:47 pm. La familia más representada fue Rallidae (taguas) con el 56% de las aves contabilizadas, seguida por la familia Anatidae (patos, gansos) representada por el 33% y luego Recurvirostridae representada por el 5%.

Figura 4.5
Patos jergón



Fuente: Cerámica Santiago, 2005

Figura 4.6
Siete colores entre la totora



Fuente: Cerámica Santiago, 2005.

En un recorrido por la Laguna y sus proximidades, realizado el año 2002, se encontraron tres especies de anfibios (Cerámica Santiago, 2005): el Sapito de 4 ojos, catalogado como vulnerable; el Sapo de rulo, especie endémica y vulnerable; y la Rana africana, especie introducida.

En este mismo recorrido se registraron sólo tres especies de reptiles, todos considerados vulnerables: la Lagartija lemniscata; la Culebra de cola larga, especie endémica; al igual que la Iguana. En cuanto a los mamíferos, se encontraron cinco especies, tres nativas: el Coipo, el Ratón colilargo y el Ratoncito oliváceo; y dos introducidas: el Güarén y el Conejo.

La ictiofauna de la Laguna de Batuco resultó ser pobre, se encuentra representada por al menos tres especies de peces (RAUCH, 2005). Sólo una de éstas es nativa, la Pocha. Las otras dos, Gambusia de siete puntos y Carpa común, son introducidas.

La RAUCH (2005) también realizó un registro de los macroinvertebrados acuáticos presentes en la Laguna. Las familias de insectos encontradas fueron la Coleóptera y la Hemíptera. Se encontraron crustáceos del orden Conchostraca y Cladocera (subgénero Daphnia). También lograron localizar moluscos del Género Physa.

Los tipos de zooplancton más densos ubicados en el afluente y en el efluente de la Laguna de Batuco fueron Paracyclops y Nauplio. Con respecto al fitoplancton, se encontraron las siguientes algas en el afluente y en el efluente: Phacus sp, Synedras sp, Navícula sp y Chorella sp. Siendo la primera y la última especie las más comunes (RAUCH, 2005).

Finalmente, en un estudio que abarca la totalidad del Humedal de Batuco (Aramayo, 2006), se contabilizaron 144 especies de vertebrados terrestres, con 4 especies de

anfibios, 8 especies de reptiles, 15 especies de mamíferos y 117 especies de aves. Del total de especies, 25 cuentan con problemas de conservación (21,37%).

4.1.5 Situación ambiental

- **Situación legal:** La Laguna de Batuco se encuentra en un terreno privado. Este cuerpo de agua y sus alrededores son un Sitio Prioritario para la Conservación de la Biodiversidad según la Corporación Nacional Forestal (CONAF), un Área de Preservación Ecológica según el Plan Regulador de la Provincia de Chacabuco y una Zona Libre de Caza. Además, la Laguna fue designada como Sitio Lacustre por la Dirección General de Aguas (DGA).
- **Problemas ambientales:**
 - La Laguna de Batuco se encuentra limitada por varios predios, construidos con fines agrícolas e inmobiliarios.
 - A los alrededores de este cuerpo de agua existen muchos pozos, canales y lagunas que aumentan la descarga de su recurso hídrico.
 - El efluente de la PTAS La Cadellada descarga en un canal que llega finalmente a la Laguna. Autoridades han señalado que esta planta presenta un manejo deficiente de los desechos.
 - En 2003 y 2005 ocurrieron eventos de mortandad que afectaron a diversas especies en la Laguna.
- **Amenazas:** Según Iriarte (2003), en el área de estudio predominan acuíferos vulnerables, siendo recomendable prohibir el establecimiento de vertederos, centros de almacenaje y distribución de hidrocarburos y químicos e industrias con lagunas de efluentes. Pese a ello y a la situación legal de la Laguna de Batuco, diversas empresas se encuentran a su alrededor (Figura 4.3 y Figura 4.4), ocasionando una amenaza constante a la calidad y cantidad de aguas del sector.
- **Perspectivas:** Actualmente, existen varios organismos públicos y privados trabajando por conservar la Laguna de Batuco y sus alrededores. En varios de estos trabajos se incluyen monitoreos de distintos tipos. Las acciones más destacadas corresponden a:
 - Las fiscalizaciones y seguimientos de la Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS).
 - El Plan Ambiental de Batuco (2000) y el Plan de Acción para el sitio prioritario “Humedal Batuco” (2005) de la Comisión Regional del Medio Ambiente de la Región Metropolitana (COREMA RMS).
 - El Plan de Vigilancia y Contingencia Laguna de Batuco (2005) de la Ilustre Municipalidad de Lampa.
 - La Red de Monitoreo de Recursos Hídricos (diseñada en esta memoria), del proyecto “Tres importantes iniciativas para la Protección y Conservación del Humedal de Batuco” (ANEXO D), perteneciente a la ONG “El Totoral de Batuco”, que fue favorecido con la adjudicación del Fondo de Protección Ambiental 2007 de la CONAMA.

- La formación de una brigada ornitológica por parte de la empresa Cerámica Santiago S.A.

En el ANEXO E.1 se puede ver una descripción completa de cada uno de los puntos anteriores, mientras que en el ANEXO E.2 están los antecedentes sobre la calidad del agua de la cuenca de Batuco.

4.2 Geología y Geomorfología

Debido a que los eventos geológicos se producen de una manera global y no local, para poder esquematizar de mejor manera la geología del área de estudio es necesario revisar primero la geomorfología y geología de toda la cuenca del río Maipo.

4.2.1 Geomorfología y geología de la cuenca del río Maipo

En la cuenca del río Maipo se pueden distinguir cuatro unidades fisiográficas que caracterizan gran parte del país. Estas se extienden paralelas entre si y tienen una dirección aproximada norte-sur. De este a oeste son las siguientes: Cordillera de Los Andes, Depresión Intermedia, Cordillera de la Costa y Planicies Costeras. Estas unidades tienen su origen en el tectonismo del Terciario Superior, época en que se modelaron estructuralmente. Durante el Cuaternario recibieron gran cantidad de materiales sedimentarios como resultado de la interacción de tres factores fundamentales: variaciones climáticas, procesos tectónicos y volcanismo (Valenzuela, 1978).

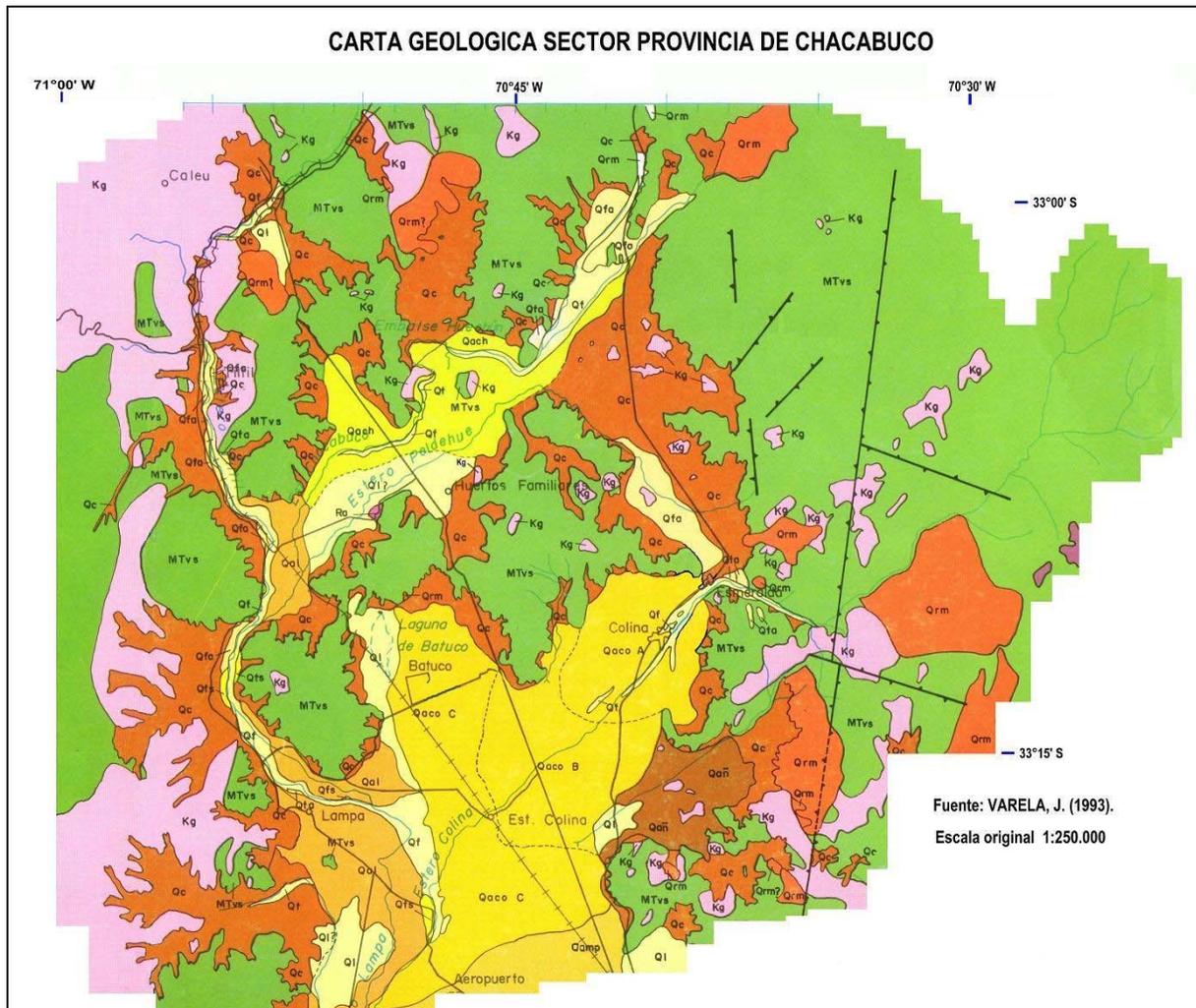
El área de estudio en particular, se ubica en el extremo norte de la cuenca de Santiago. La planicie que contiene a la Laguna de Batuco, tiene una altitud aproximada de 490 msnm y corresponde a la Depresión Intermedia. Esta depresión se encuentra rodeada por el cordón de cerros El Manzano, el cual, con altitudes de entre 900 y 1.200 msnm y dirección NE-SO, forma parte de la unión entre la Cordillera de la Costa y la Cordillera de Los Andes.

Como se puede apreciar en la Figura 4.7, el cordón de cerros El Manzano contiene formaciones de rocas estratificadas sedimentarias y volcánicas, además de algunos cuerpos intrusivos. La planicie o "Fosa de Batuco" está cubierta de rellenos sedimentarios que provienen principalmente de los esteros Lampa y Colina. A continuación se describirá con mayor detalle la geología regional y los depósitos sedimentarios del área de estudio.

4.2.2 Geología del área de estudio

Las formaciones rocosas que componen el cordón de cerros El Manzano corresponden principalmente a la Cordillera de la Costa. Las rocas fundamentales que bordean los flancos oeste y norte de la depresión que contiene a la Laguna son parte de la Formación Las Chilcas. A su vez las rocas que rodean el este de la planicie corresponden a la Formación Lo Valle. Aparte de las rocas estratificadas destaca al norte de la cuenca un cuerpo cretácico intrusivo plutónico.

Figura 4.7:



LEYENDA

Unidades Sedimentarias

- Ra** RELLENO ARTIFICIAL. Material removilizado de pozos arenosos, desechos de canteras y relaves mineros.
- Qc** DEPOSITOS COLUVIALES Y CONOS DE DEYECCION. Gravas mal seleccionadas y diamictos.
- Qrm** DEPOSITOS DE REMOCION EN MASA. Diamictos y bloques de roca removidos.
- Qf** DEPOSITOS FLUVIALES ACTUALES. Gravas arenosas y arenas de los cursos actuales de los ríos. En la zona litoral esta unidad incluye además depósitos fluviales subactuales (Qfs) y antiguos (Qfa), así como depósitos de dunas.
- Qfs** DEPOSITOS FLUVIALES SUBACTUALES. Gravas arenosas y arenas de terrazas bajas laterales de los ríos.
- Qfa** DEPOSITOS FLUVIALES ANTIGUOS. Gravas arenosas y arenas de terrazas medias y altas de los ríos.
- Ql** DEPOSITOS LACUSTRES. Limos y arcillas laminadas a masivas en cuencas mal drenadas.
- Qach** DEPOSITOS DEL ABANICO ALUVIONAL DEL ESTERO CHACABUCO. Gravas arenosas y arenas que gradan a arcillas lacustres.
- Qal** DEPOSITOS DEL ABANICO ALUVIONAL DEL ESTERO LAMPA. Arenas derivadas de maicillos graníticos lavados.
- | | |
|--|---|
| | C |
| | B |
| | A |

Qaco DEPOSITOS DEL ABANICO ALUVIONAL DEL ESTERO COLINA. Sector A: Gravas arenosas. Sector B: Arenas. Sector C: Limoarcillas.
- Qañ** DEPOSITOS DEL ABANICO ALUVIONAL DEL ESTERO LA ÑIPA. Gravas arenosas y arenas.
- Qamp** DEPOSITOS DEL ABANICO ALUVIONAL DEL RIO MAPOCHO. Gravas arenosas y arenas con intercalaciones de corrientes de barro.
- Qcp** DEPOSITOS DE CENIZAS PUMICITICAS. Ceniza riolítica con piedras pómez producida por flujo piroclástico (450.000 años Ap).

Rocas Fundamentales

- MTvs** ROCAS ESTRATIFICADAS VOLCANICAS Y SEDIMENTARIAS MESOZOICAS A TERCIARIAS. Lavas, tobas y brechas andesíticas o riolíticas, y lutitas, conglomerados, areniscas y calizas.
- Kg** CUERPOS INTRUSIVOS PLUTONICOS MESOZOICOS A TERCIARIOS. Granodioritas, tonalitas y adamelitas, andesitas y piroxenos, anfíbolos y pórfidos andesíticos y dacíticos.

Los rellenos cuaternarios más importantes del área de estudio corresponden a: Depósitos Coluviales (Qc), Depósitos de Remoción en Masa (Qrm), Depósitos Aluviales (Qa) y Depósitos Lacustres (Ql).

Los mayores agentes de transporte hacia la zona de estudio son los esteros Lampa y Colina. Pero ellos han tenido escasas posibilidades de llegar con sus depósitos aluviales gruesos permeables a esta área (Sotomayor, 1964).

El estero Lampa deposita gran parte de sus gruesos en la zona de Chicauma, donde el valle se estrecha. Por el sur del pueblo de Lampa, los depósitos superficiales consisten principalmente en arcillas.

El estero Colina es el gran responsable del abanico aluvial que cubre el área de estudio. En este abanico, se pueden distinguir claramente sus tres zonas: apical (Qaco A), compuesta de gravas arenosas; intermedia (Qaco B), constituida de arenas; y distal (Qaco C), formada de limoarcillas. Siendo esta última la que rellena mayoritariamente la cuenca de Batuco. Los suelos de esta zona son arcillosos, ricos en arcillas expansivas y se caracterizan por su alta plasticidad, alta salinidad y desarrollo de grietas de desecamiento (Fernández, 2001). Debido a la abundancia de arcillas expansivas, son de muy mala calidad como suelos de fundación.

La unión de estos dos abanicos aluviales compuestos de depósitos finos elevaron el nivel topográfico (glacis de ahogamiento), generando una depresión de escaso drenaje en la "Fosa de Batuco". En consecuencia, tanto las aguas de crecida del estero Colina, como los escurrimientos superficiales y subterráneos provenientes de los cerros circundantes, formaron un sistema prácticamente endorreico, de paisaje lacustre y pantanoso intermitente, con alto contenido de Depósitos Lacustres.

En ciertas áreas de la cuenca de Batuco, la roca basal se ubica a más de 300 m, según se constata de sondajes construidos en el sector (Comisión Nacional de Riego (CNR) - IPLA, 1984). Un mapa de curvas de nivel del basamento rocoso realizado por González (1999) confirma la teoría de la CNR. Mientras que Sotomayor (1964) afirma que el relleno aumenta hacia el sur, de 50 a 60 m hasta 222 m en Batuco. Falcon (1970) también propone una profundidad no mayor a 250 m y que disminuye hacia las montañas de la cuenca.

Más detalles sobre las formaciones rocosas, los depósitos sedimentarios y los suelos del área de estudio se encuentran en el ANEXO E.3.

4.3 Hidrología e Hidrografía

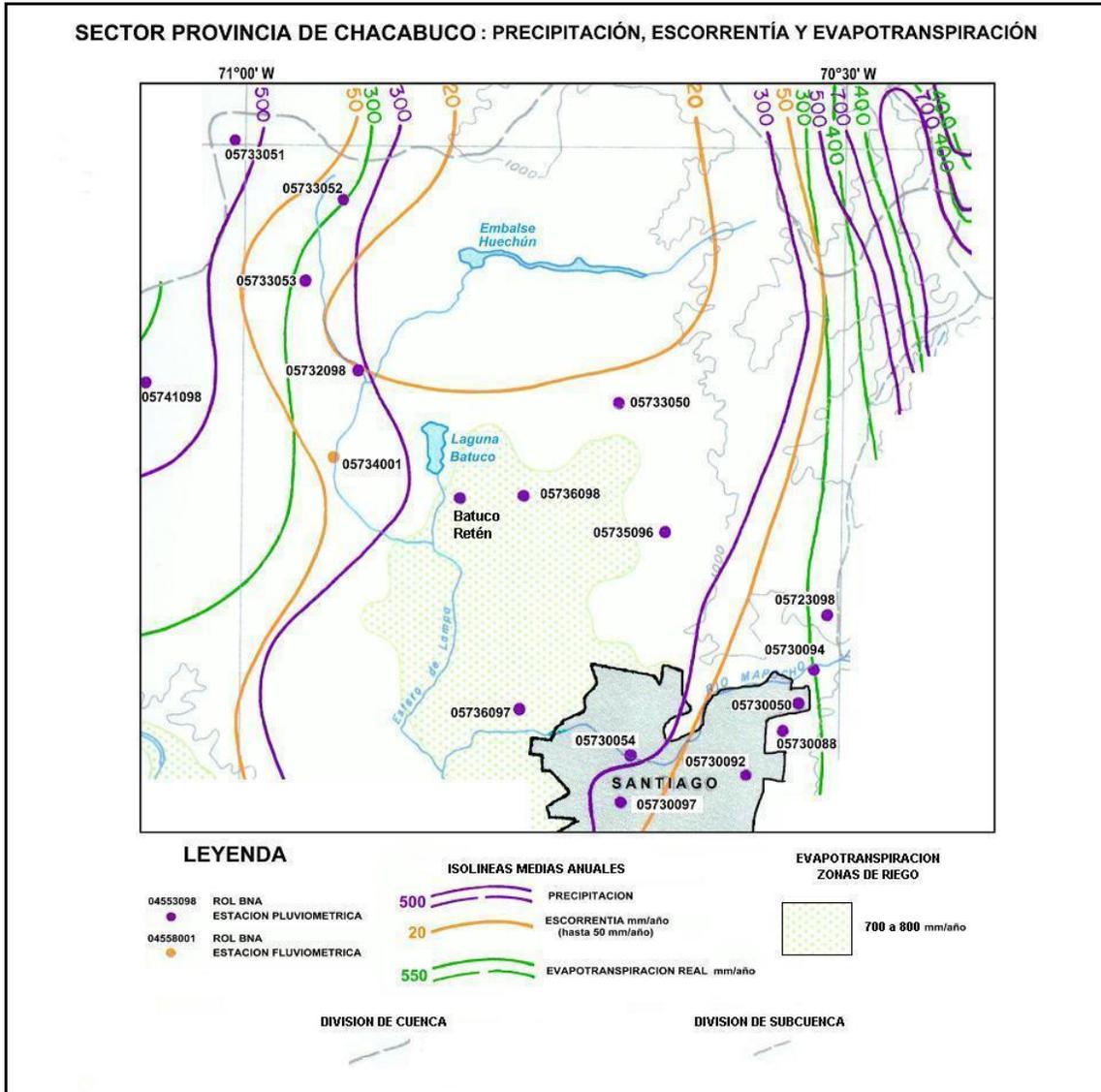
Debido a que prácticamente no existe información sobre la hidrología de la Laguna propiamente tal, en esta parte se hablará principalmente de sus afluentes y efluentes superficiales.

El principal aporte de aguas hacia la Laguna de Batuco se produce a través de escorrentía superficial. Por lo tanto, a continuación se estudiará la red de drenaje del

área y la cantidad de agua que escurre en ella. Conjuntamente, es importante analizar la pluviometría del sector, ya que la cuenca de Batuco es de régimen pluvial.

4.3.1 Pluviometría

Figura 4.8
Isolíneas de precipitación, escorrentía y evapotranspiración
en la Provincia de Chacabuco



Fuente: Balance hídrico de Chile, DGA, 1988.

En el área de estudio existe sólo una estación con información pluviométrica de propiedad de la Dirección Meteorológica de Chile (DMC). Su nombre y ubicación es la siguiente:

Nombre: Batuco Retén
 Latitud: 33° 15'
 Longitud: 70° 49'
 Altitud: 483 msnm

Debido a sus registros poco constantes y a que actualmente se encuentra fuera de funcionamiento no se utilizará para el análisis de las precipitaciones de la zona.

No obstante, en los alrededores de la ciudad de Santiago, existen varias estaciones pluviométricas que cuentan con información extensa y completa de lluvias. En la Figura 4.8 se pueden ver algunas de estas estaciones y las isolíneas de precipitación media anual de la Provincia de Chacabuco. Según estas curvas, en la Laguna de Batuco existen precipitaciones medias anuales menores a 300 mm.

La ubicación de algunas de las estaciones pluviométricas que rodean el área de estudio, junto con sus precipitaciones medias anuales del período 1951-1980 se encuentran en la Tabla 4.1.

Tabla 4.1
Estaciones pluviométricas cercanas al área de estudio

ROL BNA	Nombre Estación	LAT	LONG	ALT (msnm)	Pp (mm)
05741098	Arrayanes	33° 10'	71° 05'	560	594
05736098	Esmeralda de Colina	33° 11'	70° 40'	550	272
05736097	Huelen	33° 23'	70° 45'	560	278
05735096	Valle Hermoso Fundo	33° 17'	70° 38'	544	254
05733053	Til-Til	33° 06'	70° 56'	578	324
05733052	Rungue Embalse	33° 01'	70° 55'	750	317
05733051	Caleu	33° 00'	71° 00'	1120	572
05733050	Rincón de los Valles	33° 57'	70° 45'	950	250
05732098	Polpaico Fundo	33° 10'	70° 53'	522	302
5730097	Santiago (Quinta Normal)	33° 27'	70° 42'	530	300

Fuente: Balance hídrico de Chile, DGA, 1988.

En la actualidad esta Red ha cambiado bastante. Varias de las estaciones de la Tabla 4.1 se han dejado de controlar, mientras nuevas estaciones se han instalado.

Con registros rellenados y corregidos de las estaciones Rungue o Rungue Embalse y Santiago Quinta Normal (ANEXO E.4) se obtuvieron las distribuciones de las precipitaciones medias anuales (Figura 4.9 y Figura 4.10). Si bien estas estaciones no son las más cercanas a la zona de estudio, se tiene un registro bastante completo desde el año 1950 al 2005.

Comparando las precipitaciones medias anuales de las dos estaciones, la estación Rungue (364,3 mm), pese a encontrarse más al norte, tiene mayores precipitaciones que la estación Santiago Quinta Normal (326,4 mm). Esto se puede explicar debido a su mayor altitud.

Figura 4.9
Precipitación anual estación Rungue (1950/51-2004/05)

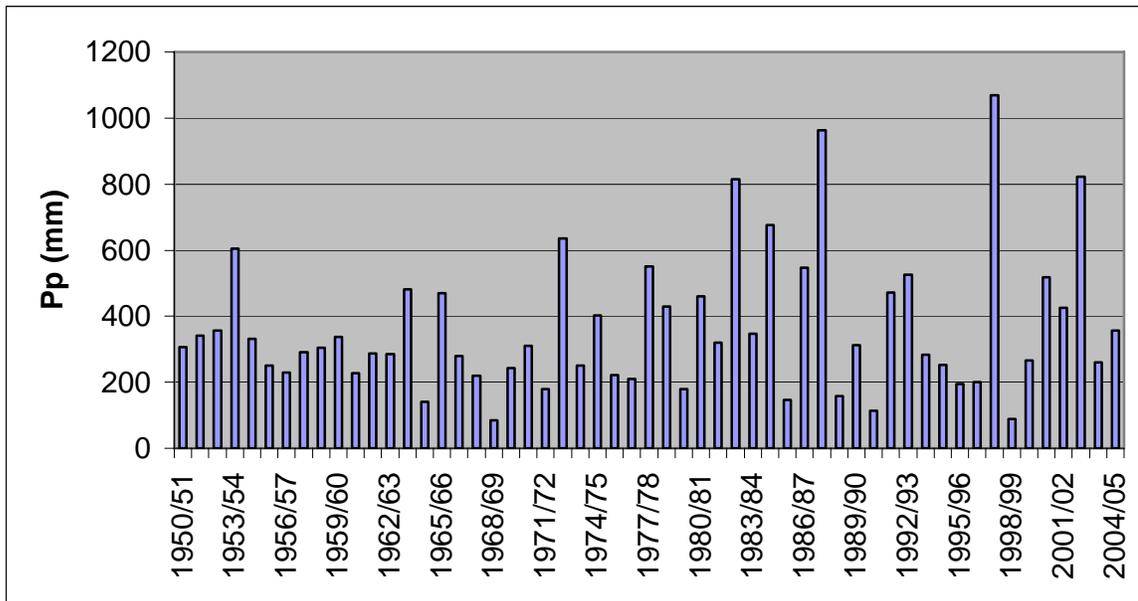
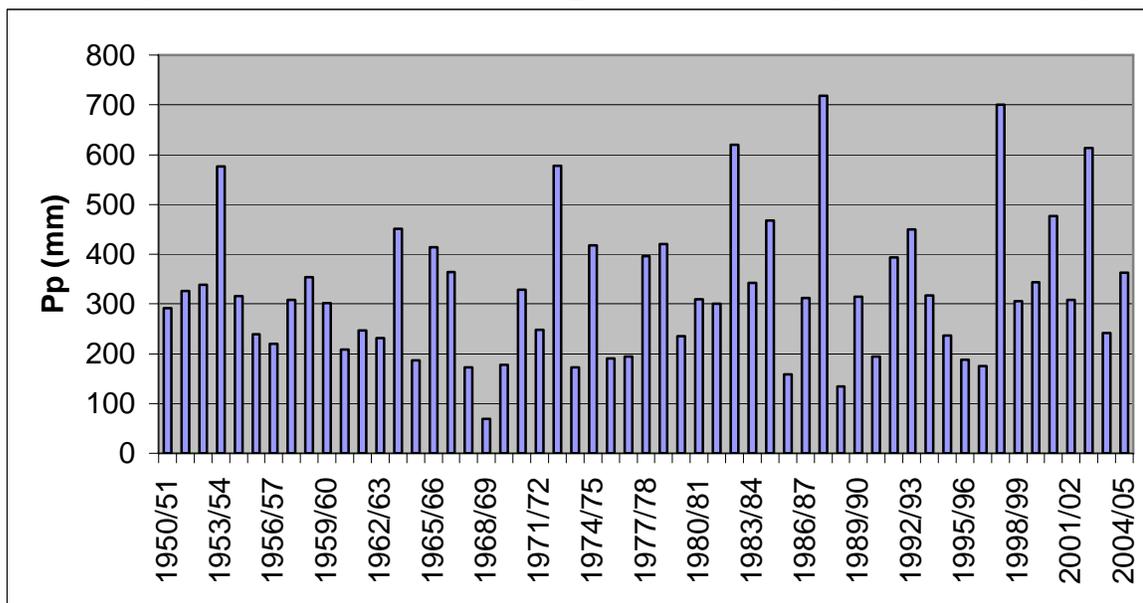


Figura 4.10
Precipitación anual estación Santiago Quinta Normal (1950/51-2004/05)



Asimismo, las precipitaciones anuales de las dos estaciones evidencian años secos y húmedos en toda la zona central de Chile. Los mínimos ocurrieron en el año hidrológico 1968/69, cuando llovieron 85,1 mm en Rungue y tan sólo 69,2 mm en Quinta Normal. Los años hidrológicos más húmedos registrados en las estaciones Rungue y Santiago Quinta Normal son más recientes. En 1987/88 precipitaron 964 mm en Rungue y 717 mm en Santiago Quinta Normal. Mientras que en 1997/98 cayeron 1069,9 y 700,2 mm respectivamente.

En un estudio de la DGA (DGA-AC, 2000), se realizaron análisis de frecuencia a datos de precipitaciones mensuales y anuales completados con correlaciones entre estaciones pluviométricas. De acuerdo con los resultados obtenidos, para las series anuales y mensuales, la distribución Log-Normal es la que en general mejor se ajusta a las series analizadas.

En la Figura 4.11, Figura 4.12 y Figura 4.13 se pueden apreciar las curvas de variación estacional correspondientes a tres estaciones cercanas al área de estudio: Esmeralda de Colina, Rungue o Rungue Embalse y Santiago Quinta Normal.

Figura 4.11
Curvas de variación estacional estación Esmeralda de Colina

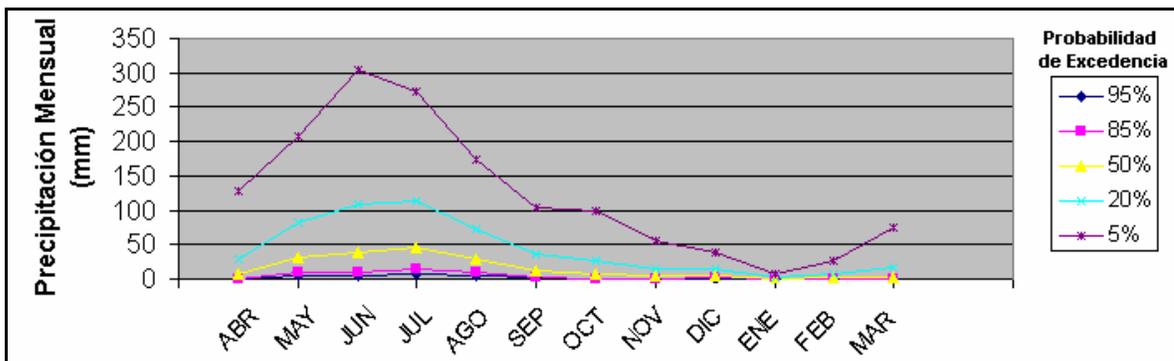


Figura 4.12
Curvas de variación estacional estación Rungue

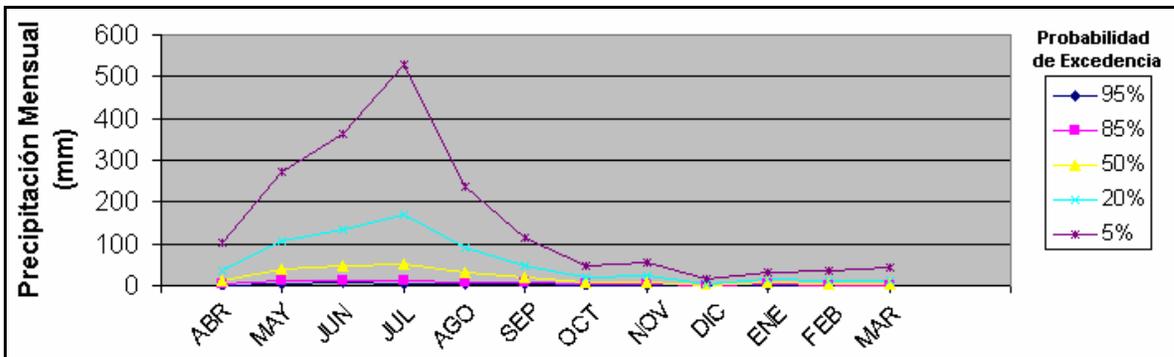
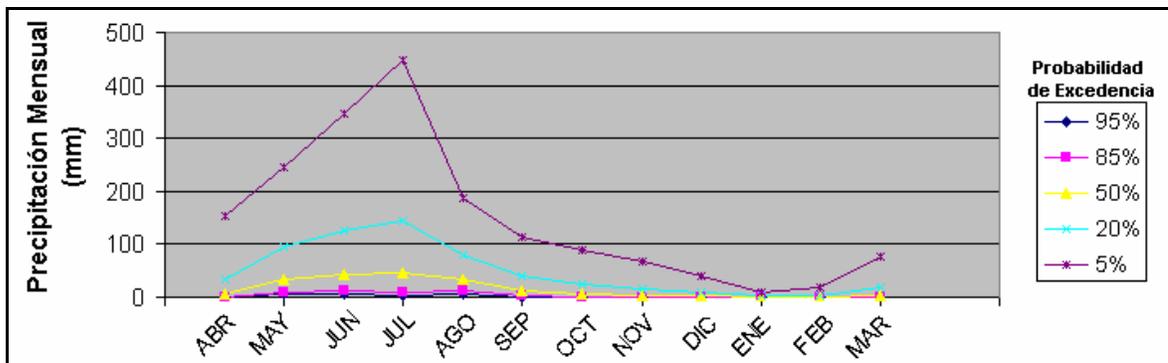


Figura 4.13
Curvas de variación estacional estación Santiago Quinta Normal



La distribución de lluvias a lo largo del año es similar en las tres estaciones pluviométricas. Las mayores precipitaciones ocurren en los meses de junio y julio y, tal como se dijo en la descripción del clima del sector, las lluvias ocurren principalmente entre mayo y agosto.

A partir del análisis de frecuencia realizado a las precipitaciones anuales completadas, se pudieron obtener algunas de las probabilidades de excedencia de estaciones pluviométricas que no tenían suficiente información.

Tabla 4.2
Probabilidades de excedencia precipitaciones estación Batuco Retén

P. excedencia	5%	20%	50%	85%	95%
E. Colina	561,2	383,2	256,9	157	117,6
Rungue	725,4	479,5	310,8	182,2	133,2
Batuco Retén	-	369,1	254,5	-	123,1
Santiago Q.N.	613,7	424,7	288,7	179,5	135,8

La Tabla 4.2 denota una similitud entre las estadísticas de las estaciones Esmeralda de Colina y Batuco Retén. Las precipitaciones de estas dos estaciones son menores que las correspondientes a Rungue y Quinta Normal. Esto se debe a que se encuentran más al norte y a una altitud relativamente baja, lo que evidencia la zona de transición climática en que está la Laguna de Batuco.

Finalmente, como la isoterma cero varía en la zona central de Chile normalmente entre la cota 1.500 y 1.800 msnm (Dirección de Obras Hidráulicas (DOH) - CADE-IDEPE, 2002), en la cuenca de Batuco en general no existirían precipitaciones sólidas.

4.3.2 Red de drenaje

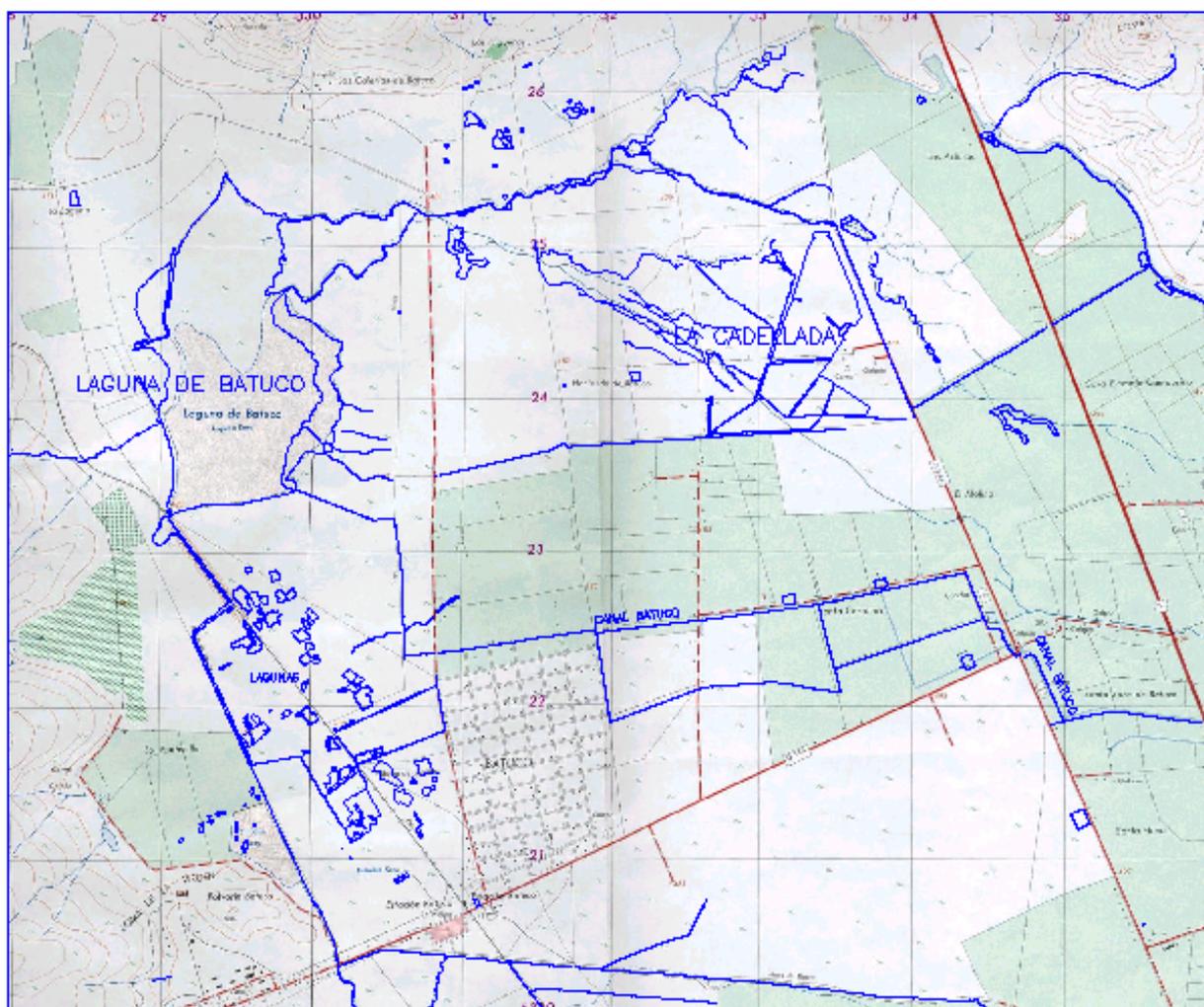
La Laguna de Batuco, con una superficie variable entre 250 y 350 hectáreas como se mencionó anteriormente, representa el sistema hídrico fundamental de la cuenca de Batuco. Su batimetría fue determinada de manera gruesa en agosto de 2005 por la RAUCH (2005), donde se obtuvieron valores fluctuantes entre 38 y 77 cms. Aún cuando gran parte del agua de la cuenca descarga a este cuerpo lacustre, éste tiene a su vez una descarga importante hacia el río Lampa, que lo convierte en un Humedal plenamente conectado con la cuenca de este río. Una esquematización los flujos de esta cuenca se encuentra en el ANEXO E.5.

El canal Batuco (o Batucano), alimentado con aguas del canal El Carmen, es el curso de agua principal que llega al área de estudio. En su primer tramo, se desarrolla paralelo al canal Colina. Luego de que este último cambia de dirección hacia el norponiente, el canal Batuco continúa bordeando los cerros aproximadamente 1,5 km para luego dirigirse también hacia el norponiente, atraviesa el valle de Chicureo, cruza el estero Colina y llega hasta el sector de la Parva, terminando al norte del peaje de Lampa, por el lado oriente de la Ruta 5, según una entrevista que se tuvo con don

Evanán Alvarado de la Consultora EDIC Ingenieros LTDA, encargada de la administración del canal El Carmén. Según esta misma fuente, el canal Batuco realiza en su tramo final una serie de entregas que se transforman en una red de distribución secundaria de pequeños canales y acequias que se dividen por la cuenca de Batuco sin una administración unificada.

Aparte de los canales nombrados en el párrafo anterior y del canal de descarga de la Laguna de Batuco, existen otros canales menores y cursos naturales en el área de estudio. Estos cursos son alimentados principalmente por un canal proveniente de la cuenca del estero Colina, de aguas servidas tratadas por la PTAS La Cadellada y de escurrimientos temporales que son producto de aguas lluvias.

Figura 4.14
Líneas de Flujo y cuerpos de agua de la cuenca de Batuco



Fuente: Modificado de DOH - CADE-IDEPE, 2002.

Otros flujos en el sector se deben a desagües de la Laguna generados por tuberías instaladas por la empresa Cerámica Santiago S.A. en el pretil que limita el extremo sur de la Laguna de Batuco. Esta agua se está utilizando en la actualidad para regar un área de 17 hectáreas que está siendo restaurada por la empresa.

Gran parte del agua de la cuenca de Batuco escurre hacia el flanco oriente de la Laguna de Batuco, que cuenta con dos afluentes principales. El mayor de ellos, aumenta ostensiblemente su caudal al recibir aportes de la PTAS La Cadellada.

Además de la Laguna de Batuco y las lagunas de tratamiento de la PTAS La Cadellada, existen en el sector otros cuerpos de agua temporales y de menores dimensiones. Estos se generan debido al desborde de los flujos de la cuenca y a la poca pendiente del lugar, y también por excavaciones hechas para extraer arcilla.

4.3.3 Fluviometría

Dada la elevada evapotranspiración real anual que se registra en la cuenca de Batuco (entre 200 y 300 mm), el déficit hídrico suele alcanzar en promedio valores de 80% y más (DOH - CADE-IDEPE, 2002). De hecho, según lo consigna la Figura 4.8 la escorrentía media anual se encuentra entre los 20 y 50 mm/año.

Según un modelo de generación de caudales medios mensuales en cuencas pluviales de la DGA (DGA-AC, 2000), la cuenca que abarca el área de estudio tiene una escorrentía anual de 40 mm.

El área de estudio no cuenta con registros fluviométricos de la DGA. La estación más cercana a la cuenca, ubicada en un cauce natural, corresponde a la Estación Estero Polpaico en Chicauma, que tiene la siguiente ubicación y área:

Latitud: 33° 13'
Longitud: 70° 55'
Altitud: 500 msnm
Área: 1098 km²

Esta estación se puede apreciar en la Figura 4.8 según su ROL BNA 05734001.

De acuerdo a registros de caudales medios mensuales que abarcan el período de años hidrológicos 1943/44 - 1996/97, el mes de mayor caudal promedio corresponde con creces a julio con 6,96 m³/s, mientras que el mes de menor caudal promedio es enero con 0,32 m³/s. Esto quiere decir que esta cuenca es de régimen pluvial al igual que la de Batuco.

Donde sí se miden caudales es en el efluente de la PTAS La Cadellada. Según estadísticas de los años 2005 y 2006, el caudal tratado promedio que descarga La Cadellada a la cuenca es de 147 l/s.

Tabla 4.3
Volúmenes tratados por La Cadellada

Período	m3/mes	Período	m3/mes
Julio – 2005	372.043	Marzo - 2006	427.444
Agosto – 2005	367.389	Abril - 2006	395.026
Septiembre - 2005	368.893	Mayo - 2006	387.690
Octubre – 2005	410.670	Junio - 2006	372.471
Noviembre - 2005	386.397	Julio - 2006	395.021
Diciembre - 2005	391.125	Agosto - 2006	395.530
Enero – 2006	396.462	Septiembre - 2006	389.148
Febrero – 2006	352.721	Promedio	387.202

Fuente: SISS.

4.4 Hidrogeología

4.4.1 Definición de acuíferos

La DGA (DGA-AC, 2000), en un esfuerzo por simplificar la descripción estratigráfica de los rellenos sedimentarios existentes en los valles de los ríos Maipo y Mapocho, realizó una división del sector en cuatro subzonas o cuencas: Santiago Norte, Santiago Centro, Santiago Sur y Maipo Inferior. Los límites entre ellas fueron propuestos en los sectores en que se producen acercamientos significativos de la roca con la superficie. Asimismo, se reconocieron sistemas afluentes o tributarios al valle Maipo-Mapocho.

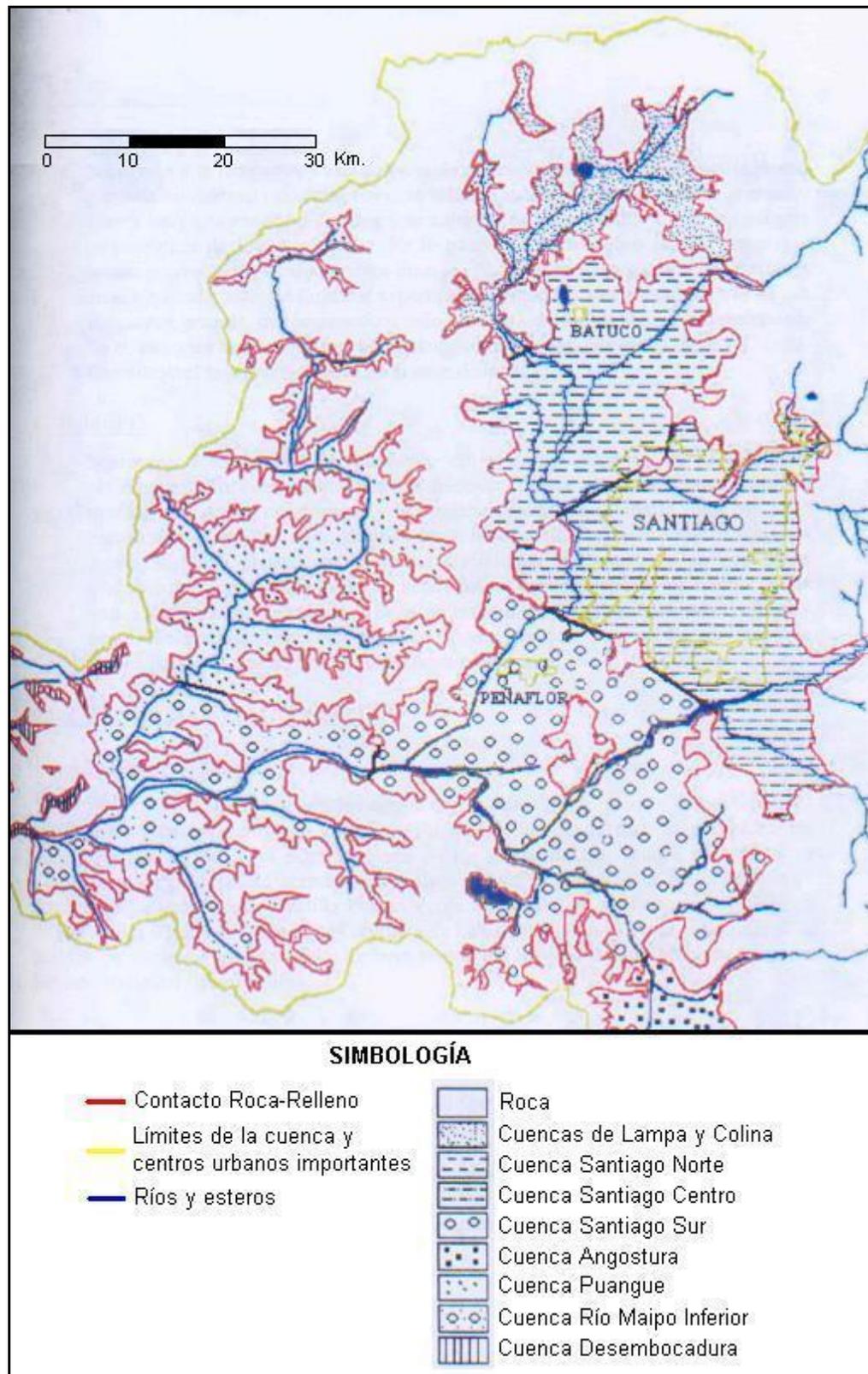
Antecedentes de sondajes han permitido identificar en este amplio sector tres unidades estratigráficas, definidas sobre la base de características granulométricas de los rellenos. Estas unidades se han denominado, de menor a mayor cota, Unidad A, Unidad B y Unidad C (DGA-AC, 2000). La Unidad A se presenta sobreyaciendo la roca basal, mientras que la Unidad C queda en el tramo superior de la secuencia sedimentaria.

Tabla 4.4
Unidades estratigráficas valle Maipo-Mapocho

Unidades	Características granulométricas	Permeabilidades
Unidad A	Granulometría fina. Su fracción clástica mayor suele estar conformada por arenas medias a finas y la matriz se caracteriza por ser muy abundante y estar constituida preferentemente de arcilla.	Entre 10^{-4} y 10^{-6} m/s Baja Permeabilidad
Unidad B	Granulometría gruesa y media. Conformada por una fracción clástica mayor de gravas, arenas gruesas y ripios subordinados y una matriz de arena media a fina con escasas proporciones de limos y arcillas.	Entre 10^{-2} y 10^{-4} m/s Alta Permeabilidad
Unidad C	Granulometría media y fina. Está constituida por una fracción clástica mayor de arenas gruesas a medias, con gravas ocasionales, y una matriz abundante de arenas finas con altos porcentajes de arcillas.	Entre 10^{-3} y 10^{-5} m/s Permeabilidad Media

Fuente: DGA-AC, 2000.

Figura 4.15
Ubicación de las subzonas acuíferas del valle Maipo-Mapocho



Fuente: Morales, 2000.

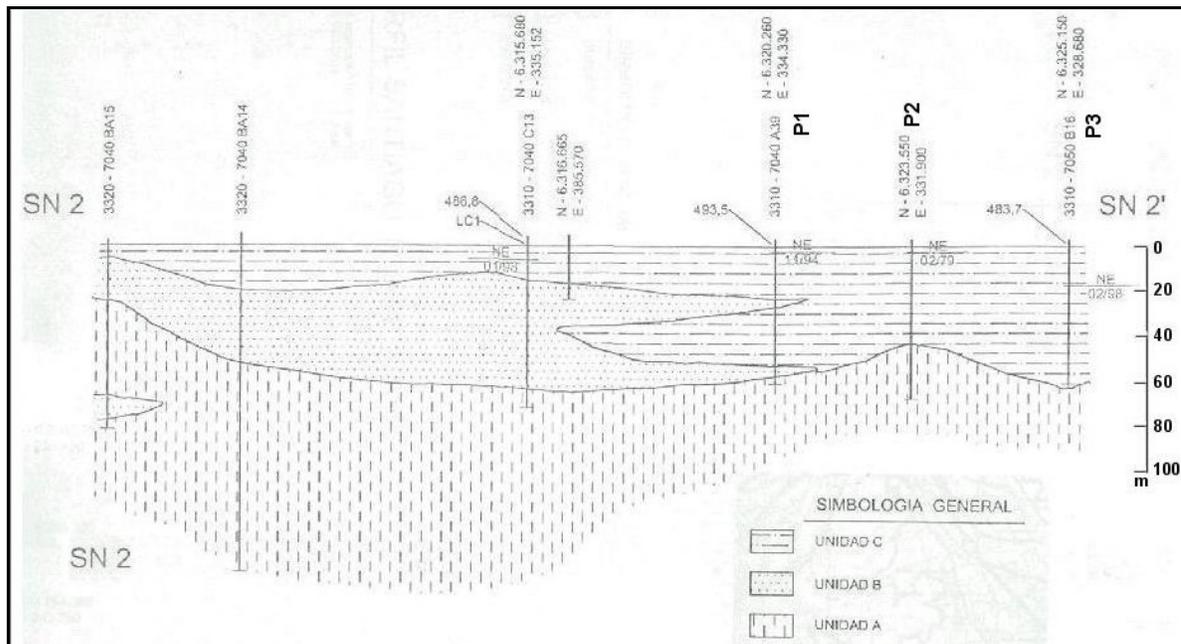
Según la Tabla 4.4, la Unidad estratigráfica B es la más idónea para constituir una formación acuífera.

El área de estudio pertenece a la cuenca Santiago Norte. En el ANEXO E.6 se describe el sistema acuífero de esta subzona, mientras que a continuación se habla sobre el acuífero de la cuenca de Batuco.

4.4.1.1 Cuenca de Batuco

En la cuenca de Batuco sólo se presentan dos unidades estratigráficas relativamente similares, las Unidades A y C. Por lo tanto, no existe una unidad permeable en el área de estudio. Estas dos unidades poseen estratigrafías relativamente similares, teniendo la A mejores cualidades acuíferas. Esto se puede apreciar claramente en el perfil SN2 de la Figura 4.16 cuyos puntos P1, P2 y P3 están ubicados en el área de estudio de la Figura 4.17.

Figura 4.16
Perfil estratigráfico SN2 Quilicura-Batuco



Fuente: Morales, 2000.

Los depósitos lacustres del área de Batuco, sólo han permitido pequeñas formaciones acuíferas del tipo lenticular, intercaladas muy aisladamente en un relleno predominantemente compuesto de arcilla y limo. La napa en toda la zona de Batuco está confinada por estratos de un importante contenido de arcilla. Respecto a la potencia total del relleno, en general tiene 290 m, pero se puede esperar que éste alcance espesores de hasta 300 m (CNR-IPLA, 1984).

Según las curvas de isopermeabilidad generadas por la DGA (DGA-AC, 2000), en la cuenca de Batuco las permeabilidades disminuyen desde la localidad de Batuco hacia la Laguna con valores bajos que van desde los 1×10^{-4} m/s hasta los 1×10^{-6} m/s.

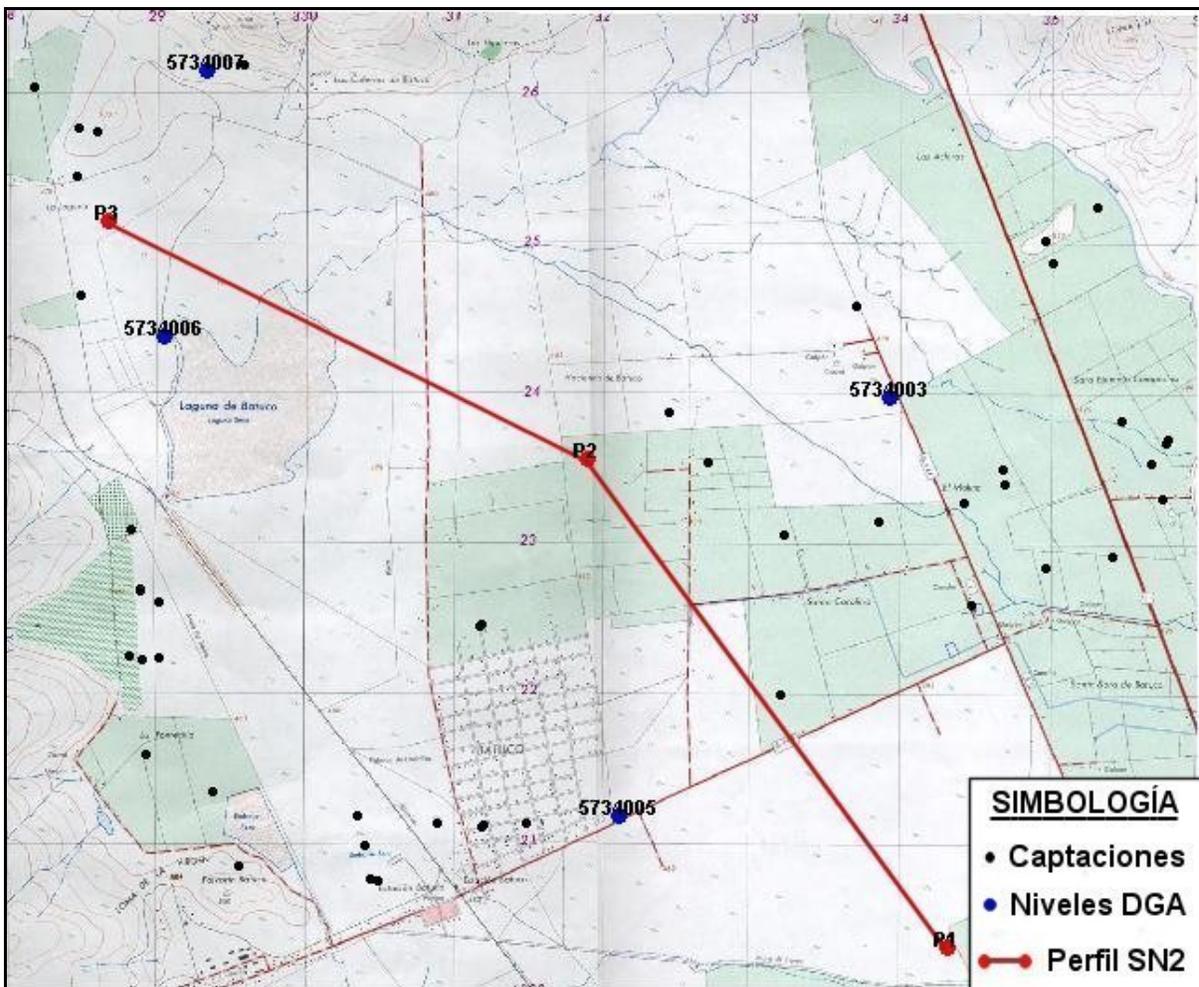
4.4.2 Catastro de captaciones

La situación del sector acuífero Santiago Norte respecto del caudal máximo a otorgar como derechos de aprovechamiento y la demanda vigente es de 5.528 l/s y 7.208 l/s respectivamente (DGA, 2004). Es decir, existe una sobre demanda del recurso subterráneo en esta área.

El catastro de pozos realizado en la Región Metropolitana por la ENAP (ENAP-Universidad de Chile, 2000), contabilizó 46 pozos en el área de estudio. Mientras que las norias de esta área fueron tan sólo 3 según la DGA (DGA-AC, 2000). El listado de todas las captaciones con sus respectivas descripciones se puede ver en el ANEXO E.7.

En la Figura 4.17 se puede apreciar la distribución de las captaciones en la cuenca de Batuco. También aparece parte del perfil estratigráfico de la Figura 4.16 y la Red de Monitoreo de Niveles de la DGA.

Figura 4.17
Mapa del área de estudio con las captaciones



Fuente: Fondo modificado de Carta IGM Batuco 1:25.000 de 1979 con Datum Sudamericano 1969.

4.4.3 Niveles de aguas subterráneas

La profundidad de la napa freática en gran parte de la cuenca de Batuco es menor a 2 m, con niveles surgentes en algunos sectores. Entre los años 1960 y 1997, los niveles se tienden a mantener sin variación apreciable ni tendencia temporal al descenso sostenido (DGA-AC, 2000). Hecho que se contradice con los resultados de la Declaración de Área de Restricción de Tiltit, Chacabuco-Polpaico, Lampa, Colina Sur, Santiago Norte, Santiago Central (DGA, 2005), en donde se demuestra un descenso sostenido de los niveles en los sectores acuíferos desde 1984 a la fecha del estudio.

La Red de Monitoreo de Niveles de la DGA posee 4 estaciones en el área de estudio (Figura 4.17). Las estaciones Fundo La Laguna y Asentamiento Laguna se encuentran en el sector noroeste de la cuenca mostrando profundidades mayores según las estadísticas de 1991 a 2005. En cambio, las estaciones Fundo La Cadellada y Entel Batuco están en la parte sureste de la cuenca mostrando niveles someros en este mismo período. Las coordenadas de estas estaciones se encuentran en la Tabla 4.5.

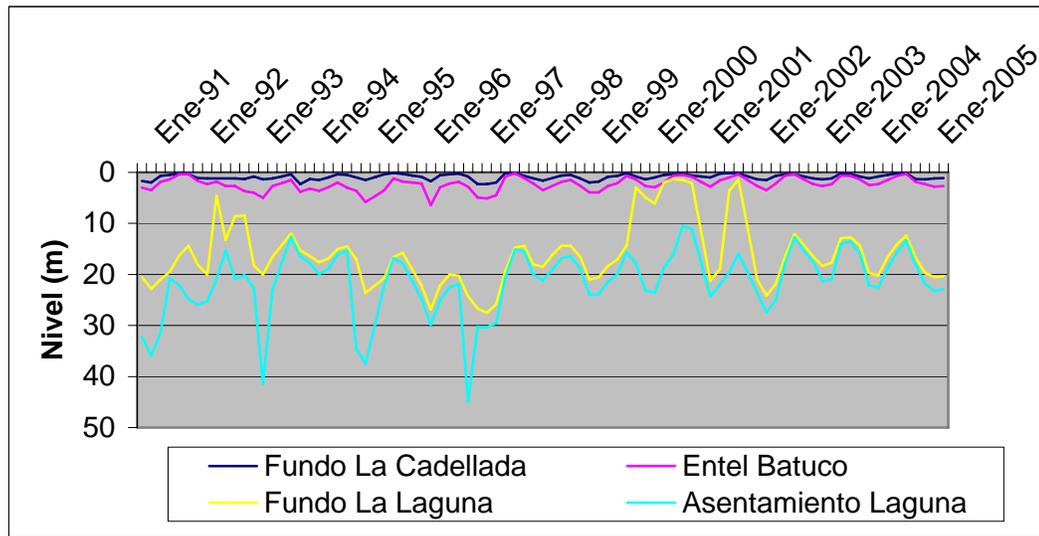
Tabla 4.5
Red de Monitoreo de Niveles DGA en la cuenca de Batuco

Código BNA	Nombre	Coordenadas UTM		Altitud (msnm)
		Norte (m)	Este (m)	
5734003	Fundo La Cadellada	6323966	333943	489
5734005	Entel Batuco	6321157	332124	485
5734006	Fundo La Laguna	6324369	329064	482
5734007	Asentamiento Laguna	6326161	329344	487

Como se puede apreciar en la Figura 4.18, los niveles presentan variaciones cíclicas anuales que van desde los 2 a los 20 m, con mínimos a fines del invierno y máximos al término del estiaje (abril), seguramente asociadas con las recargas en invierno, y las necesidades de agua para riego en las épocas de verano. También se puede ver un claro cambio a partir de 1999, donde las profundidades máximas en los pozos Asentamiento Laguna y Entel Batuco decrecieron, probablemente debido a una disminución de la explotación invernal. La estadística completa de estas 4 estaciones se encuentra en el ANEXO E.8.

Con la información de niveles es posible construir líneas de igual nivel piezométrico o curvas equipotenciales. De esta forma, como el flujo de las aguas subterráneas corre perpendicular a estas curvas, se pueden obtener los patrones de su movimiento, y también plantear teorías de posibles fuentes de recarga y descarga.

Figura 4.18
Niveles de la Red de Monitoreo DGA



4.4.4 Recarga, movimiento y descarga

En el ANEXO E.6 se puede ver el patrón de flujo del acuífero de la cuenca de Santiago Norte, mientras que a continuación se describen la recarga, movimiento y descarga de las aguas subterráneas en el área de estudio en particular.

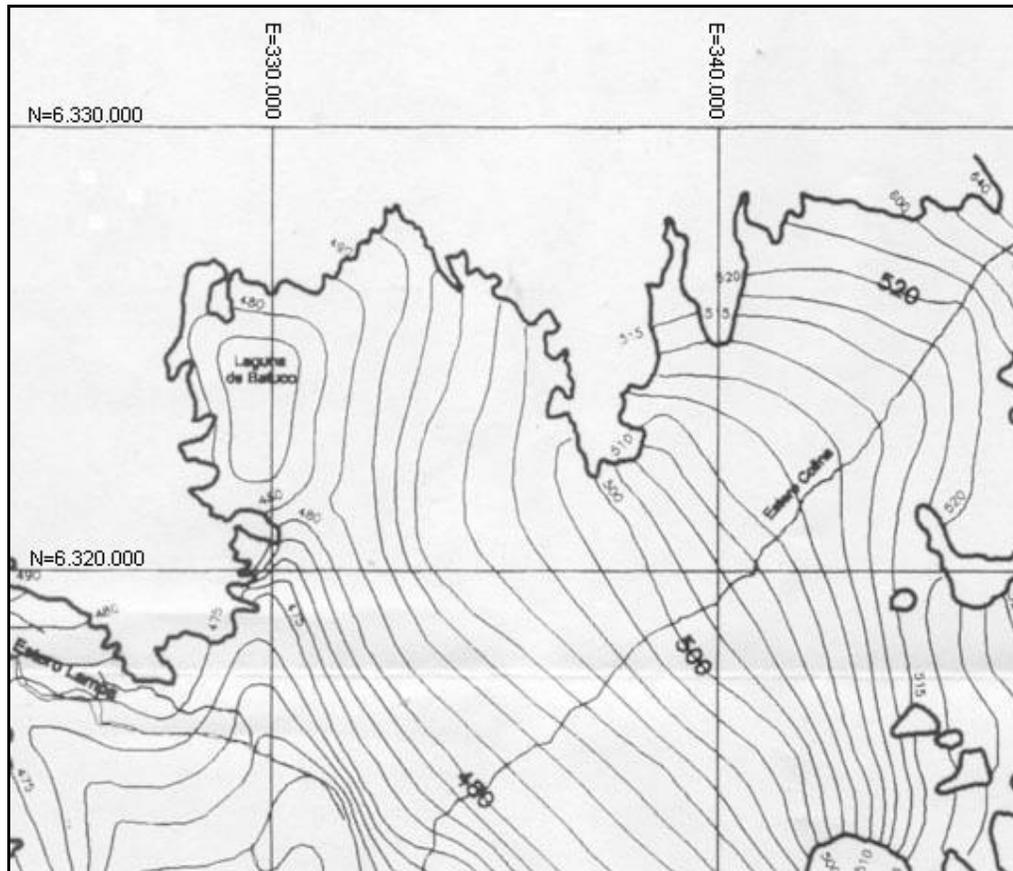
- **Recarga:** Las principales fuentes de recarga de la cuenca de Batuco son el agua subterránea proveniente de la cuenca del estero Colina, y la infiltración de las aguas de canales, de las aguas lluvias, del sistema de regadío y de la red de agua potable, alcantarillado y fosas sépticas. También existe posibilidad de recarga por el norte desde la meseta de Polpaico.

Debido a la cubierta arcillosa y al alto nivel de saturación de los suelos, la recarga del sistema acuífero por infiltración ocurre esencialmente en las cabeceras de la cuenca, en el relieve más elevado donde predominan sedimentos no consolidados de mayor permeabilidad (gravas y arenas).

- **Movimiento:** La Figura 4.19 y mapas de equipotenciales que se han realizado en el valle Maipo-Mapocho muestran que el movimiento de las aguas subterráneas en el área de estudio se produce prácticamente desde el oriente hacia el poniente en el lado este de la cuenca. Luego, parte del agua se dirige hacia la Laguna y sus alrededores, mientras que el resto diverge hacia el sur descargando en la cuenca del estero Lampa.

Según el mapa de equipotenciales, el valor del gradiente hidráulico en la zona de estudio es 0,3%. Utilizando la Ley de Darcy (Ecuación 3.3) con $K = 10^{-5}$ m/s se obtiene que la velocidad del agua que va hacia la Laguna es de 0,026 m/d.

Figura 4.19
Mapa de equipotenciales 1990 cuenca de Batuco y alrededores

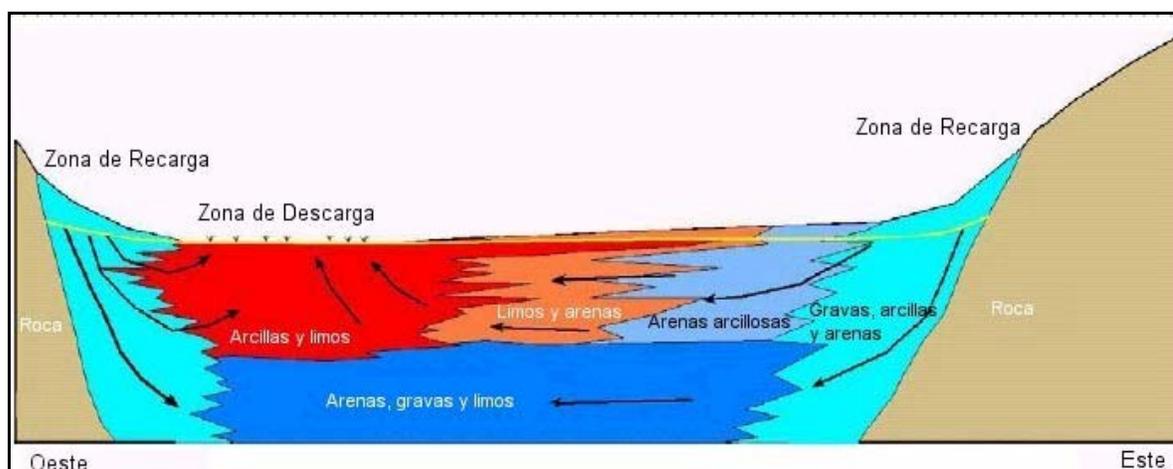


Fuente: DGA-AC, 2000.

- **Descarga:** Según Sotomayor (1964), está claro que la Laguna de Batuco no tiene conexión con el agua subterránea, ya que ella está presente a una profundidad que varía entre 4 y 7 metros, siendo la profundidad máxima de la Laguna del orden de 1 metro. Sin embargo, estudios posteriores (DGA-AC, 2000; Iriarte, 2003; Aguirre, 2005) afirman que la Laguna es una zona de descarga importante de la cuenca de Batuco. En este lugar el agua afloraría y luego se descargaría por sus efluentes y por evaporación. Otras descargas que tienen lugar en la zona de estudio son: evaporación desde los suelos y desde otras zonas de inundación, evapotranspiración de las plantas, agua subterránea que sale del área a través de la cuenca del estero Lampa y posiblemente mediante fallas en el flanco oriental de la zona de estudio, y descarga artificial a través de pozos y norias.

En la Figura 4.20 se aprecia la posible situación de las aguas subterráneas en un corte este-oeste del área de estudio en el sector de la Laguna de Batuco. En éste se muestran los lugares donde ocurren las principales recargas de agua por infiltración y su movimiento por las dos unidades estratigráficas hasta descargar en la Laguna. La línea amarilla representa el nivel freático. Aún cuando se ve una independencia entre el acuífero superior y el inferior, claramente existe una influencia de este último en la Laguna.

Figura 4.20
Posible situación de las aguas subterráneas en Batuco



Fuente: Aguirre, 2005.

CAPÍTULO 5:
TRABAJO DE TERRENO

ESTUDIO DE CASO:
LAGUNA DE BATUCO

CAPITULO 5: TRABAJO DE TERRENO

5.1 Actividades Realizadas

Entre marzo de 2006 y enero de 2007 se realizaron 7 actividades de terreno: 31 de marzo; 15 y 16 de abril; 31 de mayo; 1 de agosto; 1, 5 y 7 de septiembre; 6 de noviembre; y 18 de enero. El objetivo general de estas actividades fue complementar la línea base del capítulo anterior de modo de tener una evaluación preliminar completa de la Laguna y sus alrededores para diseñar una Red de Monitoreo adecuada. La distribución temporal de estas actividades intentó abarcar todas las situaciones hídricas del Humedal Laguna de Batuco.

Análisis y conclusiones parciales de los datos fueron realizados en 6 informes y una minuta que se encuentran en formato digital en el ANEXO H. En ellos se presentan además, todos los instrumentos y metodologías utilizadas.

Debido a que los informes se fueron entregando a medida que avanzaba la memoria, algunas de sus conclusiones no concuerdan con lo que aparecerá en este capítulo. Así mismo, algunos nombres que tomaron los diferentes lugares de la Laguna han ido cambiando. También, en esta memoria se le hicieron análisis diferentes a algunos datos con el objeto de adecuarlos al posterior diseño de la Red de Monitoreo.

5.2 Paisaje y Entorno

5.2.1 Catastro de actividades

En la Figura 5.1 se pueden ver todas las empresas catastradas en el terreno de noviembre. Éstas se encuentran junto con el cuerpo de agua registrado en agosto-septiembre.

Los nombres de todas estas actividades junto con otros datos importantes se encuentran en el Informe de Terreno del 6 de noviembre. En este catastro sólo se contabilizaron los terrenos sembrados menos comunes. Tampoco se tomaron en cuenta los loteos residenciales.

Existen algunas actividades que causan más riesgo en la Laguna, que otras. Esto se debe tanto a su proximidad al cuerpo de agua como al tipo de faenas que realizan. En la Tabla 5.1 se listan estas empresas con sus respectivos riesgos.

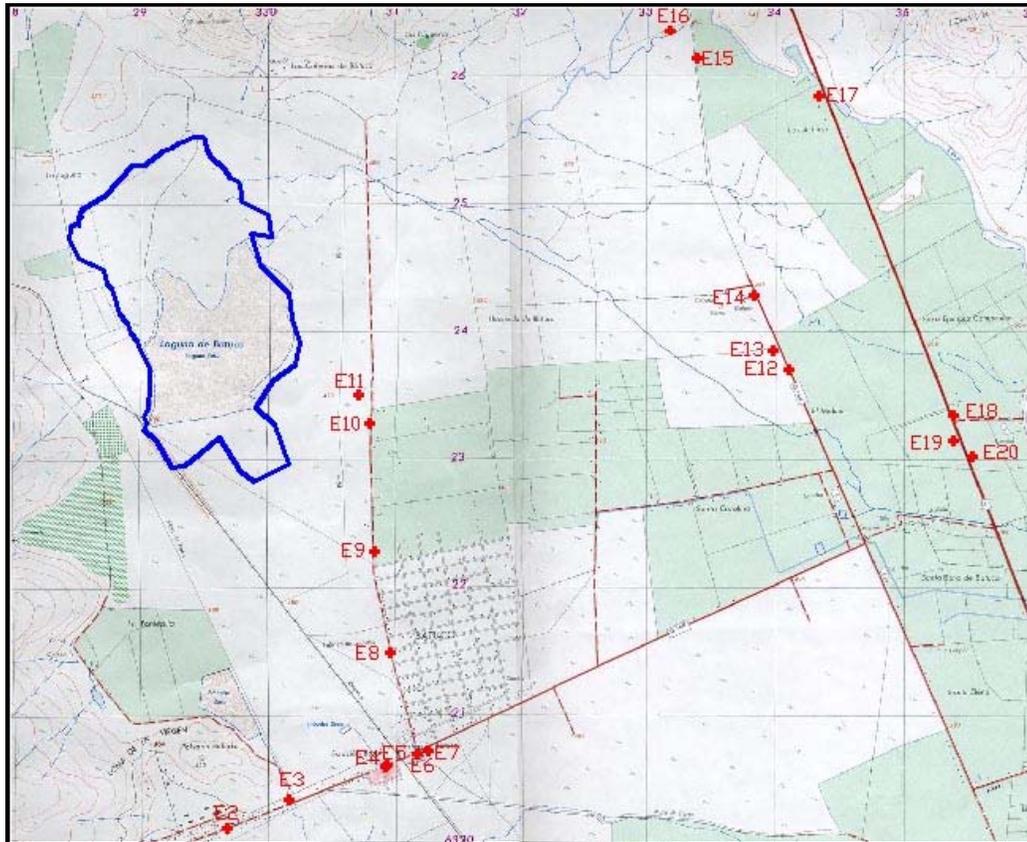
Tabla 5.1
Empresas importantes en el área de estudio, riesgos

Número	Descripción	Riesgos
E7	Futura bomba de bencina	Derrame de combustible hacia la napa.
E8 y E9	Fabricas de cerámicas	Intervenciones en la Laguna a través de pretilas y excavaciones.
E11	Bodegaje de petcoke	Contaminación por hidrocarburos de las aguas superficiales y subterráneas de la cuenca.

Tabla 5.1
Empresas importantes en el área de estudio, riesgos (continuación)

Número	Descripción	Riesgos
E13	PTAS La Cadellada	Efluentes con tratamientos defectuosos hacia la Laguna. Infiltración a la napa.
E18 y E20	Bombas de bencina	Derrame de combustible hacia la napa.

Figura 5.1
Catastro de empresas



Fuente: Fondo modificado de Carta IGM Batuco 1:25.000 de 1979 con Datum Sudamericano 1969.

Ciertos riesgos mencionados se transformaron en alteraciones durante los terrenos que se realizaron. Ejemplos de estas alteraciones se pueden ver en la Figura 5.2 y Figura 5.3.

Tanto la agricultura como la urbanización sin alcantarillado, presentes en gran parte de la cuenca de Batuco, son posibles fuentes de contaminación para la Laguna. Ambas actividades generan los principales aportes de nitrato a las aguas subterráneas de la Región Metropolitana. Además, los derrames de excesos de aguas de riego suelen aportar pesticidas, sales, materiales suspendidos y materia orgánica. Las actividades agrícolas y urbanas que se encuentran más cercanas a la Laguna se vieron en la Figura 4.3.

Otra actividad observada en distintos terrenos, y que causa alteración, es el corte de totra llevado a cabo al interior de la Laguna. Esta acción se ha visto en el sector norte

y cerca del Pretil Central de la Laguna. Conjuntamente, son frecuentes las actividades de pastoreo en la Laguna y caza en la cuenca. También se han visto personas pescando.

Figura 5.2
Charco de agua contaminada por petcoke. Al fondo está la Laguna



Figura 5.3
Descarga sin clorar en La Cadellada



5.2.2 Observaciones generales

- El suelo inundable del sector es blanquecino producto de sales depositadas. El suelo de la Laguna es por lo general bastante duro, pero sobre esta capa rígida existen depósitos muy finos. En las zonas donde no existe inundación el suelo se ve resquebrajado, sobretodo en la época estival.
- La vegetación presente en el Humedal es principalmente totora. Hacia el sector norponiente esta vegetación se torna seca y débil.
- En el área de estudio se apreció una enorme cantidad de fauna, sobre todo en el cuerpo de agua. Destacaron los avistamientos de garzas, cisnes de cuello negro y coipos. Se vio muy poca fauna muerta.
- En el efluente existía un fuerte olor a materia orgánica. Seguramente por el contacto del agua con la vegetación.
- En la Laguna por lo general no se vieron rastros de eutroficación. Sólo en el terreno de septiembre se observaron acumulaciones de algas en la Laguna Norte (Figura 5.4).

Figura 5.4
Acumulación de algas en la Laguna Norte



5.3 Morfología, Hidrología e Hidráulica

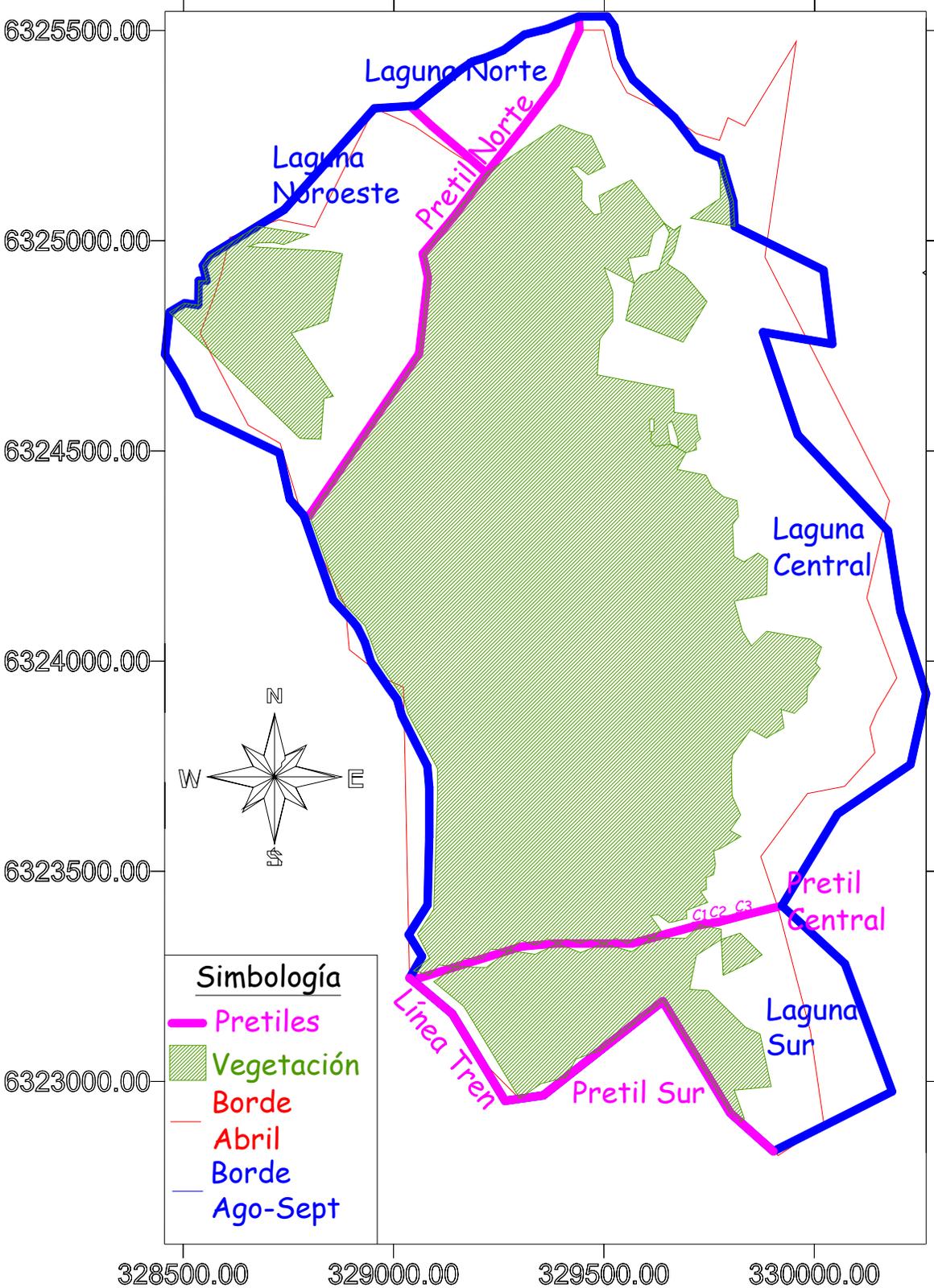
5.3.1 Cuerpo de agua

5.3.1.1 Extensión y áreas

Los bordes del cuerpo de agua fueron medidos en dos situaciones hídricas: en abril, siendo ésta una de las situaciones de máximo estrés hídrico, y en agosto-septiembre, luego del período de lluvias. Es importante destacar que en abril no se recorrió la totalidad del borde, por lo tanto la interpolación de éste no es exacta. Los pretiles, la línea del tren y la cobertura vegetal, fueron medidos completamente sólo en el terreno de septiembre. En la Figura 5.5 se puede apreciar la **extensión** de la Laguna de Batuco en estas dos situaciones.

Se comprobó que el espejo de agua de la Laguna de Batuco varía en extensión estacionalmente, siendo mayor después del período de lluvias, y que se encuentra limitado principalmente hacia el sur, por el Pretil Sur y por la línea del tren. La vegetación cubre gran parte de la Laguna de Batuco, situándose principalmente en su sector oeste y siendo una limitante inconsistente para el paso del agua. De hecho, los suelos del total suelen estar saturados o cubiertos por una altura de agua considerable. Por estas limitantes y por la topografía de la región es que los aumentos en extensión del espejo de agua se producen preferentemente hacia el este y hacia el norte. De hecho, en el terreno de agosto fueron observados importantes aumentos en la extensión de la Laguna en estos bordes, existiendo también sectores inundados en planicies hacia el este de la Laguna, pero no conectados con ésta (Figura 5.6). En enero en cambio, se pudo ver que la orilla oeste de la Laguna Sur estaba completamente seca (Figura 5.7). Siendo esta otra de las situaciones de máximo estrés hídrico.

Figura 5.5
 Extensión de la Laguna de Batuco



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5.6
Áreas inundadas al este de la
Laguna en el terreno de agosto



Figura 5.7
Orilla oeste Laguna Sur
en el terreno de enero



Dos Pretils: Norte y Central separan a la Laguna en cuatro partes casi independientes: Lagunas Noroeste (Laguna Norte-Norte y Laguna 1 en algunos informes de terreno), Norte, Central y Sur (Lagunas 2, 3 y 4 en algunos informes de terreno respectivamente). Para ejemplificar esta independencia, en abril la Laguna Norte, a diferencia de las otras Lagunas, se encontraba seca (Figura 5.8 y Figura 5.9). En cambio hay Lagunas cuyas aguas tienen una estrecha relación, como es el caso de las Lagunas Central y Sur que están conectadas por tres cortes en el Pretil Central: C1, C2 y C3, de 11, 9 y 8 metros respectivamente.

Figura 5.8
Laguna Norte en agosto



Figura 5.9
Laguna Norte en abril



A continuación, en la Tabla 5.2, se pueden ver las **áreas** del cuerpo de agua para cada una de las Lagunas y para la Laguna Completa. Como se dijo anteriormente, sólo en septiembre se recorrió la vegetación a cabalidad, y como ésta cambia estacionalmente, sólo fue posible hacer una diferenciación entre las áreas del espejo de agua y de la vegetación en este terreno.

Tabla 5.2
Áreas de la Laguna (ha)

Abril		Agosto-Septiembre	
LAGUNA COMPLETA			
Total	263,035	Total	280,439
		Vegetación	166,146
		Espejo	114,293
LAGUNA NOROESTE			
Total	31,452	Total	37,301
		Vegetación	11,228
		Espejo	26,073
LAGUNA NORTE			
Total	0	Total	6,527
		Vegetación	0
		Espejo	6,527
LAGUNA CENTRAL			
Total	203,361	Total	202,268
		Vegetación	137,517
		Espejo	64,751
LAGUNA SUR			
Total	28,164	Total	34,343
		Vegetación	17,401
		Espejo	16,942

Analizando la Tabla 5.2, el cambio en el área total de la Laguna Completa no es tan importante, sin embargo, es necesario recordar que en abril no se realizó un recorrido completo a la Laguna y que se tomaron afluentes y pretiles para completar la información lo que agranda notablemente el área del espejo. Otro aspecto que es posible apreciar es que en agosto-septiembre el 59% del área de la Laguna corresponde a total. También se puede concluir que la Laguna Central es la principal debido a su mayor tamaño (77% y 72% del área total en abril y agosto-septiembre respectivamente).

5.3.1.2 Batimetría y volúmenes

Mediciones de las **profundidades** del espejo de agua, se hicieron en los terrenos de abril y de septiembre. Sin embargo, en abril sólo se midió la profundidad en 16 puntos mal distribuidos, mientras que en septiembre la profundidad quedó registrada en 169 puntos distribuidos de mejor forma. Por lo tanto, sólo en septiembre se tiene un registro completo de batimetría pudiéndose interpolar así un mapa de isoprofundidades de la Laguna (Figura 5.10).

Debido a que las mediciones de profundidad fueron hechas sólo en los sectores sin vegetación, las curvas de isoprofundidad no son precisas para el total, sin embargo estas curvas pueden ser una buena aproximación.

limitar el agua con el pretil de la línea del tren, el aumento de la profundidad es violento. Lo mismo sucede cerca del Pretil Sur, donde las curvas tampoco deben ser las más representativas.

Los **volúmenes** totales del espejo de agua por Laguna para septiembre se presentan en la Tabla 5.3.

Tabla 5.3
Volúmenes espejos de agua para septiembre

Volumen espejo de agua (m3)	
Laguna Noroeste	83.279
Laguna Norte	15.943
Laguna Central	184.077
Laguna Sur	34.238
LAGUNA COMPLETA	317.538

El volumen de la Laguna Completa en septiembre, contabilizando la totora, resultó ser de **955.458 m³**. Por lo tanto, el volumen real de agua que contiene la Laguna de Batuco después de la época de lluvias debe estar entre medio de este valor y de los 317.538 m³.

La **profundidad media**, obtenida a partir de la Ecuación 3.1, es de **34 cm** no considerando la vegetación.

5.3.2 Escorrentía superficial

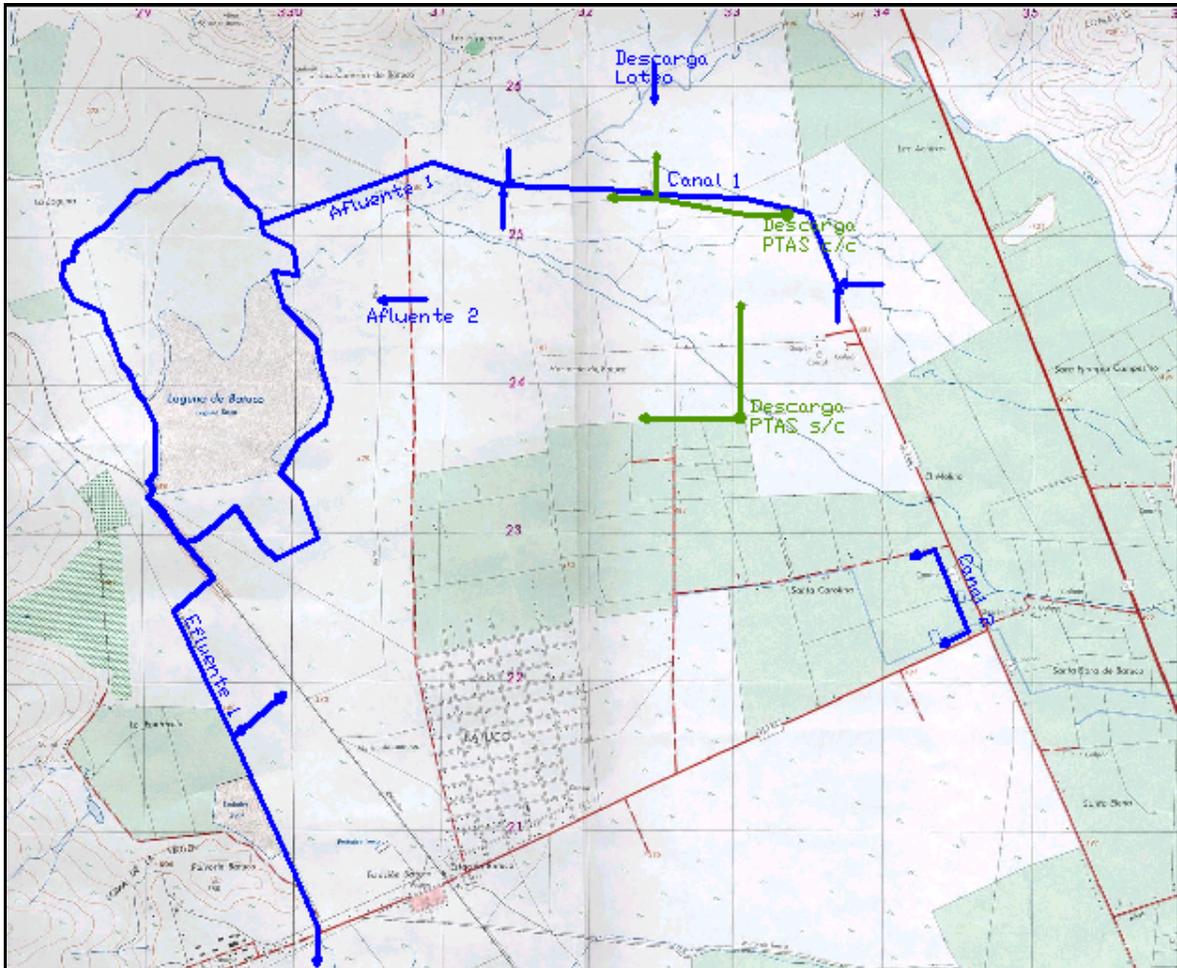
5.3.2.1 Flujos en la cuenca

Los flujos presentados en la Figura 5.11 fueron los que se encontraron al recorrer la cuenca el 6 de noviembre. En este terreno se trataron de identificar y seguir los afluentes y efluentes de la Laguna en su recorrido por la cuenca. Este objetivo no se logró completamente ya que la mayoría de los flujos no tenían una trayectoria clara. De hecho, debido a lo plano de la cuenca y a alteraciones se lograron observar varios apozamientos (Figura 5.12). Es por esta razón que no se pudo dar muchas veces con el origen ni con el fin de ciertos flujos de agua. Además, existían muchos canales pequeños, seguramente temporales, usados para riego.

Los flujos mencionados mostraron ser cambiantes debido a las malas canalizaciones, nuevas construcciones y alteraciones observadas en los canales y tuberías.

Se encontraron dos afluentes con escurrimiento de agua (Afluente 1 y Afluente 2) siendo el Afluente 1 el principal aporte de aguas hacia la Laguna, en esta época del año al menos.

Figura 5.11
Flujos principales en la cuenca de Batuco en noviembre.
Borde Laguna en agosto-septiembre.



Fuente: Fondo modificado de Carta IGM Batuco 1:25.000 de 1979 con Datum Sudamericano 1969.

Existen tres descargas de dos Plantas de Tratamiento de Aguas Servidas (PTAS). Una de éstas proviene de una pequeña Planta existente al interior del Condominio Mirador del Valle. Las otras dos son de La Cadellada. Esta Planta tendría una descarga oficial clorada y otra no clorada (Figura 5.3), ambas con canalizaciones bastante precarias (Figura 5.12). Aunque es muy probable que todas estas aguas residuales tratadas lleguen finalmente a la Laguna (a través del Afluente 1) no se pudieron seguir sus cursos completamente para poder probar esto.

Los dos ramales del Canal 2 seguramente, por sus ubicaciones, no son afluentes de la Laguna.

Figura 5.12 (abajo): Sector de apozamiento en la descarga clorada de La Cadellada.
Figura 5.13 (derecha): Zanjas realizadas entre terrenos de abril y mayo inmediatamente al norte del Afluente 1.



El Efluente 1 se reconoce como el principal de la Laguna. Se junta con un curso a la altura de Cerámica Santiago, sin tener claridad de si este curso de agua corresponde a afluentes o descargas de esta industria o a una entrega del canal Batuco.

Existen 3 compuertas en el Pretil Sur (Sur-Sur en algunos informes de terreno) de la Laguna, las cuales extraen aguas de la Laguna de modo de alimentar la zona de reparación de Cerámica Santiago. A los extremos este y sur de esta zona

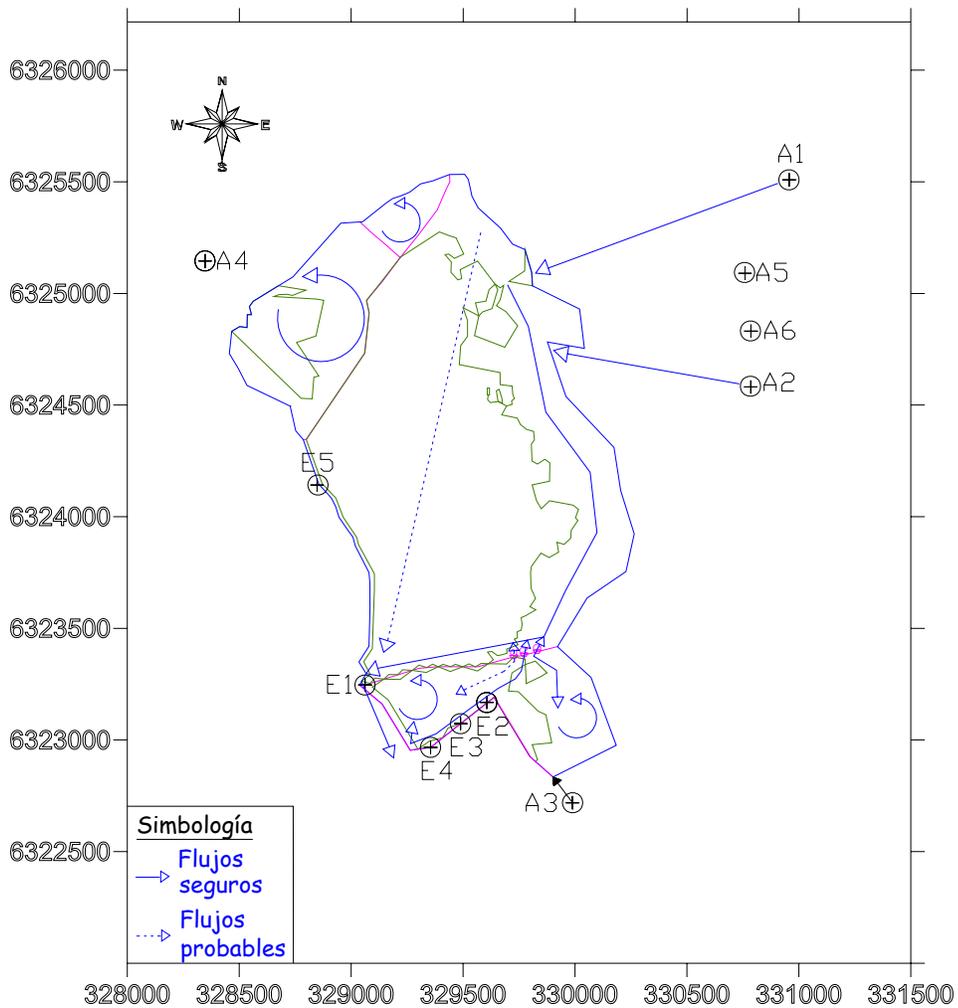
Al sur del Pretil Sur existen huellas de varias faenas de extracción de material. Se identificaron un nuevo pretil y 6 lagunas seguramente artificiales, distinguiéndose 3 lagunas pequeñas y 3 zonas de extracción grandes.

Según los afluentes y efluentes en donde se encontró flujo, los pretiles y la existencia o no de totora, se pudieron esquematizar los flujos seguros y probables en la Laguna (Figura 5.14). Estos podrán ser corroborados al analizar la calidad de sus aguas.

5.3.2.2 Afluentes y efluentes de la Laguna

En la Figura 5.14 se pueden ver todos los afluentes y efluentes de la Laguna de Batuco, identificados en terreno. Además, se pueden ver los flujos de agua seguros y supuestos al interior de la Laguna. Para representar la Laguna se uso el borde medido en agosto-septiembre por ser el más completo.

Figura 5.14
Afluentes, efluentes y esquema de flujos en la Laguna de Batuco



Fuente: Elaboración propia.

Detalles acerca de los puntos afluentes y efluentes se encuentran en los informes de terreno. No es necesariamente en estos lugares donde la Laguna recibe o aporta aguas sino que estos puntos se refieren a los lugares en donde se midieron o se hicieron observaciones sistemáticas de los caudales.

En la Tabla 5.4 aparecen los valores de los caudales medidos en cada uno de los terrenos. Observándose que en pleno período de lluvias (agosto) se calcularon los mayores caudales. En marzo y enero, en cambio, los caudales disminuyeron y muchos cursos venían sin agua. Esto se debe a que en primavera y verano casi toda el agua se usa en el riego. También se aprecia la importancia de los caudales A1 y E1 como aporte y descarga de la Laguna respectivamente.

Los caudales afluentes medidos, a excepción de lo que pasa en septiembre, siempre son mayores que los efluentes. Por lo tanto, deben existir otras descargas (por evaporación, evapotranspiración y aguas subterráneas) que permitan equiparar el balance hídrico. En enero esta diferencia se hace notable, existiendo más de 200 l/s de diferencia.

Tabla 5.4
Caudales en los puntos afluentes y efluentes (l/s)

Punto	Marzo	Abril	Mayo	Agosto	Septiembre	Noviembre	Enero
A1	C/F	645,8 (15)	217,6	688,4	256,9 (5)	C/F	227,8
A2	S/F	79,5 (15)	S/I	253,8	C/F (5)	C/F	S/F
A3	S/F	3,5 (16)	S/I	C/F	C/F (7)	S/F	S/F
A4	S/I	S/F (15)	S/F	S/F	S/F (1 y 5)	S/I	S/F
A5	S/F	S/F (16)	S/I	S/I	S/I	S/F	S/F
A6	S/F	S/F (16)	S/I	S/I	S/I	S/F	S/F
E1	C/F	143,7 (15)	147,9	705,9	318,7 (5)	307,6	~ 0
E2	S/I	C/F (16)	S/I	S/I	S/F (5)	S/F	S/F
E3	S/I	C/F (16)	S/I	S/I	S/F (5)	S/F	S/F
E4	S/I	S/F (16)	S/I	S/I	S/F (5)	S/F	S/F
E5	S/I	S/I (16)	S/I	S/I	S/F (5)	S/I	S/I

C/F: Con flujo.

S/F: Sin flujo.

S/I: Sin información.

() : Día en que se realizó la medición u observación.

5.3.2.3 Tiempo de residencia

El tiempo de residencia sólo se calculó para el volumen resultante entre las Lagunas Central y Sur en septiembre, ya que son éstas las que están conectadas a los afluentes y efluentes. El volumen de estas dos Lagunas depende de si se considera o no la totora. Así, si sólo se toma en cuenta el espejo de agua, el volumen de las Lagunas Central y Sur es de 218.315 m³, mientras que, si se toma en cuenta también el total, el volumen estas Lagunas es de 822.469 m³.

Utilizando el caudal efluente E1 aforado el 5 de septiembre igual a 318,7 l/s, se puede obtener un rango de tiempos de residencia que va entre **7,9 y 29,8 días**. El primer valor al menos se encuentra dentro del intervalo óptimo de tratamiento en humedales artificiales presentado en la parte 2.2.2.2. No es de extrañar entonces que en este humedal se lleven a cabo gran parte de las transformaciones y remociones posibles en este tipo de sistemas, generando así un real aporte para el tratamiento de las aguas de la cuenca.

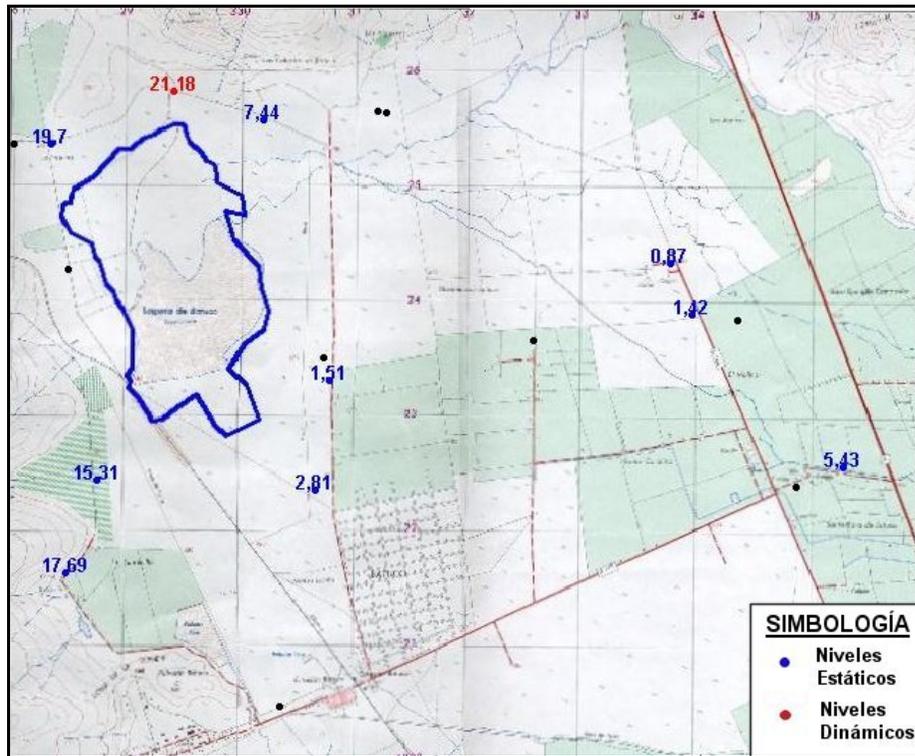
5.3.3 Aguas Subterráneas

En los terrenos de mayo y enero se visitaron un total de 19 captaciones, entre pozos y norias. Las más importantes para la Red de Monitoreo fueron visitadas dos veces. En los Informes de estos terrenos se puede ver más información de estas captaciones

En ambos terrenos se midió la profundidad de la napa en casi todos los pozos. Algunas veces los niveles fueron estáticos, otras veces dinámicos. En la Figura 5.15 y en la Figura 5.16 aparecen los niveles de ambos terrenos.

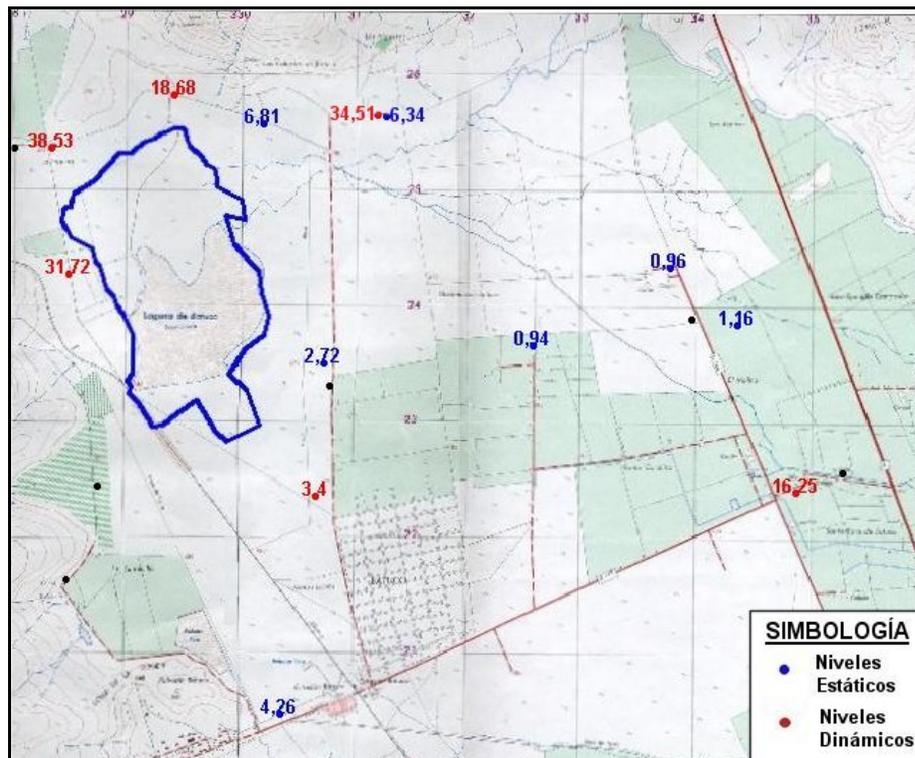
Se puede decir que en el sector oriente y sur de la Laguna las aguas subterráneas son muy superficiales, mientras que en el lado poniente y norte las profundidades son bastante mayores, esto debido principalmente a una mayor cota y a la extensiva explotación del recurso subterráneo.

Figura 5.15
Profundidades de la napa en mayo (m)



Fuente: Fondo modificado de Carta IGM Batuco 1:25.000 de 1979 con Datum Sudamericano 1969.

Figura 5.16
Profundidades de la napa en enero (m)



Fuente: Fondo modificado de Carta IGM Batuco 1:25.000 de 1979 con Datum Sudamericano 1969.

Comparando las situaciones de enero y mayo son notorias dos cosas: la disminución del nivel freático en la época estival; y la gran explotación que sufre el recurso hídrico subterráneo en verano sobre todo en el sector norponiente de la cuenca.

Debido a la poca información que se tiene sobre la profundidad y cribaje de los pozos, y a la gran cantidad de niveles dinámicos medidos sobretodo en enero, no se pueden obtener curvas equipotenciales de la cuenca. Sin embargo, analizando las cotas piezométricas del Informe de Terreno de mayo y de la Minuta de enero, las direcciones de los flujos subterráneos coinciden con los obtenidos de la Figura 4.19, es decir, de este a oeste. En estos trabajos existen más detalles al respecto.

5.3.4 Meteorología

El período de terrenos abarcó dos años hidrológicos distintos (2005-2006 y 2006-2007). Si bien no es una actividad de terreno, a continuación se hará un análisis de los datos registrados en la estación Santiago Quinta Normal, que es la que tiene más datos para este período, aún cuando no se encuentra tan cercana al área de estudio. Este análisis es importante para la evaluación preliminar ya que permitirá saber si los años hidrológicos en cuestión fueron secos, normales o húmedos.

Considerando como años secos a los años con precipitaciones anuales que están bajo la precipitación anual de probabilidad de excedencia 85%, como años húmedos a los que tienen precipitaciones anuales por sobre la precipitación anual de probabilidad de excedencia 20%, y como años normales a los que no pertenecen a ninguno de estos dos grupos (convención de la parte 3.3.4), se pueden usar los valores de la Tabla 4.2 para determinar si los años hidrológicos en que se hicieron los terrenos fueron secos, normales o húmedos.

Tabla 5.5
Análisis de precipitación anual (mm)

Probabilidad de excedencia 20%	424,7
Probabilidad de excedencia 85%	179,5
Precipitaciones anuales 2005-06	417,4
Precipitaciones anuales 2006-07	355,4

Según lo visto en la Tabla 5.5, los dos años hidrológicos en cuestión fueron años normales.

5.4 Calidad del Agua

En esta sección se expondrán los resultados más importantes para el objetivo de esta memoria, obtenidos de los muestreos realizados en terreno, tanto en aguas superficiales como subterráneas. Se utilizarán normas, guías o estudios con rangos y límites de la Tabla 3.4 y ANEXO G (digital) para ver cómo se encuentran los distintos parámetros de estas muestras. Sin embargo es sumamente importante destacar que estos rangos o valores límites no tienen porque ser aplicables a la realidad particular del Humedal Laguna de Batuco, por lo tanto sólo servirán de guía.

No es objetivo de esta memoria analizar en profundidad las causas y consecuencias de los valores de cada uno de los parámetros. Análisis más acabados serán realizados por Mellado (2007).

5.4.1 Aguas superficiales

A continuación se hablará de los estudios realizados en los 3 compartimientos de la Laguna y en sus afluentes y efluentes principales. En ellos fueron encontradas diferencias claras entre las distintas partes de la Laguna de Batuco y también algunas relaciones importantes entre los parámetros medidos.

5.4.1.1 Columna de agua

Este compartimiento fue muestreado en extenso en las campañas de abril y septiembre. En el terreno de agosto en cambio, sólo se hizo un muestreo de cloruros y turbiedad en él. Debido a su extensión, el análisis completo de los resultados de cada uno de estos terrenos se encuentra en el ANEXO F, mientras que en la Tabla 5.6 y a continuación de ésta se puede ver un resumen de estos resultados.

Tabla 5.6
Resumen resultados columna de agua

Parámetros	N	Promedio	Mínimo	Máximo
T (°C)	93	18,4	9,5	30
pH	93	8,4	7,3	10,3
CE (uS/cm)	90	1964,4	1140	11040
Turbiedad (UNT)	26	26,2	5,1	76,9
OD (mg/l)	14	5,9	3	9,3
Cloruros (mg/l)	11	274,4	171	400
Clorofila a (mg/l)	11	0,1	<0,03	0,1
N-NO3 (mg/l)	7	15,5	<0,05	33
N-NO2 (mg/l)	7	2,2	<0,1	5,4
N-NH3 (mg/l)	7	2,7	0,3	6,2
N K (mg/l)	7	6,7	4,3	8,5
Norg (mg/l)	7	4,0	1,9	7,8
N Total (mg/l)	7	21,9	5,4	41,5
P total (mg/l)	7	3,2	0,8	6,6
DBO ₅ (mg/l)	7	14,6	4	35
DQO (mg/l)	7	40,3	9	131

Aparte de estos resultados están los referentes a sólidos y a metales pesados. En éstos sólo destacan las altas concentraciones de boro, arsénico y molibdeno de una muestra tomada de las aguas de la Laguna Noroeste.

a) Comparación con línea base y estándares

Existen pocos trabajos sobre la calidad de las aguas en la Laguna. La temperatura, el pH y la conductividad eléctrica medidas en los estudios llevados a cabo por la RAUCH (2005) y por Florenzano (2006) concuerdan con los muestreos de esta memoria, como también un muestreo de sólidos disueltos y cloruros hecho por Sotomayor en 1964. En

este mismo muestreo, la concentración de NO_3 fue de 4 mg/l, bastante por debajo de los resultados de este trabajo.

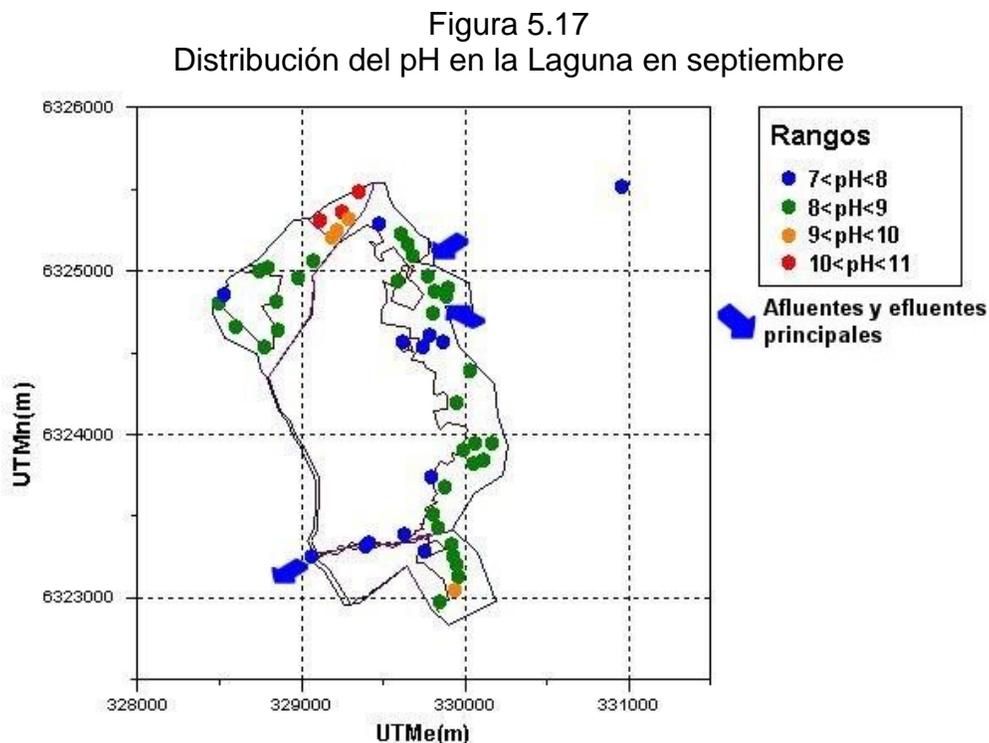
La temperatura, el pH y el oxígeno disuelto están dentro de lo normal según estándares nacionales e internacionales. En cambio la conductividad eléctrica se encuentra por encima de éstos mostrando aguas más bien salobres.

La turbiedad, que muestra una relación con el disco Secchi, se encuentra dentro de los estándares para humedales australianos pero por sobre la norma de vida salvaje de Minnesota. Los cloruros, que muestran una buena relación con la conductividad eléctrica, superan todos los rangos nacionales e internacionales.

Los parámetros de estado trófico están por encima de casi todos los límites. De hecho, los estándares internacionales de nutrientes en humedales miden sus parámetros en $\mu\text{g/l}$, es decir son ordenes de magnitud más bajos que los rangos encontrados en la Laguna de Batuco.

b) Distribución espacial

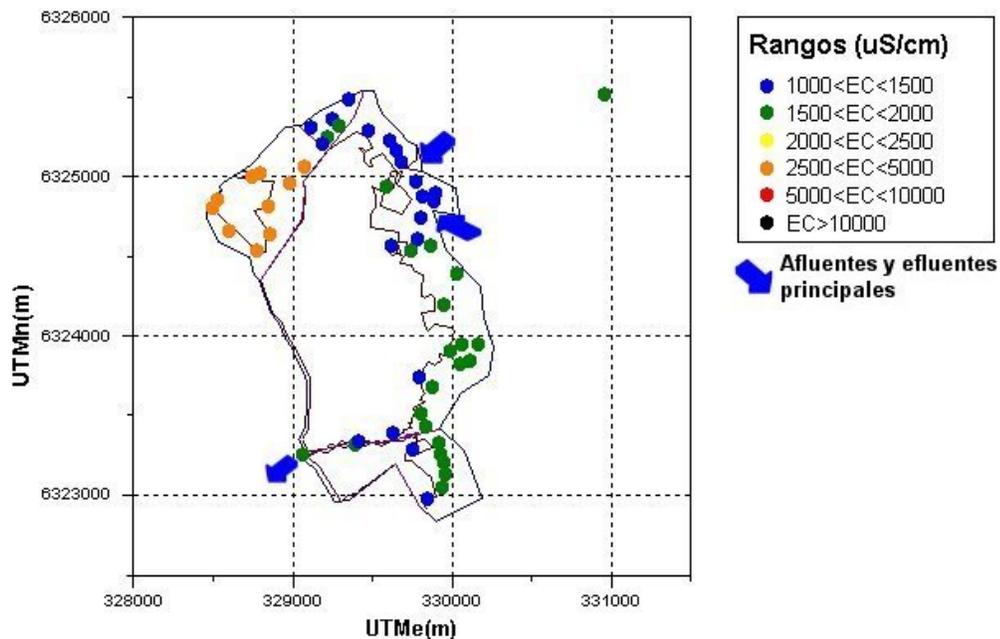
La distribución horizontal no es uniforme en la Laguna, esto debido principalmente a los pretilles que separan este cuerpo de agua. Utilizando la caracterización fisicoquímica de la campaña de septiembre (Figura 5.17 y Figura 5.18) es posible visualizar lo anterior.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5.18

Distribución de la conductividad eléctrica en la Laguna a 25°C en septiembre



Fuente: Elaboración propia.

La distribución del pH muestra como la Laguna Norte se separa de las otras Lagunas, mientras que la distribución de la conductividad eléctrica evidencia una separación de la Laguna Noroeste. En cambio las Lagunas Central y Sur funcionan como un solo cuerpo de agua, seguramente por los cortes que tiene el pretil que las separa. Eso sí, en el terreno de abril se pudieron ver singularidades en el margen oeste de la Laguna Sur.

La misma distribución se puede ver si se comparan los nutrientes, DBO₅ y DQO, pero las concentraciones de estos parámetros varían de acuerdo a transformaciones químicas también.

La distribución vertical en cambio es bastante uniforme según perfiles verticales de temperaturas y conductividad eléctrica realizados en septiembre.

c) Distribución temporal

c.1) Caracterización fisicoquímica

Para complementar la información de este análisis se expondrán los valores obtenidos en marzo y se utilizarán los de agosto que se presentan más adelante. La temperatura en el terreno de marzo varió entre 22,5 y 26,5°C, siendo parecida a la temperatura de abril. Luego, en agosto y septiembre la temperatura como era de esperar bajó. Con respecto al pH, en todo tiempo fue básico, debido a la geología principalmente. En marzo los valores de pH variaron entre 7,91 y 8,52. En el resto de los terrenos los valores siempre se mantuvieron entre 7 y 9 a excepción de lo ocurrido en abril en la Laguna Noroeste, en donde el pH subió sobre 9, y en septiembre en la Laguna Norte, en donde el pH subió incluso sobre 10 debido a la eutroficación. En cuanto a la conductividad eléctrica, en marzo esta varió entre 1140 y 1462 uS/cm creciendo hacia

el efluente. En abril en cambio, muchos puntos de la Laguna ubicados principalmente en el borde oeste de la Laguna Central y en la Laguna Sur mostraron una conductividad muy alta. En los puntos muestreados en agosto este parámetro bordeó los 2000 uS/cm, mientras que en septiembre en el único lugar donde el agua superó este último valor fue en la Laguna Noroeste.

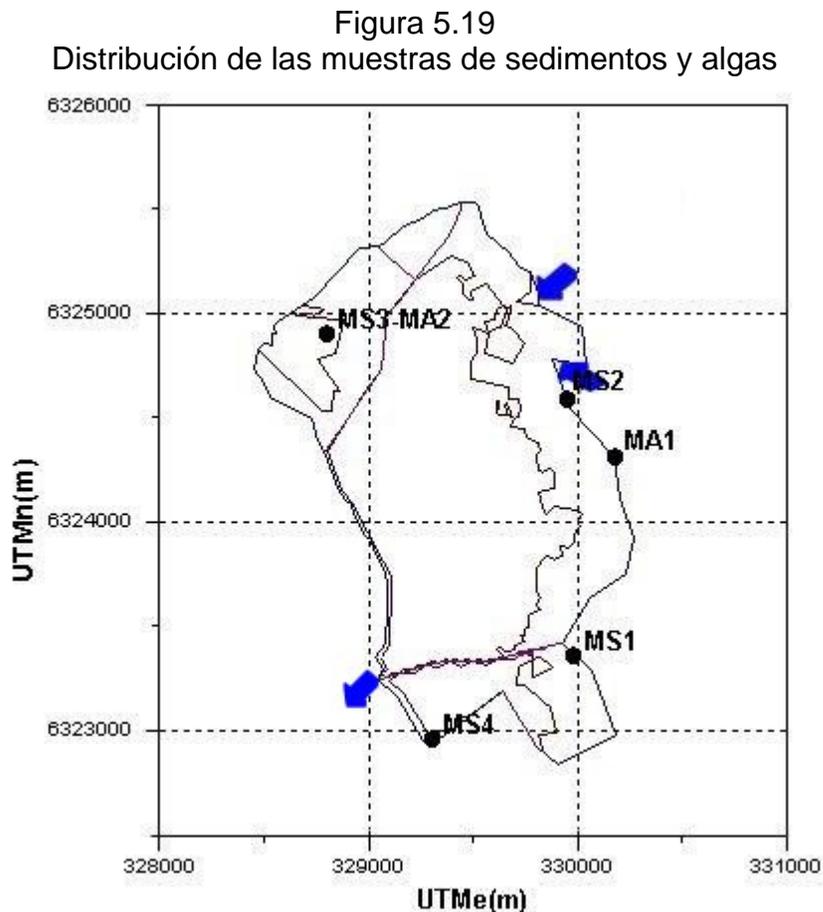
c.2) Estado trófico

Concentraciones de nitrógeno altas en abril y bajas en septiembre denotan una mayor recarga interna de este nutriente, el cual se diluye con las lluvias. Al contrario, el fósforo aumenta con las lluvias, lo que significa que proviene de una fuente externa más que de una interna. Todo lo anterior es anormal pensando en los ciclos de estos elementos.

c.3) Turbiedad

Comparando las turbiedades de muestras recolectadas en agosto con las recolectadas en septiembre existe un aumento en el tiempo en algunos puntos de la Laguna ubicados en la Laguna Noroeste y Central.

5.4.1.2 Material particulado



Fuente: Elaboración propia.

En el terreno de agosto se hizo un muestreo de sedimentos en 4 puntos de la Laguna (Puntos MS1 al MS4 en la Figura 5.19). En estas muestras fueron medidos los elementos traza que se encontraron importantes y que eran factibles de hacer. In situ fueron medidos la temperatura y el pH.

Tabla 5.7
Muestreo de metales en sedimentos

Muestra ^(a)	MS1	MS2	MS3	MS4
UTMn (m)	6.323.356	6.324.581	6.324.895	6.322.954
UTMe (m)	329.979	329.945	328.803	329.304
T° (°C)	-	11.1	10.5	-
pH	-	7.74	8.58	-
Hora	-	13:08	18:00	-
As	22	18	26	42
Ba	383	426	328	305
Be	<2	<2	9,5	<2
Co	20	22	21	19
Cr	126	135	62	67
Cu	126	136	167	63
Mn	857	1121	968	1015
Mo	2,3	1,9	2,0	17,4
Ni	24	26	30	25
P	1065	1088	1445	1165
Pb	22	17	24	28
V	172	165	134	146
Zn	96	99	108	126

^(a) Correspondientes a las muestras M2, M5, M9 y M10 del Informe de Terreno de agosto respectivamente.

Comparando las muestras de elementos traza unas con otras no se puede encontrar una relación uniforme. Destacan los valores altos de la muestra MS4 en molibdeno y arsénico, y los valores altos de la muestra MS3 en berilio y fósforo. La muestra MS4 tiene un valor bajo en cobre, mientras que los valores de cromo en las muestras MS1 y MS2 superan por el doble a los valores de las otras dos muestras. Esto último se puede deber a que el cromo puede quedar atrapado en la vegetación. Además, no existe detección en plata, antimonio, selenio, cadmio, y en tres de las cuatro muestras en berilio. Como era esperable para este tipo de sistemas acuáticos existe una enorme diferencia entre los elementos existentes en las aguas, analizados anteriormente, y los elementos en los sedimentos, esto se debe a la acumulación de éstos en este compartimiento. El molibdeno, que era uno de los elementos excedidos en el agua, también tiene un valor alto en los sedimentos, sin embargo este valor se encuentra en la Laguna Sur y no en la Noroeste como era de esperar.

Ni siquiera en las normas internacionales sobre humedales existe algo acerca de estos metales pesados en los sedimentos. En este caso no se pueden comparar unos metales con otros ya que cada metal puede tener una presencia natural distinta en los sedimentos. De hecho, es sabido que el fósforo se acumula en grandes cantidades en los sedimentos de los humedales, por lo tanto, los altos valores encontrados pueden ser completamente normales, sobretodo si se toma en cuenta la influencia de la PTAS La

Cadellada, de la agricultura y de las plantas en decaimiento. Eso si, se pueden utilizar los rangos de valores que se encuentran en formato digital en el ANEXO G.3 para al menos tener una idea sobre concentraciones de metales pesados en sedimentos encontrados en el Humedal Laguna de Batuco. En este ANEXO se describen 4 fuentes de información: Estudios de la EPA en humedales depresionales de Minnesota (1), Criterios de la OMS para sistemas acuáticos en general (2), Libro Wetlands (3) y Valores límites de Nadiq para ambientes marinos (4). Siendo estos dos últimos límites no aplicables a la situación de Batuco. A continuación se compararán cada uno de los elementos con los valores de estos estudios:

- **Arsénico:** Según los estudios de la EPA (1) la Laguna de Batuco se encontraría un orden de magnitud por sobre los humedales depresionales de Minnesota. Sin embargo, la OMS (2) da un rango promedio que va desde los 5 a los 3000 mg/kg, con los niveles más altos ocurriendo en sitios contaminados.
- **Cobre:** Según los estudios de la EPA (1) la Laguna de Batuco se encontraría bastante por sobre los promedios de los humedales depresionales de Minnesota.
- **Níquel:** Las concentraciones de este metal son mayores, aunque comparables, a los detectados en Minnesota (1).
- **Fósforo:** De acuerdo a la EPA (1) estos valores son normales para humedales agrícolas como el de Batuco.
- **Plomo:** Las concentraciones sobrepasan los promedios en humedales agrícolas pero no sobrepasan los promedios en humedales urbanos (1). Debido a las actividades presentes alrededor de la Laguna también podría ser considerada un humedal urbano.
- **Zinc:** Según los estudios de la EPA (1), el Humedal Laguna de Batuco estaría dentro del orden de los humedales agrícolas en Minnesota y estaría por bajo de los humedales urbanos en este mismo estado norteamericano.

5.4.1.3 Organismos vivos

En este aspecto, se midieron microalgas en dos puntos de la Laguna (Puntos MA1 y MA2 en la Figura 5.19). Las muestras fueron tomadas en el terreno de agosto y se recolectaron en duplicado (con fijador y sin fijador). Los parámetros fisicoquímicos generales fueron analizados en terreno.

Tabla 5.8
Características de las muestras para análisis de microalgas

Muestra ^(a)	MA1	MA2
UTMn (m)	6.324.310	6.324.895
UTMe (m)	330.174	328.803
T° (°C)	9,5	10,5
pH	8,45	8,58
CE (uS/cm)	1.930	2.390
Hora	12:25	18:00

^(a) Muestras M4 y M9 del Informe de Terreno de agosto respectivamente.

Los resultados indican que la muestra MA1 tenía 11.200 organismos por litro, mientras que la muestra MA2 tenía sólo 554 organismos por litro. Claramente esta diferencia no

se debe a un efecto de la temperatura, el pH o la conductividad, ya que estos valores son muy parecidos para ambas muestras. Sin embargo, la gran cantidad de vegetación presente en la zona de la muestra MA2 puede explicar esto.

Los géneros de algas por orden de frecuencia para ambas muestras se encuentran en la Tabla 5.9 y Tabla 5.10.

Tabla 5.9
Microalgas en la muestra MA1

Género	Frecuencia	Clase
Chlorella	+++	Alga Verde
Centronella	++	Diatomea
Synedra	++	Diatomea
Scenedesmus	++	Alga Verde
Navicula	+	Diatomea
Asterionella	+	Diatomea
Ankistrodesmus	+	Alga Verde
Cymbella	+	Diatomea

Tabla 5.10
Microalgas en la muestra MA2

Género	Frecuencia	Clase
Chlorella	++	Alga Verde
Centronella	+	Diatomea
Scenedesmus	+	Alga Verde

Los signos + en la columna Frecuencia significan ordenes de magnitud. Los resultados corresponden a muestras con fijador.

Se detectó la presencia de 2 clases de algas: Algas Verdes (Chlorophyta) y Diatomeas (Bacillariophyta). Se aprecia que en ambas muestras predominan Chlorella (Alga Verde) y Centronella (Diatomea).

Todo lo anterior coincide en parte con el estudio de la Red Ambiental de la Universidad de Chile (RAUCH) (Rodríguez, Canales, Ibarra, 2005). En este estudio se encontraron Phacus, la cual acá no fue encontrada. Al igual que en ese estudio, fueron encontrados varios crustáceos del subgénero Daphnia.

5.4.2 Aguas subterráneas

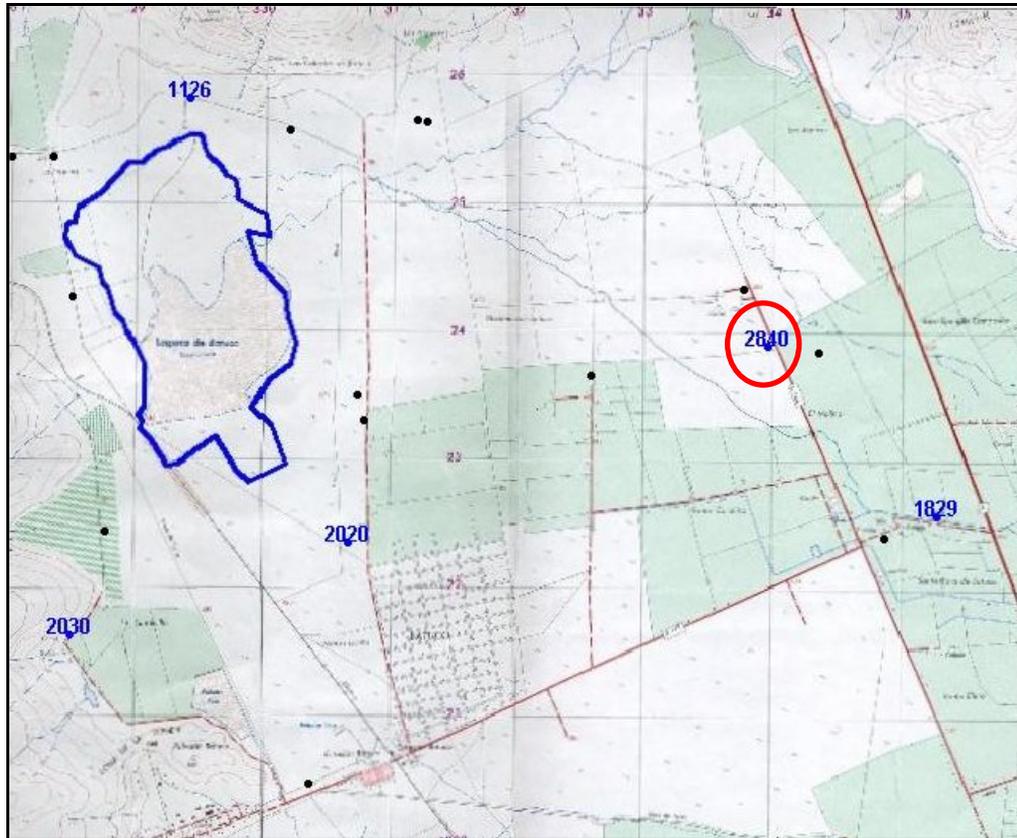
Se hizo una caracterización fisicoquímica del agua subterránea de la cuenca en los terrenos de mayo y enero, midiendo temperatura, pH y conductividad eléctrica en algunas de las 19 captaciones presentadas en la parte 5.3.3.

Tabla 5.11
Rangos de calidad de aguas subterráneas

Parámetro	Mayo	Enero	Rango natural
Temperatura (°C)	14,2 – 21,5	22,3 – 27,5	10 – 20
pH	7,26 – 7,74	7,01 – 7,72	6,5 – 8,5
Conductividad (uS/cm)	1126 - 2840	1072 - 4620	100 – 1000

La salinidad por lo tanto, va aproximadamente entre 800 y 1600 mg/l en mayo y entre 300 y 2800 mg/l en enero.

Figura 5.20
Distribución de la conductividad eléctrica (uS/cm) en mayo



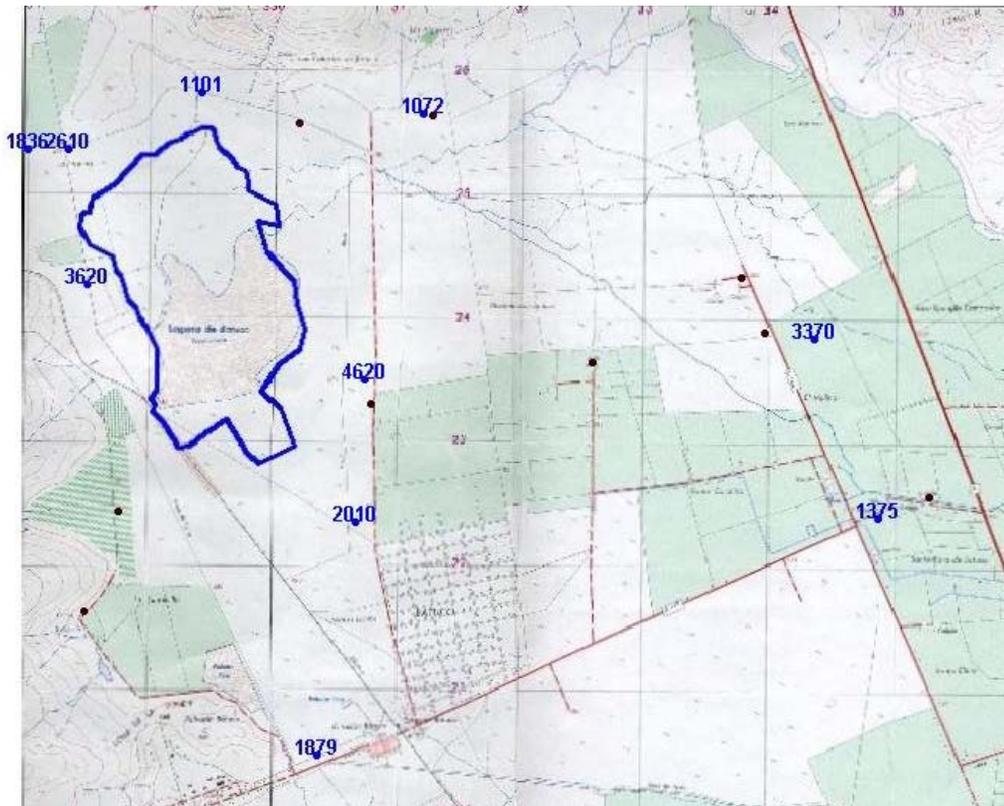
Fuente: Fondo modificado de Carta IGM Batuco 1:25.000 de 1979 con Datum Sudamericano 1969.

Las temperaturas aumentaron, como era de esperar, entre mayo y enero, encontrándose ambos rangos por sobre los valores naturales de la Tabla 3.4. El pH en cambio, no muestra una fluctuación notoria y tampoco supera el rango natural. En cuanto a la conductividad eléctrica, su variabilidad es alta y se encuentra muy por sobre los valores naturales. A partir de este parámetro se puede decir que el agua subterránea de Batuco va de dulce a salobre.

Observando la Figura 5.20, se puede ver que en mayo existió una singularidad en el pozo encerrado en el círculo rojo, ya que su conductividad era muy alta en comparación con el resto de los pozos.

En enero se pudieron ver varios puntos de conductividad alta, sobretodo en línea con la coordenada UTMn 6.324.000 m. Esta coordenada coincide con la ubicación de La Cadellada que puede estar contaminando esta agua. Otro aspecto relevante es que en el Fundo La Laguna hubo valores bastante variables, aumentando principalmente de norte a sur. Por último, las aguas tomadas de los dos acuíferos (profundo y somero) no muestran diferencias notorias.

Figura 5.21
Distribución de la conductividad eléctrica en enero (uS/cm)



Fuente: Fondo modificado de Carta IGM Batuco 1:25.000 de 1979 con Datum Sudamericano 1969.

Si se comparan las conductividades de mayo y enero se puede ver que estas últimas son en general mayores, sin embargo, existen pozos que mantienen sus valores o que, en relación con el resto, se mantienen altos.

CAPÍTULO 6:

DISEÑO DE LA RED DE MONITOREO

**ESTUDIO DE CASO:
LAGUNA DE BATUCO**

CAPITULO 6: DISEÑO DE LA RED DE MONITOREO

6.1 Generalidades

Como ya se ha mencionado, la Red de Monitoreo de Recursos Hídricos para la Laguna de Batuco tiene como objetivo fundamental la detección de impactos ambientales que puedan perturbar este ecosistema en el corto y en el largo plazo. Por lo tanto, para cada uno de los grupos de variables se nombrarán y describirán todos los aspectos del monitoreo diseñado, dando las razones que llevaron a él. Esta Red de Monitoreo será la que se implementará con el FPA adjudicado por “El Totoral de Batuco”.

Un aspecto importante en la Red de Monitoreo son los valores límite, y las acciones de respuesta. Por esta razón estos aspectos se expondrán aparte. Debido a que no existe información suficiente para establecer límites precisos de los parámetros a medir, éstos serán aproximados o cualitativos. Sólo después de 5 años de mediciones continuas se podrá tener suficiente información para poder realizar un análisis estadístico que permita determinar límites precisos de cada uno de los parámetros. Aún cuando no es una situación ideal, la situación actual de la Laguna se considerará como la de un ecosistema sano, utilizando los valores de los terrenos como una línea base.

Además, debido a que la evaluación realizada en el capítulo anterior no se encuentra completa se propondrá una evaluación complementaria a ésta, que se realizará en lo posible durante los primeros años de funcionamiento de la Red de Monitoreo. De esta forma el monitoreo actual no será el definitivo, teniendo luego que ajustarse.

Otros dos asuntos que se resolverán también en este capítulo, será el definir criterios preliminares para la Laguna, determinados según los estándares nacionales e internacionales, y dar recomendaciones para un monitoreo adicional que se podrá agregar a la Red de Monitoreo en el futuro si es que se cuenta con los recursos y se estima que es necesario.

Finalmente, se expondrán los posibles actores de la Red.

6.1.1 Clasificación de la Laguna

Antes de empezar con el diseño de la Red de Monitoreo para la Laguna, es importante clasificarla según las clasificaciones que se vieron en la parte 2.3. De esta forma sólo se utilizarán las técnicas de monitoreo en humedales que correspondan a Batuco.

Según la clasificación hidrogeomórfica la Laguna de Batuco sería un **sistema depresional**, abierto y con una fuente de alimentación principalmente superficial. Los otros tipos de humedales no corresponden ya que están en márgenes de lagos, mares o ríos; en pendientes; o alimentados sólo por lluvias.

Según la clasificación del FWS este Humedal no queda tan bien clasificado ya que no es dependiente de un lago, un río o del mar. Tampoco es un sistema pantanoso como lo es el palustre. Sin embargo, si es necesario clasificar de alguna forma a la Laguna de Batuco, es según un **humedal de tipo lacustre** porque este Humedal es un lago.

Específicamente, la Laguna tiene una cobertura de aguas superficiales y vegetación persistente, y está permanentemente inundada.

6.2 Paisaje y Entorno

6.2.1 Catastro de actividades

Evaluación preliminar complementaria:

- Llevar a cabo un catastro completo de las empresas existentes en la cuenca y de los proyectos a realizar, analizando sus procesos productivos y seleccionando las actividades que puedan amenazar a la Laguna. De esta manera se podrá completar el catastro de empresas que causan más alteraciones o riesgo en el Humedal, realizado anteriormente en la parte 5.1.1.

Una vez cada año (marzo), se recorrerán las actividades del catastro, realizándose observaciones acerca de su funcionamiento y fijándose en los riesgos mencionados para cada una de ellas en la Tabla 5.1. Se vigilará también la instalación de nuevas empresas. Hasta este momento las actividades más susceptibles a causar daños son:

- PTAS (E13)
- Fabricas de cerámica (E8 y E9)
- Bodegaje de petcoke (E11)
- Bombas de bencina (E17, E18 y E20)
- Agricultura y urbanización sin alcantarillado
- Corte de totora
- Pastoreo en la Laguna
- Caza y pesca.

Sus nombres, ubicaciones y características principales fueron descritos en el Informe de Terreno de noviembre.

Límites y acciones de respuesta

De existir algún cambio importante que pueda afectar a la Laguna, se estudiará aumentar la frecuencia y la densidad espacial del monitoreo en las cercanías de la actividad peligrosa, midiendo principalmente los parámetros que dicha empresa pueda alterar. Además, se advertirá a las autoridades correspondientes de modo de que fiscalicen y sancionen de ser necesario y posible.

6.2.2 Observaciones generales

Las observaciones generales se dividirán en dos temas:

- Observación de eventos especiales presentes en la cuenca como: Construcción o demolición de pretiles o canales, creación de más lagunas, basura o contaminantes, nuevos pozos, etc.

- Vigilancia de efectos de las alteraciones en la Laguna y en sus cercanías como: Reducción vegetal o muerte de fauna.

Estas observaciones las podrá realizar cualquier entidad al hacer sus visitas respectivas. De esta manera se podrá tener un control frecuente y directo de las alteraciones que ocurren en la Laguna y sus alrededores. Para esto es necesario que exista una unidad coordinadora que reúna toda esta información, evaluando la existencia de riesgo para este ecosistema.

Es importante medir las coordenadas con GPS y tomar fotografías de las singularidades observadas.

Límites y acciones de respuesta

Si es que algún evento especial observado en la cuenca presenta algún riesgo para la Laguna, se tomarán las medidas que sean necesarias para revertir rápidamente este problema y para que no se vuelva a repetir. Si esto no es posible se estudiará aumentar la frecuencia y la densidad espacial del monitoreo en las cercanías del foco de riesgo.

Efectos como una mortandad de fauna deberán ser advertidos inmediatamente a las autoridades correspondientes, en este caso al SAG, de manera de que ellos actúen con prontitud, evitando así una propagación del problema.

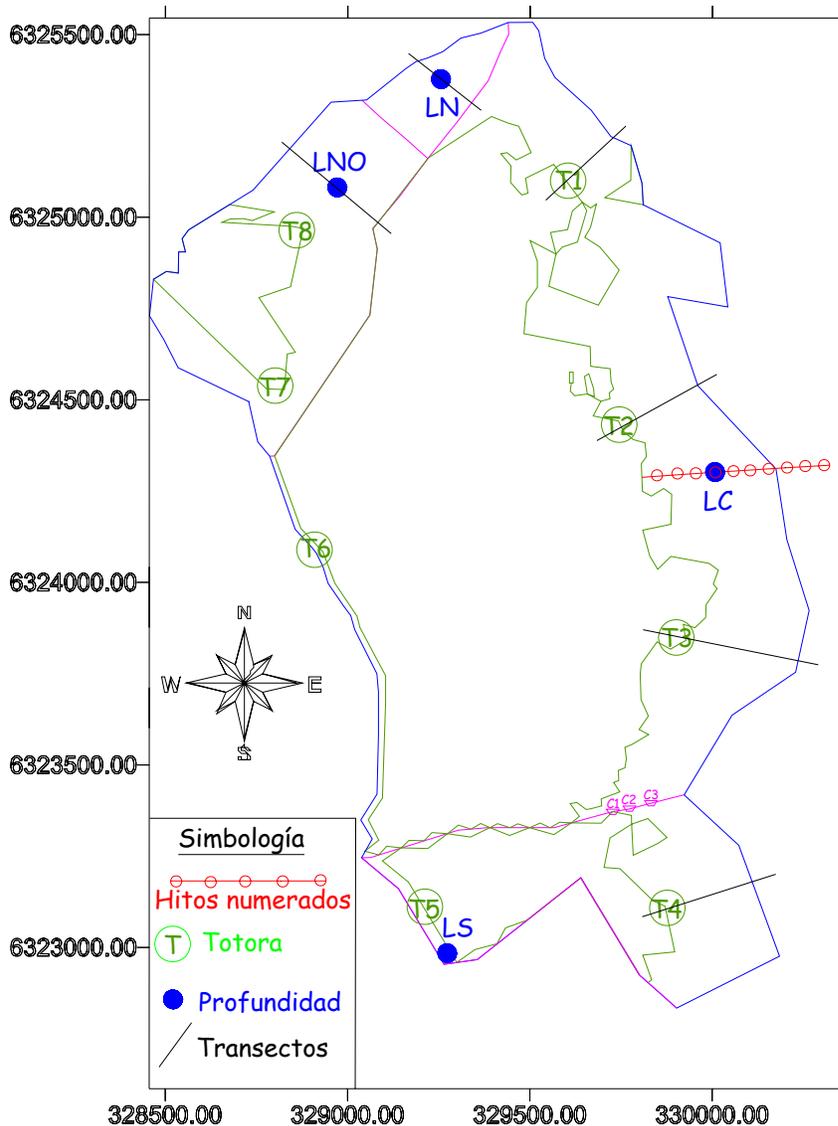
6.3 Morfología, Hidrología e Hidráulica

6.3.1 Cuerpo de agua

Los puntos que se utilizarán para medir las variables de morfología, hidrología e hidráulica en el cuerpo de agua Laguna de Batuco se pueden ver en la Figura 6.1. Éstos permitirán dimensionar tanto la totora como el espejo de agua de las distintas Lagunas. Todos los hitos para marcar estos puntos serán diseñados de manera de minimizar el impacto hacia el paisaje y hacia el medio ambiente.

- **Monitoreo semanal:** Se medirá la profundidad de la Laguna Central en el punto azul LC, en donde se instalará una regleta. También, se medirá la extensión areal de la Laguna en el punto de mayor variabilidad e importancia, ubicado en la Laguna Central. En este lugar se instalarán hitos numerados cada 50 m en una línea perpendicular a la orilla de la Laguna, subiendo desde la totora hasta unos 100 m más allá de la orilla que se registró en los terrenos posteriores a las lluvias (agosto-septiembre). Estos puntos se pueden ver en rojo en la Figura 6.1 al lado del punto azul LC. De esta forma, al existir hitos numerados y una regleta en la Laguna cualquier entidad podrá hacer estos controles.
- **Monitoreo mensual:** Se medirán las profundidades en el resto de los puntos azules (LNO, LN y LS). La frecuencia en estas Lagunas será menor porque son menos importantes en área que la Laguna Central.

Figura 6.1
Puntos de medición hidrológica en la Laguna



Fuente: Elaboración propia.

Los puntos en donde se medirá profundidad (LNO, LN, LC y LS) serán los mismos en donde se medirá calidad del agua en la Laguna, por lo tanto ahí se instalarán hitos que serán llamados estaciones de monitoreo. Estos hitos tienen que ser referenciados a puntos de referencia (PRs) ubicados fuera de la Laguna. La ubicación aproximada de estas estaciones se puede ver en la Tabla 6.1.

Tabla 6.1
Ubicación aproximada de las estaciones de monitoreo en la Laguna

Nombre estación	UTMn (m)	UTMe (m)
LNO (Laguna Noroeste)	6.325.078	328.970
LN (Laguna Norte)	6.325.378	329.260
LC (Laguna Central)	6.324.302	330.008
LS (Laguna Sur)	6.323.021	329.287

- **Monitoreo 2 veces al año:** Antes y después de las lluvias (marzo y septiembre respectivamente) se hará un recorrido por las orillas de las Lagunas Noroeste, Norte, Central y orilla este de la Laguna Sur, marcando puntos con ayuda de un GPS cada 75 m en los sectores curvos y cada 150 en los rectos. De esta forma se podrá tener un mapa aproximado de la Laguna con su extensión areal.
- **Monitoreo anual:** Después de las lluvias (septiembre), se completará el recorrido anterior, caminando por los pretiles cuando esto sea posible. Además, debido a que la totora representa uno de los límites del espejo de agua y a que existe un activo corte de ésta, se hace necesario controlar su extensión. Para esto, se medirán las coordenadas de la totora cercana a los puntos verdes T1 a T8. La ubicación aproximada de estos puntos se encuentra en la Tabla 6.2

Tabla 6.2
Ubicación aproximada de puntos de medición de totora

Punto	UTMn (m)	UTMe (m)
T1	6.325.094	329.601
T2	6.324.428	329.748
T3	6.323.841	329.927
T4	6.323.104	329.872
T5	6.323.104	329.211
T6	6.324.089	328.927
T7	6.324.529	328.800
T8	6.324.963	328.875

Conjuntamente, se realizará una batimetría del espejo de agua usando los transectos que aparecen en la Figura 6.1. En estas líneas se medirá profundidad en 4 puntos, coincidiendo el último de éstos con el pretil o la totora que corresponda, completando así el recorrido anterior por los pretiles o los puntos verdes. Realizando todo esto se tendrá un mapa completo de las Lagunas, y una aproximación de sus volúmenes y tiempos de retención. Todo esto se hará con un GPS y una regleta.

Límites y acciones de respuesta

- **Del monitoreo semanal y mensual:** Se revisará la pluviometría, los afluentes, efluentes y pretiles cuando exista una disminución violenta de la extensión de la Laguna o de su profundidad. También se hará esta revisión si queda al descubierto el cuarto de los hitos numerados, contando desde la totora hacia la orilla (es decir la estación de monitoreo LC), o si las profundidades en las estaciones bajan demasiado.
- **Del monitoreo 2 veces al año:** Si se identifica una disminución significativa en la extensión de la Laguna (50 m) con respecto a la situación hallada en el terreno de septiembre (Figura 6.1), se hará la misma revisión anterior.
- **Del monitoreo anual:** Si es que se ve que la totora cambia en extensión (± 20 m) o se ve que la totora está dañada, se hará necesario hacer una correlación con

las actividades de corte y con la calidad del agua, para encontrar así las causas. Comparando los volúmenes y tiempos de retención con los obtenidos en el terreno de septiembre se podrá saber cómo han cambiado las condiciones para que se generen reacciones fisicoquímicas y biológicas. Si estos volúmenes y tiempos disminuyen demasiado se tendrán que revisar posibles acumulaciones de sedimentos o aumentos de la escorrentía superficial.

Monitoreo adicional:

- Se recomienda medir la profundidad en cada una de las estaciones de monitoreo en la Laguna semanalmente, no sólo la de la estación LC.
- Se pueden poner tres series de hitos numerados para medir extensión más, uno en la Laguna Norte, uno al noreste de la Laguna Central y otro al sureste de la Laguna Sur. Esto hará que la extensión de la Laguna se mida de manera más continua, sin embargo, estos hitos pueden provocar mayor impacto en la estética del humedal.
- Para comparar la situación de la totora en temporadas diferentes se recomienda tomar fotografías de ésta en los puntos T1 a T8.
- Se puede realizar un análisis de la extensión de la Laguna de manera precisa y rápida mediante imágenes aéreas o satelitales. A través de éstas no sólo se puede obtener el área de las distintas lagunas, sino que también se pueden diferenciar totora de espejo de agua, además de reconocer singularidades. Dependiendo de los recursos disponibles y de la frecuencia de las fotos que existan este análisis podría reemplazar el recorrido por las orillas, totora y pretilles.
- Las velocidades de las aguas en el Humedal son bajas, no obstante son posibles de medir. Debido a su importancia en la distribución de la calidad de sus aguas, se recomienda evaluar el uso de trazadores y micromolinetes para medirlas estacionalmente en un año.

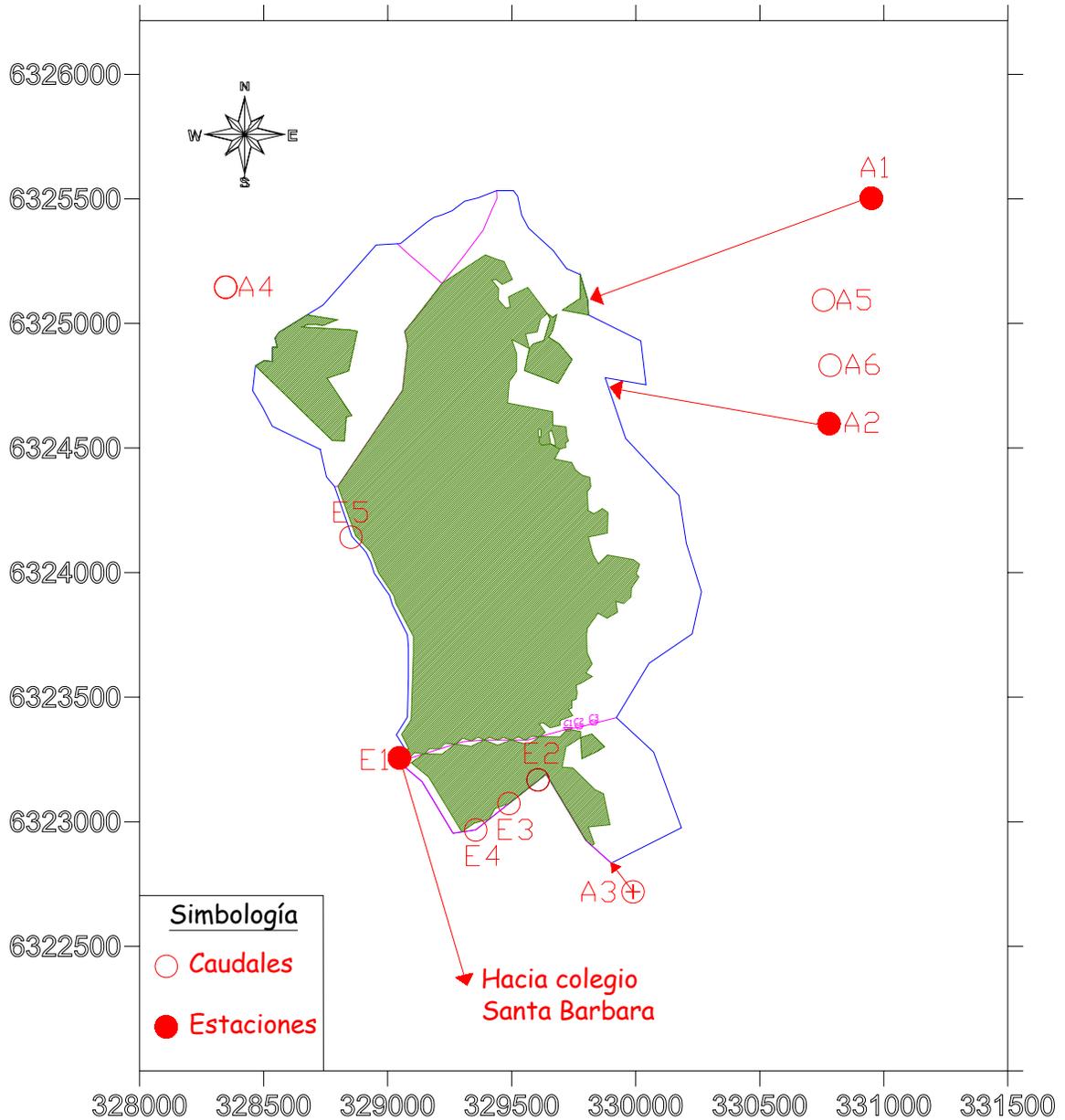
6.3.2 Escorrentía superficial

Los puntos de monitoreo de escorrentía superficial aparecen en rojo en la Figura 6.2, siendo éstos los mismos identificados en terreno (afluentes A1 a A6 y efluentes E1 a E5). Sus coordenadas se pueden ver en la Tabla 6.3.

Tabla 6.3
Coordenadas puntos de monitoreo de escorrentía superficial

Puntos	UTMn (m)	UTMe (m)
A1	6.325.509	330.956
A2	6.324.865	330.902
A3	6.322.617	330.063
A4	6.325.209	328.267
A5	6.325.095	330.757
A6	6.324.830	330.786
E1	6.323.246	329.062
E2	6.323.168	329.606
E3	6.323.073	329.489
E4	6.322.967	329.355
E5	6.324.145	328.856

Figura 6.2
Puntos de monitoreo de escorrentía superficial



Fuente: Elaboración propia.

Evaluación preliminar complementaria:

- Medir la profundidad del canal efluente en el puente que está al frente del colegio Santa Bárbara de Batuco que queda en la intersección entre Av. España y Lo Fontecilla (6.320.350, 330.215). Este canal es el mismo que comienza en el punto E1. Medir cada vez que se mida caudal en este punto. Si se encuentra una relación entre estas dos mediciones instalar una regleta en el puente al frente del colegio Santa Bárbara de Batuco. Esta regleta servirá para medir caudales efluentes diariamente con la ayuda de profesores y alumnos de esta institución.

Los caudales se medirán semanalmente en los puntos A1, A2 y E1, ya que fue en éstos donde se encontró un caudal casi permanente. Para esto se instalará infraestructura especial de modo de crear estaciones fluviométricas.

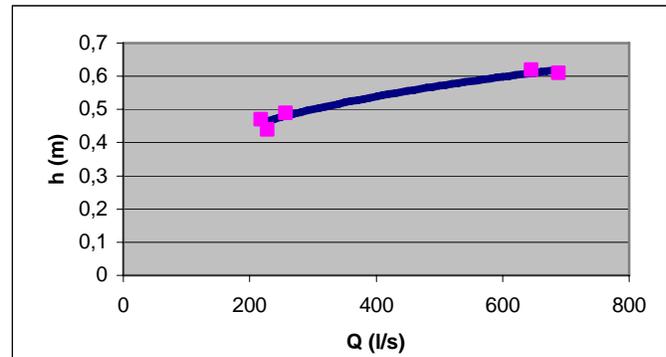
- **Caudal A1:** En este lugar se hallan todas las condiciones para instalar una estación con sección limnimétrica y curva de descarga. De hecho, las mediciones realizadas durante los terrenos permiten construir una curva preliminar.

Tabla 6.4
Mediciones A1

Fecha	Q (l/s)	H (m)	Perfiles
15-abr	645,9	0,62	4
31-may	217,6	0,47	4
01-ago	688,4	0,61	3
07-sep	256,9	0,49	4
18-Ene	227,8	0,44	3

$$Q = 4579,803 \cdot h^4 + 13,323$$

Figura 6.3
Curva de descarga A1



Fuente: Elaboración propia.

La altura medida es la más profunda de la sección. Se instalará una regleta para medirla. Además, debido a que este canal no tiene ningún tipo de revestimiento y a que existe mucha vegetación en sus bordes, se tendrá que revestir y mantener la vegetación cortada. De esta forma la curva de descarga se tendrá que hacer nuevamente.

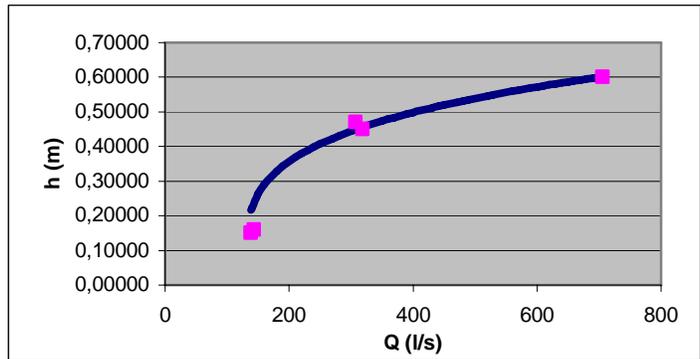
- **Caudal A2:** Debido a la gran cantidad de vegetación que interfería las mediciones, no se pudieron tener suficientes datos de caudal como para obtener una curva de descarga. Lamentablemente la pendiente en este sector es muy baja como para instalar un vertedero, y como este caudal no es permanente y es menos importante que el A1, no es económicamente factible usar una Canaleta Parshall para medirlo. De esta forma, la mejor solución a este problema será construir una sección de aforo, revistiendo el canal, incorporando una regleta y manteniendo la vegetación cortada. Por lo tanto, lo primero que se tendrá que hacer es la curva de descarga.
- **Caudal E1:** Este punto no es el mejor para instalar una sección limnimétrica con curva de descarga debido a que en todas las mediciones tuvo un escurrimiento subcrítico y a que no existe ningún control que lo separe de las condiciones aguas abajo. Sin embargo, como no existe ninguna compuerta aguas abajo de esta sección que pueda influenciar su escurrimiento, se utilizará de todas formas este tipo de estación, aprovechando así la forma rectangular y hormigonada de sus paredes y suelo. La curva de descarga obtenida de los terrenos realizados es la que aparece en la Figura 6.4.

Tabla 6.5
Mediciones E1

Fecha	Q (l/s)	h (m)	Perfiles
15-Abr	138,5	0,15	5
31-May	143,1	0,16	3
01-Ago	705,9	0,6	2
07-Sep	318,7	0,45	3
06-Nov	307,6	0,47	5

$$Q = 4394,252 \cdot h^4 + 128,922$$

Figura 6.4
Curva de descarga E1



Fuente: Elaboración propia.

Por lo tanto, en la sección E1 se instalará una regleta adosada a la pared. Se deberá tener cuidado con las rocas que se suelen juntar en el fondo de este túnel, removiéndolas, si son muy grandes o si se encuentran muy cercanas al lugar de medición.

Las curvas de descarga de los puntos A1 y E1 sólo sirven para las alturas que están entre las mínimas y máximas medidas en las campañas de terreno, es decir 0,44 a 0,62 m y 0,15 a 0,47 m, respectivamente. Por lo tanto, idealmente se tendrá que medir el caudal con molinete en épocas secas o en crecidas. De todas maneras, cada 3 meses (marzo, junio, septiembre y diciembre) se deberán corregir las curvas con la ayuda de este instrumento. Esto se aplicará también para cuando se tenga una curva de descarga en la sección A2.

Las regletas de todos los puntos de medición deberán ser referenciadas con topografía a Puntos de Referencias (PR). De esta forma, si existe una crecida que se lleve la regleta, ésta podrá ser restaurada a partir de éstos. En el terreno aledaño al noroeste del punto E1 existe un monolito de hormigón que podrá ser usado para este fin. Cerca del afluente A1 existen postes de electricidad. Para la sección A2 habrá que construir un monolito.

En las compuertas E2, E3 y E4 se deberá ver cada dos semanas si existen descargas, coordinándose con la empresa Cerámica Santiago para saber cuándo las realizan. Si éstas son apreciables y frecuentes se podrán medir con un flotador.

Los otros caudales se visitarán también cada dos semanas pero sólo en la época de lluvias (abril-octubre aproximadamente) y se verá si fluye agua. En ellos se podrá instalar una Canaleta Parshall o un Vertedero portátil para medir su flujo, si es que éste es considerable. Si después de un año con condiciones hidrológicas húmedas, de acuerdo a la convención que se enuncia en la parte de Meteorología de esta Red, los puntos A3, A4, A5, A6 y E5 no presentan nunca caudal habrá que sacarlos de la Red de Monitoreo. Así mismo, si se descubren nuevos caudales habrá que incluirlos a la Red, midiéndolos con algún método adecuado.

Límites y acciones de respuesta

Debido a que el mayor peligro que existe en los humedales es que no exista agua para alimentarlos, y a que en Batuco las condiciones de flujo están cambiando, se impondrán valores mínimos de alerta en los caudales permanentes A1 y E1. En un principio, como caudales de alerta se utilizará el 50% del valor mínimo registrado en las campañas de terreno. Estos son 100 y 60 l/s para A1 y E1 respectivamente. Otra situación de alerta es que los caudales disminuyan bruscamente.

En estos dos casos anteriores es conveniente revisar la pluviometría y consultar con EDIC, la consultora que maneja el canal Batucano, con los regantes del área de estudio, y con los propietarios de La Cadellada. Estos últimos, de hecho, llevan un control cuantitativo de sus efluentes mensuales, que se pueden consultar en la SISS.

Otro caso de alerta ocurre cuando los afluentes son mucho mayores que los efluentes. Esta situación puede deberse a descargas no controladas a través de las compuertas E2, E3 o E4 u otros puntos no identificados. También puede existir una actividad de bombeo intensiva en los alrededores del Humedal la cual será necesaria revisar con ayuda de la información de niveles de aguas subterráneas.

Monitoreo adicional:

- En las secciones A1 y A2 se puede instalar una cañería de comunicación y un pozo (stilling well) para realizar las mediciones de altura de escurrimiento. De esta forma se evita el oleaje y así los errores de medición. La complicación de esto es que es necesario conseguir los permisos de los propietarios de los terrenos aledaños a las estaciones.

6.3.3 Aguas Subterráneas

Evaluación preliminar complementaria:

- Mediante balances hídricos obtener aproximaciones de las cantidades de aguas que aporta la napa a la Laguna de Batuco en distintas épocas del año.

La Red de Monitoreo hidrológica de aguas subterráneas medirá profundidades de la napa en sitios que se pueden diferenciar en 3 tipos: pozos pertenecientes a la Red de Monitoreo de la DGA, captaciones y piezómetros. La distribución de estos sitios de monitoreo se puede ver en la Figura 6.5.

- **Pozos pertenecientes a la Red de Monitoreo de la DGA:** Existen 4 pozos en el área de estudio en donde constantemente se están midiendo los niveles de las aguas subterráneas. Estos se encuentran bastante bien distribuidos alrededor de la Laguna y pueden dar una idea clara de la situación hídrica del sector.

Tabla 6.6
Ubicación pozos Red de Monitoreo DGA en la cuenca de Batuco

N°	Código BNA	Nombre	Norte (m)	Este (m)	Altitud (msnm)	Profundidad (m)
DGA1	5734003	Fundo La Cadellada	6323966	333943	489	45
DGA2	5734005	Entel Batuco	6321157	332124	485	-
DGA3	5734006	Fundo La Laguna	6324369	329064	482	-
DGA4	5734007	Asentamiento Laguna	6326161	329344	487	64

Las profundidades fueron obtenidas de un estudio de 1987 (DGA – Álamos y Peralta), por lo tanto pueden diferir de las actuales. Éstas muestran que el monitoreo se realiza en el límite entre las unidades somera y profunda del acuífero. Lamentablemente no existen más datos de profundidad y cribaje para estos pozos.

- **Captaciones:** Estas son 1 noria y 4 pozos ya construidos y de diversos propietarios que fueron visitados durante los terrenos de mayo y enero. Su ubicación es adecuada para medir la calidad del agua, pero se pueden aprovechar estos muestreos para medir los niveles.

Tabla 6.7
Características de las captaciones de la Red de Monitoreo

N°	UTMn (m)	UTMe (m)	Altitud (msnm)	Predio	Uso
C1	6.322.368	334.890	488,2	Copa de agua	AP
C2	6323828 ^(a)	334376 ^(a)	491,5	Condominio Quilquén	R
C3	6.323.643	332.588	487,2	Parcela alfalfa	Sin Uso
C4 (N)	6.322.341	330.683	481,7	Casa cuidador Laguna	R y AP
C5	6.325.367	328.378	484	Fundo La Laguna	R y AP

^(a) Aproximada.

Tabla 6.8
Niveles medidos en las captaciones

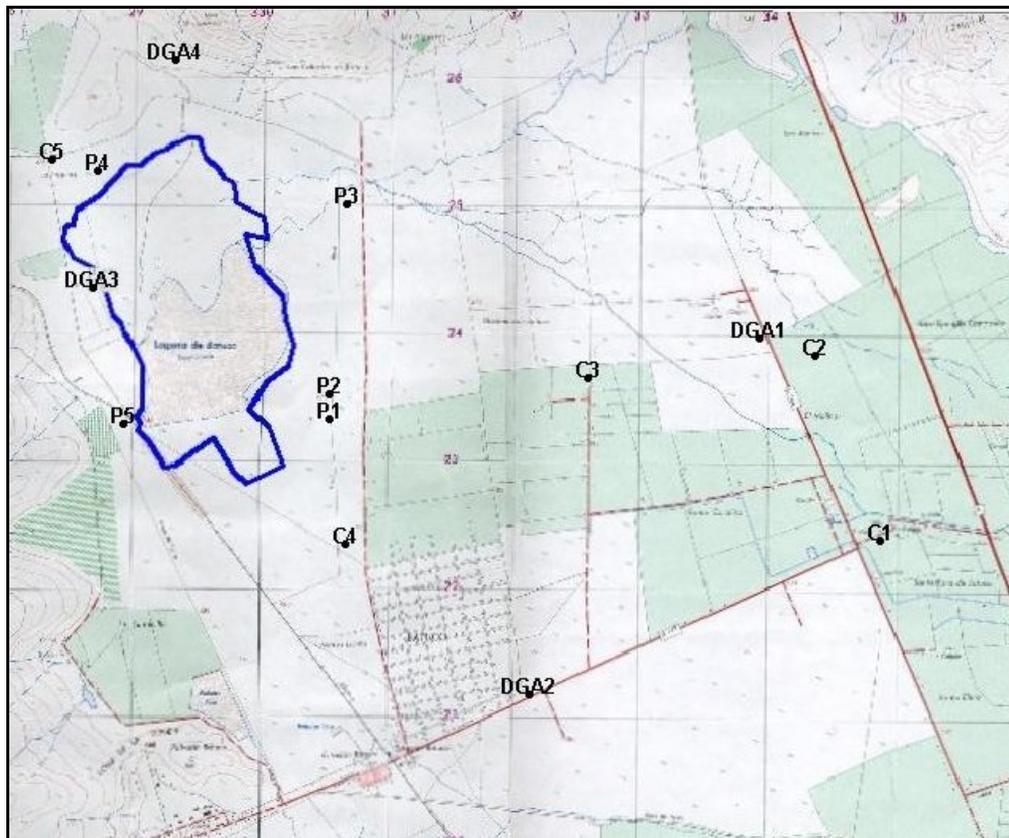
N°	NE terreno Mayo (m)	NE terreno septiembre (m)	h captación (m)	Profundidad (m)
C1	-	16,44 (ND)	0,19	-
C2	-	1,25	0,09	16,94
C3	-	0,94	-	27,4
C4 (N)	3,21	3,8 (ND)	0,4	-
C5	19,7	38,73 (ND)	0,2	> 100

- **Piezómetros:** Se instalarán 5 tubos ranurados de PVC a poca profundidad en las proximidades de la Laguna. Junto con las norias serán muy útiles para saber la calidad del acuífero somero y para ver cómo varía la carga o descarga de la Laguna, dependiendo de los gradientes verticales que existan entre éstas y los pozos profundos. Por lo tanto, si las punteras o norias muestran niveles más profundos que los pozos contiguos existirá una recarga hacia la Laguna. Si ocurre lo contrario existirá una descarga.

Tabla 6.9
Ubicación piezómetros

N°	UTMn (m)	UTMe (m)	Altitud (msnm)
P1	6.323.323	330.555	482
P2	6.323.523	330.555	482
P3	6.325.016	330.689	481,5
P4	6.325.280	328.737	482
P5	6.323.291	328.930	482

Figura 6.5
Ubicación estaciones de niveles de aguas subterráneas



Fuente: Fondo modificado de Carta IGM Batuco 1:25.000 de 1979 con Datum Sudamericano 1969.

Las mediciones de niveles en la Red de Monitoreo de la DGA se hacen cada 2 meses. Debido a la baja velocidad de las aguas subterráneas en la cuenca se aprovecharán los monitoreos de calidad (parte 6.4.2) separados también cada 2 meses (meses impares) para medir la profundidad en las otras captaciones y en los piezómetros.

La metodología a utilizar para medir los niveles será con la ayuda de un sensor de nivel de agua (pozómetro), tratando en lo posible, de medir niveles estáticos.

Límites y acciones de respuesta

Para los pozos de la DGA se tenía una serie de datos de niveles para los meses impares que van desde 1992 a 2004. Con esta información fue posible realizar un

simple análisis estadístico para determinar un cierto límite. Debido a la variación cíclica de los niveles de aguas subterráneas lo más conveniente fue hacer este análisis mes a mes. De esta forma, determinando como límite el percentil de orden 80, es decir un nivel que sea superado por tan sólo el 20% de los datos, los límites asignados a cada mes impar para cada estación son los de la Tabla 6.10.

Tabla 6.10
Límites de profundidad (m) para los pozos de la DGA

	Enero	Marzo	Mayo	Julio	Septiembre	Noviembre
Fundo La Cadellada	1,6	1,8	1,2	0,8	0,5	1,3
Entel Batuco	2,7	3,7	2,5	1,6	1,6	2,1
Fundo La Laguna	13	21	20	17	15	16
Asentamiento Laguna	10	10	9	6	10	16

En las captaciones y piezómetros se tienen a lo sumo dos niveles para meses distintos. Habrá que esperar 5 años para poder hacer un análisis como el anterior, pudiendo éste repetirse también para los otros parámetros de la Red de Monitoreo que tengan una variación cíclica.

De superarse los niveles límite en las estaciones de la DGA o de existir descensos importantes en los otros puntos de monitoreo, habrá que revisar los datos de precipitaciones totales anuales. Si éstos datos no pertenecen a la categoría de año seco, de acuerdo al criterio planteado en la parte de Meteorología de esta red, lo más seguro es que exista una sobreexplotación del recurso subterráneo que habrá que verificar en terreno.

6.3.4 Meteorología

En la Dirección Meteorológica de Chile (DMC) existen dos estaciones agrometeorológicas cercanas al área de estudio que se utilizarán para la Red de Monitoreo (Figura 6.6 y Tabla 6.11).

Figura 6.6
Ubicación estaciones meteorológicas

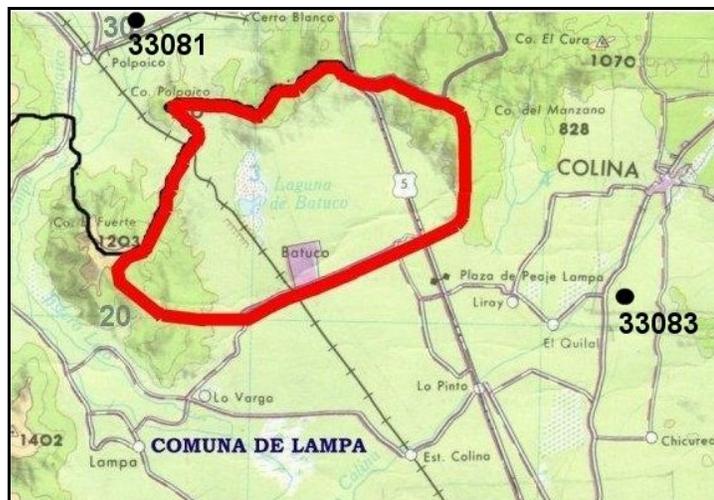


Tabla 6.11
Estaciones meteorológicas de la Red de Monitoreo

Nº	Código nacional	Nombre de la estación	Latitud	Longitud	Altura	Activada
1	33081	Polpaico	33° 08'	70° 52'	540	04/1992
2	33083	Colina (Fundo San Miguel)	33° 14'	70° 41'	570	05/1992

La estación Colina está bastante cerca de la estación Esmeralda de Colina, que aunque representa muy bien la situación meteorológica de Batuco no se encuentra en funcionamiento.

Evaluación preliminar complementaria:

- Es necesario conseguir toda la información de estas dos estaciones agrometeorológicas desde que comenzaron a funcionar (1992) hasta la actualidad y hacer un análisis de frecuencia de sus precipitaciones anuales.

En la Red de Monitoreo es importante medir precipitaciones, temperatura, evaporación, humedad, dirección y velocidad del viento. Todos estos parámetros son medidos por la DMC en las dos estaciones de la Red, a excepción de la velocidad y dirección del viento los cuales son medidos sólo en la estación Colina.

Monitoreo adicional:

La estación pluviométrica Batuco Retén, mencionada en la parte 4.3.1 todavía tiene el pluviómetro instalado. Se recomienda entonces usar esta estación para medir precipitaciones ya que se encuentra más cercana a la Laguna que las otras.

Figura 6.7
Pluviómetro Batuco Retén



Límites y acciones de respuesta

Las variables meteorológicas no son variables que puedan ser alteradas, por lo tanto, éstas sólo servirán para correlacionar sus valores con los obtenidos de otras variables hidrológicas o de calidad del agua.

La precipitación total anual por ejemplo, determina si un año es seco, normal o húmedo. Según un criterio que se mostró en la parte 3.3.4, un año seco será el que tenga precipitaciones totales bajo la precipitación de probabilidad de excedencia 85%, un año húmedo será el que tenga precipitaciones totales sobre la precipitación de probabilidad de excedencia 20%, y un año normal será aquel que no pertenezca a ninguno de estos dos tipos.

Entonces, si un año es seco será normal que la escorrentía superficial sea menor. Sin embargo, será necesario fijarse también en la distribución de las precipitaciones mensuales de esas estaciones. La temperatura, la evaporación y la humedad también pueden afectar la extensión del espejo de agua. En tanto, la velocidad del viento puede intervenir en la distribución de la calidad del agua.

6.4 Calidad del Agua

6.4.1 Aguas superficiales

Para monitorear la calidad del agua de la Laguna de Batuco existirán un total de 7 estaciones, las cuales estarán divididas en dos grupos:

- **Estaciones de Monitoreo en la Laguna:** Ubicadas en los puntos donde se medirá profundidad LNO, LN, LC y LS.
- **Estaciones de Monitoreo en los afluentes y efluentes principales:** Ubicadas en los puntos de medición de caudal A1, A2 y E1.

Las estaciones de monitoreo en la Laguna (LNO, LN, LC y LS) fueron elegidas debido a su representatividad. Las únicas lagunas que tienen calidades parecidas son la Central y la Sur, es por esto que fue necesario ubicar una estación cercana al centro de la Laguna Noroeste (LNO), una cercana al centro de la Laguna Norte (LN), y otra cubriendo las Lagunas Central y Sur (LC). Esta última se ubicó en un lugar central del espejo de agua que recorre el lado oriente de estas dos lagunas, punto que se aproxima a la conductividad media medida en septiembre, ya que existe un claro gradiente de este parámetro que sube de norte a sur. También se ubicó una estación de monitoreo en la esquina surponiente de la Laguna (LS) porque en este lugar se encontró la singularidad más importante de los terrenos de 2007, mostrando aguas muy distintas al resto de la Laguna Central y Sur. Si después de 2 años hidrológicos normales (según la convención de la parte 6.3.4), no existe una diferencia importante con la calidad de las aguas de la estación LC se descartará la estación LS. En estas cuatro estaciones existirán hitos en donde también se medirá profundidad.

Las estaciones de monitoreo en los afluentes y efluentes principales (A1, A2 y E1) tienen por objeto alertar de manera temprana algún evento de contaminación o encontrar calidades distintas antes de que las aguas se mezclen en la Laguna. Estos muestreos se realizarán en las mismas estaciones fluviométricas.

Evaluación preliminar complementaria:

- Buscar un laboratorio certificado capaz de medir clorofila a con un límite de detección menor al utilizado en los terrenos (0,03 mg/l). Si se encuentra, usar este análisis en el monitoreo junto con los nutrientes.
- Realizar análisis mensuales de los parámetros fisicoquímicos pH, CE, OD, potencial redox y Disco Secchi en puntos intermedios de la Laguna Central y Sur para encontrar alguna correlación con las mediciones de las estaciones de monitoreo de estas Lagunas (LC y LS). Esta evaluación complementaria se realizará durante dos años normales tanto en distribución mensual como en total anual de precipitaciones (de acuerdo a la convención tomada en la parte 6.3.4). Si es que no existe ninguna correlación será conveniente seguir midiendo en estos puntos, evaluando la instalación de un hito.
- Es importante medir los parámetros de la Tabla 6.12 en las estaciones de monitoreo en la Laguna (LNO, LN, LC y LS) con el objeto de obtener una línea base completa de este cuerpo de agua y así tener un punto de comparación si es que ocurre algún problema ambiental, y también para entender a cabalidad los procesos que ocurren en la Laguna. Esta evaluación complementaria se realizará durante un año normal tanto en distribución mensual como en total anual de precipitaciones (de acuerdo a la convención tomada en la parte 6.3.4).

Tabla 6.12
Programa de evaluación de calidad de aguas superficiales

Frecuencia	Parámetros
Mensual	Nutrientes (N Total, N Kjeldahl, N-NH ₃ , N-NO ₃ y P Total)
4 veces al año (marzo, junio, septiembre, diciembre)	Coliformes fecales
2 veces al año (marzo, septiembre)	Metales pesados ^(a) , iones mayores y dureza

^(a) Los mismos elementos traza medidos en el terreno de abril a excepción del fósforo.

- Para tener una estimación de la calidad que pueden tener las aguas lluvias que escurren hacia el humedal, extraer dos muestras representativas de suelos en el lado oriente de la Laguna, una muestra en el lado norte y una en el lado poniente. A estas muestras hacerles análisis de metales pesados e iones mayores.

En la Tabla 6.13 se muestra el programa de monitoreo de calidad de aguas superficiales.

Tabla 6.13
Programa de monitoreo de calidad de aguas superficiales

Frecuencia	Parámetros	Lugares
Semanal	Temperatura, pH, CE, OD y potencial redox	Todas las estaciones de monitoreo en los afluentes y efluentes principales ^(a) y LC
Mensual	Disco Secchi y perfil de temperatura	LC
	Temperatura, pH, CE, OD y potencial redox	LNO, LN y LS
4 veces al año (marzo, junio, septiembre, diciembre)	Perfil de temperatura, Disco Secchi	LNO, LN y LS
	Turbiedad, nutrientes (N Total, N Orgánico, N-NH ₃ , N-NO ₃ y P Total), DBO ₅ y DQO	Todas las estaciones de monitoreo en la Laguna ^(b)
2 veces al año (marzo y septiembre)	Metales pesados ^(c) y fósforo en sedimentos	Todas las estaciones de monitoreo en la Laguna ^(b)

^(a) A1, A2 y E1.

^(b) LNO, LN, LC y LS.

^(c) Los mismos elementos traza medidos en el terreno de agosto.

Se medirán todas las componentes del nitrógeno total menos el nitrito ya que éste mostró ser poco significativo con respecto al resto de las componentes. El N Orgánico es importante para saber cuál es la actividad vegetal del Humedal, mientras que el N-NH₃ y el N-NO₃ pueden ser correlacionadas con decaimiento vegetacional o contaminación antrópica.

Las mediciones semanales y mensuales se harán in situ, mientras que los otros parámetros (a excepción del Disco Secchi y del perfil de temperatura) se podrán mandar a laboratorios certificados. Es importante hacer coincidir las mediciones de terreno con los muestreos de laboratorio debido a que los primeros son básicos para entender el significado de las muestras.

Todos los muestreos a excepción del potencial redox y de los metales y el fósforo en sedimentos se harán en un punto a pocos centímetros bajo la superficie del agua. El potencial redox es conveniente medirlo cerca del fondo. Si cuando se hagan los perfiles de temperatura existe una estratificación térmica importante (disminución de más de 2°C entre la superficie y el fondo) será necesario tomar dos muestras en esa estación, una en la mitad superior y otra en la mitad inferior del perfil.

Si es que una estación no tiene aguas al momento de la medición no se realizará ningún muestreo, pero si esta situación es demasiado frecuente se evaluará el cambio de posición de la estación.

Límites y acciones de respuesta

En el ANEXO G (digital) están los límites y rangos según estándares nacionales e internacionales y estudios realizados en otros humedales. De todos éstos se escogieron los estándares menores y mayores aplicables a la Laguna de Batuco, para los

parámetros de la Red de Monitoreo de aguas superficiales propuesta, con el objeto de generar un criterio de calidad para la Laguna de Batuco (Tabla 6.14 y Tabla 6.15).

Tabla 6.14
Criterio aplicable a la columna de agua de la Laguna de Batuco

Parámetro	Límites	Normativa o estándar
Temperatura (°C)	10-28 (rango)	Directiva 78/659/CEE
pH	5,5-9 (rango)	NCh 1333 (Riego)
CE (uS/cm)	750-7500	NCh 1333 (Riego)
OD (mg/l)	4 ^(a) 7 ^(a)	Directiva 78/659/CEE South-west Australia
Potencial redox (mV)	250	Reacciones de reducción según Mitsch & Gosselink (2000)
Turbiedad (UNT)	25 100	Minnesota (Clase 2D) South-central y South-west Australia
N Total (mg/l)	0,393 1,5	Situación eutrófica según OCDE South-west Australia
N NH ₃ (mg/l)	0,04 0,681-28,3 ^(b)	South-west Australia Minnesota (CS)
N NO ₃ (mg/l)	0,1 200	South-west Australia BC
P Total (mg/l)	0,005 0,75	BC Situación hipertrófica según OCDE

^(a) Valor mínimo.

^(b) Depende del pH y de la temperatura.

Tabla 6.15
Criterio aplicable a sedimentos de la Laguna de Batuco

Parámetro	Límites (mg/kg)	Normativa o estándar
As	2,9 3,1	Promedio humedales agrícolas Minnesota Promedio humedales urbanos Minnesota
Cu	14,3 50,8	Humedales agrícolas Minnesota Humedales urbanos Minnesota
Ni	12 19	Humedales agrícolas Minnesota Humedales urbanos Minnesota
P	848 2974	Promedio humedales urbanos Minnesota Promedio humedales agrícolas Minnesota
Pb	4 127	Humedales agrícolas Minnesota Humedales urbanos Minnesota
Zn	49,8 139	Humedales agrícolas Minnesota Humedales urbanos Minnesota

Los criterios de la Tabla 6.14 y de la Tabla 6.15 son en general superados por los datos de terreno. Entonces, la situación de Batuco es muy diferente a la exigida por estos criterios, sin querer esto decir que sea un ecosistema contaminado.

Como no se tienen aún mediciones consecutivas en los puntos de monitoreo se usarán los valores obtenidos en los terrenos (Tabla 5.6 y Tabla 5.7) como una referencia. Sólo si estas medidas son ampliamente superadas se procederá a confirmar algún problema ambiental y posteriormente a actuar buscando alguna fuente de contaminación.

En la Tabla 6.16 aparecen todas las anomalías que pueden ocurrir en las estaciones de monitoreo, junto con sus acciones de respuesta. Estas anomalías se concentran en los

parámetros básicos que se miden semanalmente y mensualmente ya que debido a su frecuencia resultan ser los mejores indicadores. En esta Tabla aparecen también las posibles causas de cada una de las anomalías y su confirmación, antes de actuar. Si es que existen dos posibles causas es bueno confirmar la número 1 primero y luego la número 2 de descartarse la primera. Lo mismo si es que existen dos métodos de confirmación. Si es que las mediciones de confirmación no arrojan ninguna anomalía no será necesario seguir con las acciones de respuesta.

Tabla 6.16
Anomalías y acciones de respuesta para la calidad del agua superficial

Anomalía	Posibles causas	Confirmación	Acciones de respuesta
CE sube ^(a)	Contaminación por iones mayores	1. Medir cloruros 2. Medir otros iones Mayores	Buscar fuente de contaminación según lugar e ión.
pH sube	Eutroficación	Inspección visual y medir N Total, P Total y Disco Secchi	<ul style="list-style-type: none"> • Si la anomalía ocurre en LNO o LN: buscar causa en agricultura. • Si la anomalía ocurre en las LC LS: buscar causa en aguas servidas y agricultura.
OD baja y/o potencial redox baja	Contaminación por materia orgánica	Medir nutrientes, DBO ₅ y coliformes fecales	<ul style="list-style-type: none"> • Si suben coliformes fecales: buscar causa en aguas servidas según el lugar. • Si suben nutrientes o DBO₅: buscar otras causas según el lugar.

^(a) Es normal que la CE suba si es que hubo precipitaciones anteriores al muestreo.

Entre las causas se encuentran las actividades del catastro. Si se busca una fuente de aguas servidas es importante revisar el comportamiento del efluente de La Cadellada de acuerdo al monitoreo que le sigue la SISS. Si es que se busca una fuente de contaminación por metales, es necesario fijarse en el bodegaje de petcoke si es que suben las concentraciones de níquel, cromo y vanadio en los sedimentos, sobre todo las del primer elemento ya que son bajas en los sedimentos de la Laguna. Muchas veces las causas pueden ser difusas, provocadas por la limpieza que le hace la escorrentía superficial de las aguas lluvias al suelo.

Es importante mencionar que antes de medir más parámetros será imprescindible repetir el muestreo. Sólo si la anomalía se repite habrá que tomar una muestra para luego analizarla en algún laboratorio certificado. También es necesario recalcar que el resto de los parámetros de la Red servirán para encontrar tendencias temporales, límites y relaciones que podrán ser utilizadas en el futuro.

Monitoreo adicional:

- Medir temperatura, pH, CE, OD y potencial redox semanalmente en las estaciones LNO, LN y LS. Medir Disco Secchi y perfil de temperatura mensualmente en estas estaciones.
- Medir nutrientes, DBO₅ y DQO 4 veces al año también en las estaciones en los afluentes y efluentes principales (A1, A2 y E1).
- Buscar un buen bioindicador y con éste complementar el monitoreo de la calidad de la Laguna. Un bioindicador que se puede utilizar es la identificación y recuento de microalgas que se puede hacer en junio y diciembre por ser los meses de mayor y menor crecimiento vegetativo.

6.4.2 Aguas subterráneas

Según Iriarte, en un acuífero somero secundario con vulnerabilidad alta como el de Batuco, es necesario un “monitoreo permanente de aguas subterráneas en torno a eventuales fuentes de contaminación existentes”.

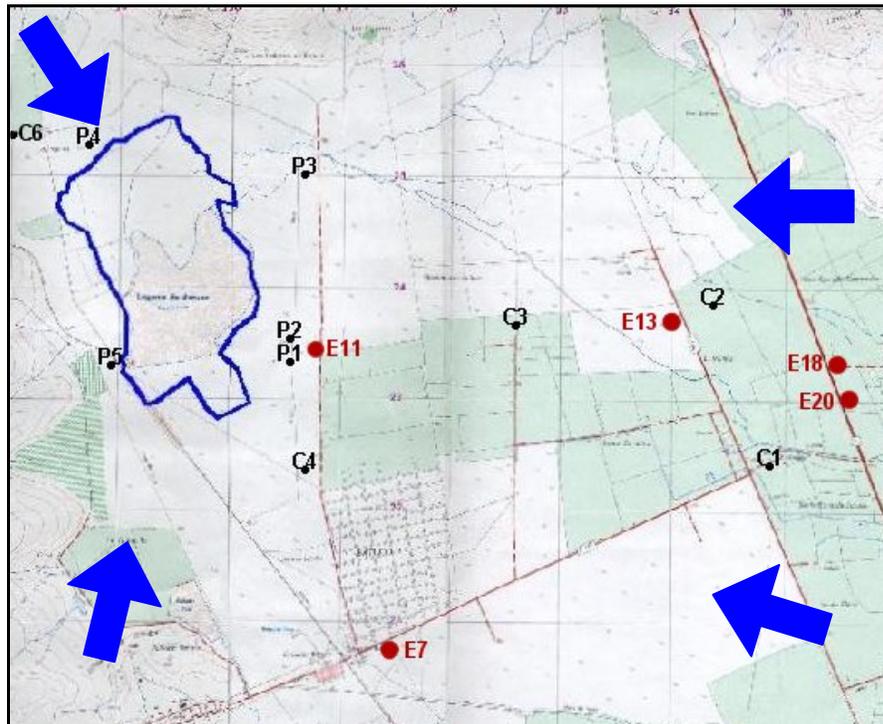
El monitoreo de calidad de aguas subterráneas se realizará en los mismos lugares donde se medirán niveles. Porque además de permitir un buen uso de los recursos, estos sitios se encuentran bien distribuidos en la cuenca, tanto horizontal como verticalmente, y permiten controlar las principales actividades que ocurren en ella. Los únicos pozos que no se usarán serán los de la DGA y el C5 que será cambiado por otra captación que se encuentra cercana, ya que este no permite la toma de muestras. Los datos de este pozo (C6) se encuentran en la Tabla 6.17. A los piezómetros será necesario ponerles filtros de gravilla para que sean aptos para ser muestreados.

Tabla 6.17
Datos pozo C6

N°	UTMe (m)	UTMn (m)	Altitud (msnm)	Predio	h captación (m)	Profundidad (m)	Uso
C6	328045	6325373	488,5	Fundo La Laguna	-	> 60	R y AP

En la Figura 6.8 se pueden ver las estaciones de monitoreo de la calidad de las aguas subterráneas. También se pueden ver las empresas más susceptibles a causar daño en la napa según la Tabla 5.1 y las direcciones aproximadas de los flujos subterráneos.

Figura 6.8
Ubicación estaciones de calidad de aguas subterráneas



Fuente: Fondo modificado de Carta IGM Batuco 1:25.000 de 1979 con Datum Sudamericano 1969.

Al estar alejados de cualquier perturbación que ocurre en la cuenca de Batuco, los pozos C1, C2 y C6 serán útiles para tener una idea de la línea base del agua antes de que pueda producirse alguna contaminación. Los pozos C1 y C6 son profundos mientras que el pozo C2 representa al acuífero somero. Es necesario recalcar que en el camino que recorre el agua subterránea antes de llegar a la cuenca puede contaminarse a partir de diversas fuentes, sin embargo este problema, a no ser que sea evidente y peligroso, queda alejado del objetivo de este monitoreo. En la Tabla 6.18 se encuentran las mediciones de calidad que se le hicieron a las captaciones de la Red de Monitoreo en las actividades de terreno.

Tabla 6.18
Calidad medida en las captaciones de la Red

N°	Mayo 2006			Enero 2007		
	Temperatura (°C)	pH	CE (uS/cm)	Temperatura (°C)	pH	CE (uS/cm)
C1	-	-	-	22,9	7,3	1375
C2	-	-	-	23,9	7,01	3370
C3	-	-	-	22,3	7,72	452
C4 (N)	19,8	7,61	2020	24,2	7,38	2010
C6	-	-	-	27,5	7,08	1836

Evaluación preliminar complementaria:

- Hacer un muestreo de macroelementos en las captaciones C3 y C4 y en los piezómetros P3, P4 y P5. Comparar estos análisis con los iones mayores muestreados en la Laguna de Batuco para determinar desde donde vienen las aguas subterráneas que alimentan a este cuerpo de agua.

Con este análisis y los balances hídricos anteriores, evaluar la Red de Monitoreo de aguas subterráneas propuesta.

En la Tabla 6.19 se puede ver el programa de monitoreo de calidad de las aguas subterráneas.

Tabla 6.19
Programa de monitoreo de calidad de aguas subterráneas

Parámetro	Lugar	Frecuencia
Temperatura, pH, CE, OD y potencial redox	Todos	Cada 2 meses (meses impares)
Níquel y cromo	P1 y P2	Cada 2 meses (meses impares)
Cloruros	C2, C3 y C4	2 veces al año (marzo y septiembre)
NO ₃	C6, P1, P3, P4 y P5	2 veces al año (marzo y septiembre)
Metales pesados ^(a)	C2, C4 y C6	1 vez al año (marzo)

^(a) Los mismos elementos traza medidos en el terreno de abril a excepción del fósforo.

Antes de muestrear, se revisará que las estaciones de monitoreo se encuentren debidamente tapadas y sin basura en su interior. Los parámetros fisicoquímicos generales se medirán in situ. Durante cada monitoreo se aprovecharán de medir los niveles y las profundidades de las captaciones y piezómetros. En el caso de las captaciones, también será necesario entrevistarse con el operador de su sistema de bombeo para preguntarle por el caudal extraído. La frecuencia de 2 meses fue elegida por la baja velocidad de las aguas subterráneas de este sector.

El níquel y el cromo servirán para detectar una contaminación por petcoke aguas abajo de la planta de almacenaje de este hidrocarburo (según lo que se dijo en el ANEXO E.1). Cada vez que se realice un muestreo se medirá níquel en un piezómetro y cromo en el otro, intercambiándose estos análisis cada dos meses. De esta manera se tendrán análisis de estos dos metales cada dos meses. La frecuencia es alta porque la planta de petcoke se encuentra bastante cerca de la Laguna.

Se medirán cloruros y NO_3 ya que el primero indica contaminación por aguas servidas a no ser que exista contaminación por metales y el segundo por aguas servidas y agricultura, por lo tanto son indicadores más específicos que se medirán con una frecuencia menor. Los cloruros se medirán en lugares donde sólo exista riesgo de contaminación por aguas servidas (C2, C3 y C4). En cambio el NO_3 se medirá en lugares donde exista riesgo de contaminación por agricultura o por ambos tipos de contaminación (C6, P1, P3, P4 y P6). Estos parámetros serán medidos en los meses de marzo y septiembre ya que éstos representan aproximadamente las condiciones hidrológicas más secas y más húmedas respectivamente.

Los metales pesados se medirán en menos lugares y con una menor frecuencia ya que por lo que se sabe sólo la planta de petcoke podría liberar este tipo de contaminantes, pero ésta ya es controlada midiéndose sólo níquel y cromo en los piezómetros P1 y P2. Para controlar los metales serán utilizadas captaciones distribuidas por toda la cuenca y a distintas profundidades (C2, C4 y C6). Los metales serán medidos en marzo debido a que, al ser teóricamente el mes más seco, estos elementos estarán más concentrados.

En el pozo C1 se miden parámetros bacteriológicos cada 2 meses y toda la Norma NCh 409 una vez al año. Por lo tanto se tiene una línea base completa de las aguas subterráneas del sector.

El método de muestreo es en general a través de llaves en las captaciones establecidas. Si es que el pozo no ha sido utilizado en los días anteriores al muestreo, se debe dejar corriendo la llave al menos un minuto antes de tomar la muestra, de esta manera el pozo estará purgado, es decir, se estarán tomando aguas representativas del acuífero. La captación C3 no tiene llave, por lo tanto se utilizará una botella muestreadora, teniendo cuidado de que los parámetros fisicoquímicos se parezcan a los de su entorno. Si es que no pasa esto puede significar que no existe renovación de las aguas dentro del pozo y será necesario usar algún sistema de bombeo para extraer agua hasta purgarlo o utilizar otra captación cercana. Para los piezómetros también se usará una botella muestreadora o un sistema de bombeo según se estime conveniente.

Límites y acciones de respuesta

En la Tabla 3.4 se vieron los rangos comunes de aguas subterráneas naturales. En la Tabla 6.20 los valores aplicables a la Red de Monitoreo propuesta.

Tabla 6.20
Criterio aplicable a las aguas subterráneas

Parámetro	Rango estándar en aguas Subterráneas naturales
Temperatura	10°-20°C
pH	6,5 – 8,5
Conductividad eléctrica	100-1.000 uS/cm
Oxígeno Disuelto	2-5 mg/l
Manganeso	0-0,01 mg/l
Arsénico, Cadmio, Fierro, Plomo, Níquel, Selenio, Zinc	0,001-1 mg/l
Berilio, Plata	< 0,001 mg/l

Fuente: The Handbook of Groundwater Engineering.

Antecedentes sobre la calidad del agua subterránea de la cuenca de Batuco se encuentran en el ANEXO E.2.3. Estos datos pueden dar una idea de la calidad del agua en las estaciones de la Red de Monitoreo debido a que aún no se han medido muchos parámetros en éstos. Una desviación muy grande a los valores anteriormente mencionados o a los criterios, o una particularidad en la distribución de los valores en la cuenca serán causales de un muestreo más específico y de una búsqueda del origen de la contaminación. La Tabla 6.21 es similar a la que se hizo para las anomalías y acciones de respuesta para la calidad de las aguas superficiales (Tabla 6.16) pero para las aguas subterráneas del área de estudio.

Tabla 6.21
Anomalías y acciones de respuesta para la calidad en las aguas subterráneas

Anomalía	Posibles causas	Confirmación	Acciones de respuesta
CE sube	Contaminación por iones mayores	1. Medir cloruros 2. Medir otros iones Mayores	Buscar fuente de contaminación según lugar e ión.
OD baja y/o potencial redox baja	Contaminación por compuestos orgánicos	Baja en P1 o P2: Revisar muestreo de níquel y cromo	Avisar a las autoridades correspondientes por contaminación por petcoke.
		Baja en C3, C4 o P3: Muestreo de BTEX	Buscar fuente de contaminación en bombas de bencina según lugar.
Níquel o cromo suben	Contaminación por petcoke	Muestreo de níquel o cromo en captación C3	De no existir contaminación en la captación C3, se avisará a las autoridades correspondientes.
Cloruros suben	Contaminación por aguas servidas	Revisar que no hayan subido los metales	Buscar fuente de contaminación de aguas servidas dependiendo del lugar.
NO ₃ sube	Contaminación por aguas servidas o agricultura.	-	Si la anomalía ocurre en C6 o P4: buscar causa en agricultura. Si la anomalía ocurre en P1, P3 o P5: buscar causa en aguas servidas y agricultura.
Metales suben	Contaminación por algún metal	Medir dureza	Buscar fuente según lugar y metal.

Es importante mencionar que antes de medir más parámetros es imprescindible repetir el muestreo. Si la anomalía se repite habrá que tomar una muestra de inmediato para luego analizarla en algún laboratorio certificado.

Monitoreo adicional:

- Se pueden medir los compuestos orgánicos BTEX (benceno, tolueno, etilbenceno y xileno) en las captaciones y piezómetros que están ubicados entre las bombas de bencina y la Laguna (C3, C4 y P3). De esta forma se podrá detectar cualquier derrame. La frecuencia de monitoreo será sólo una vez al año debido a la lejanía de estas estaciones con la Laguna y a que las probabilidades de una fuga peligrosa para la Laguna son menores. Con el objeto de tener una línea base de estos compuestos será necesario medirlos una vez al año en la captación C1.
- Se puede gestionar con el dueño del pozo C2, la incorporación a la Red de Monitoreo de las mediciones que deben hacerse en el APR Condominio Quilquén. Esto se puede hacer también en la mayoría de los condominios del sector.

6.5 Actores Involucrados y Costos de Monitoreo

6.5.1 Actores involucrados

A parte de construir y mantener los hitos y llevar a cabo el monitoreo en si, los actores involucrados se encargarán de ir ajustando la Red en base a la información reunida y evaluada. Ellos también serán los responsables de presentar la información en una base de datos ordenada que ojalá quede disponible a todo público y efectuar las acciones de respuesta.

A continuación se nombran los posibles actores de la Red de Monitoreo. Mellado (2007) analizará la posibilidad de incluir a cada uno de ellos, asignando roles.

Encargado:

- Unidad de Medio Ambiente,
Secretaría Planificación Comunal (SECPLA),
Ilustre Municipalidad de Lampa

Actores Red de Monitoreo:

- Organización Comunitaria y Funcional “El Totoral de Batuco”
- Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA)
- Cerámica Santiago Ltda.
- Dirección General de Aguas Región Metropolitana de Santiago (DGA RMS)
- Agua Potable Rural (Santa Sara-Batuco)
- Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS)

- Universidad de Chile

Actores complementarios:

- Fundo La Laguna
- Comisión Regional de Medio Ambiente Región Metropolitana de Santiago (COREMA RMS)
- Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN)
- Red Ambiental de la Universidad de Chile (RAUCH)
- Unión de Ornitólogos de Chile (UNORCH)
- Corporación Nacional Forestal (CONAF)
- Servicio Agrícola y Ganadero (SAG)
- Gobernación de Chacabuco
- Secretaría Regional Ministerial de Salud (SEREMI de Salud)
- Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU)
- Servicomunal S.A.
- Servicio Nacional de Turismo (SERNATUR)
- Convención Ramsar
- Pedro Rojas Oyarce
- Colegio Santa Bárbara de Batuco

Es importante destacar las labores que han realizado o están realizando algunos de los actores mencionados anteriormente para vigilar el ecosistema del Humedal de Batuco. En especial es fundamental el rol que juega en la Laguna la organización “El Totoral de Batuco”, en particular con su proyecto FPA, del cual esta memoria es parte. El proyecto aprobado se encuentra en el ANEXO D.

Además de este proyecto, existen algunas acciones e intenciones específicas de monitoreo con las cuales se recomienda coordinar acciones. Éstas son las siguientes:

- Fiscalización sobre empresas y monitoreo de La Cadellada (SISS)
- Plan de Vigilancia y Contingencia Laguna de Batuco (Municipalidad de Lampa)
- Plan de acción Humedal Batuco 2005-2010 (CONAMA RMS)
- Vigilancia de napas subterráneas en La Cadellada (Servicomunal)

6.5.2 Costos de monitoreo

La Red de Monitoreo diseñada tiene dos tipos de costos asociados:

- El **costo fijo de inversión**, que se refiere tanto a la construcción de estaciones e hitos de monitoreo como a la compra de instrumentos para muestrear y medir los parámetros in situ.
- El **costo de operación anual**, que son gastos operacionales de transporte de personal, muestreo, análisis de laboratorio y análisis y publicación de datos.

En la Tabla 6.22 se muestran estos dos costos. Para simplificar el análisis, no se consideraron gastos de mantención. De esta forma la vida útil de las estaciones se estimó en 10 años y la vida útil de los instrumentos en 5 años.

Tabla 6.22
Costos Red de Monitoreo

COSTO FIJO DE INVERSION	
Estaciones e hitos de monitoreo (10 años)	\$ 730.000
Instrumentos (5 años)	\$ 1.250.000
COSTO DE OPERACIÓN ANUAL	
Mano de obra muestreo y análisis	\$ 2.470.000
Transporte	\$ 480.000
Laboratorio	\$ 1.080.000
TOTAL	\$ 4.030.000

Monitoreo adicional:

En la Tabla 6.23 se pueden ver los costos del monitoreo adicional, los cuales tendrían que ser sumados a los costos de la Red de Monitoreo. En los costos de instalación se consideran gastos relacionados a servicios de evaluación que se deben pagar una sola vez.

Tabla 6.23
Costos monitoreo adicional

COSTO DE INSTALACION	
Estaciones de monitoreo (10 años)	\$ 160.000
Instrumentos (5 años)	\$ 200.000
Servicios de evaluación	\$ 2.000.000
COSTO DE OPERACIÓN ANUAL	
Mano de obra muestreo y análisis	\$ 2.410.000
Movilización	\$ 250.000
Laboratorio	\$ 1.560.000
Compras	\$ 60.000
TOTAL	\$ 4.280.000

CAPÍTULO 7:

CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y DISCUSIÓN

CAPITULO 7: CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y DISCUSIÓN

7.1 Discusión

Una relación única y sensible entre el suelo, el agua y el ambiente químico y vivo es lo que la ciencia ha podido explicar como la particularidad de los humedales.

De esta forma, los humedales ofrecen problemas complejos de entender con los enfoques actuales. Sin embargo, el conocimiento de sus funciones y valores es suficiente como para motivar un mejor entendimiento multidisciplinario.

La legislación internacional en humedales es escasa y la nacional es casi nula. No obstante, gracias a los actuales enfoques ambientales de nuestro país, existen buenas perspectivas para estos ambientes. Esto hace que una metodología de diseño de Redes de Monitoreo en humedales sea una herramienta bastante útil para la futura gestión de estos sistemas.

Los aspectos esenciales de una Red de Monitoreo en humedales son: variables a monitorear; sitios o estaciones de muestreo; frecuencia de muestreo; métodos de recolección, conservación y análisis; almacenamiento, presentación y evaluación de los datos; acciones de respuesta; y actores involucrados.

Con respecto a las variables a monitorear, al plantear una Red de Monitoreo de recursos hídricos en humedales no sólo es necesario fijarse en sus variables hidrológicas y de calidad del agua, sino que también es importante controlar las actividades que ocurren en toda la cuenca y los efectos que sus perturbaciones pueden causar en la biota y el paisaje de esta.

7.2 Conclusiones

7.2.1 Sobre el Humedal Laguna de Batuco

Tomando en cuenta los antecedentes de la cuenca de Batuco y las actividades de terreno llevadas a cabo en la Laguna y en su entorno se puede concluir lo siguiente:

- La Laguna de Batuco corresponde a un humedal de tipo depresional según la clasificación hidrogeomórfica y a un humedal de tipo lacustre de acuerdo a la clasificación del FWS.
- De acuerdo a las actividades de terreno, este cuerpo de agua tiene aguas someras (34 cm) que fluctúan estacionalmente, con extensiones máximas en invierno (280 ha) y mínimas en verano (263 ha). Estas extensiones están compuestas mayormente por totoral, el cual en invierno ocupa el 59% del área total de la Laguna.

- Diversos pretilos separan la Laguna en 4 partes casi independientes: Laguna Noroeste, Laguna Norte, Laguna Central y Laguna Sur, siendo la Laguna Central la más importante en área (más del 70% de la Laguna). Los análisis de calidad del agua realizados demuestran la separación de las lagunas.
- Aún cuando los flujos de aguas son erráticos en la cuenca de Batuco, la alimentación de la Laguna depende primariamente de dos aportes superficiales, uno permanente y otro temporal, y secundariamente de flujos subterráneos que se encuentran a pocos metros de profundidad quedando vulnerables.
- En el análisis realizado sobre los datos de calidad del agua se demostró que las aguas de la Laguna son básicas (pH entre 7,3 y 10,3) debido a la geología y a la actividad algal, y van de dulces a salobres (CE promedio 1964 uS/cm). Perfiles de temperatura mostraron un cuerpo de agua sin estratificación en septiembre.
- Las concentraciones de los nutrientes en la Laguna, en sus afluentes, así como en sus efluentes principales confirman importantes reacciones dentro de este cuerpo de agua. En estas reacciones, un rol significativo lo juegan los sedimentos y las plantas del Humedal.
- La calidad del agua en la Laguna de Batuco supera muchos de los estándares internacionales. Pese a lo anterior, debido a la sorprendente biodiversidad que posee, este ambiente se puede considerar como un ecosistema sano. Sin embargo, el avance de los sectores urbanos e industriales de la ciudad de Santiago ha impactado enormemente al Humedal de Batuco y amenaza con contaminar uno de sus últimos reductos naturales, la Laguna de Batuco. Las actividades más peligrosas de la cuenca de Batuco son: las fábricas de cerámicas, el Bodegaje de Petcoke y la PTAS La Cadellada.

7.2.2 Sobre la Red de Monitoreo diseñada

Luego de analizar la información recopilada, se diseñó una Red de Monitoreo para el área de estudio. En ella se minimizan los recursos requeridos, midiendo sólo los parámetros que podrían señalar impactos de corto y largo plazo en el medio ambiente hídrico del Humedal Laguna de Batuco. Los parámetros elegidos dependen mucho de las potenciales fuentes de contaminación presentes en la cuenca.

Los costos de la Red de Monitoreo diseñada aparecen en la Tabla 7.1, mientras que en la Tabla 7.2 se pueden ver todas las actividades de esta Red.

Tabla 7.1
Costos de la Red de Monitoreo diseñada

COSTO FIJO DE INVERSION	
Estaciones e hitos de monitoreo (10 años)	730.000
Instrumentos (5 años)	1.250.000
COSTO DE OPERACIÓN ANUAL	
TOTAL	4.030.000

Tabla 7.2: Resumen actividades de monitoreo.

FRECUENCIA	PAISAJE Y ENTORNO ^(a)	MORFOLOGÍA, HIDROLOGÍA E HIDRÁULICA				CALIDAD DEL AGUA	
	Catastro de actividades	Cuerpo de agua	Escorrentía superficial	Aguas subterráneas	Meteorología	Aguas superficiales	Aguas subterráneas
Diaria					<ul style="list-style-type: none"> • Variables meteorológicas ^(b) medidas por la DMC en Colina y Polpaico ^(c). 		
Semanal		<ul style="list-style-type: none"> • Extensión areal en hitos numerados. • Profundidad en estación LC. 	<ul style="list-style-type: none"> • Caudales en estaciones en afluentes y efluentes principales. 			<ul style="list-style-type: none"> • Temperatura, pH, CE, OD y potencial redox en estaciones en afluentes y efluentes principales y en LC. • Variables que mide la SISS en la PTAS La Cadellada ^(c). 	
Cada 2 semanas			<ul style="list-style-type: none"> • Existencia de caudal en puntos E2, E3, y E4. • Existencia de caudal en puntos A3, A4, A5, A6 y E5 (sólo en meses de lluvias). 				
Mensual		<ul style="list-style-type: none"> • Profundidad en estaciones LNO, LN y LS. 	<ul style="list-style-type: none"> • Caudal efluente de la PTAS La Cadellada que mide la SISS ^(c). 			<ul style="list-style-type: none"> • Temperatura, pH, CE, OD y potencial redox en estaciones LNO, LN y LS. • Perfil de temperatura y Disco Secchi en estación LC. 	

^(a) Las observaciones generales que aparecen en la parte 6.2.2 se realizarán cada vez que se haga un monitoreo.

^(b) Precipitaciones, temperatura, evaporación, humedad, dirección y velocidad del viento.

^(c) Conseguir.

Estaciones en la Laguna: LNO, LN, LC y LS. Estaciones en los afluentes y efluentes principales: A1, A2 y E1.

Tabla 7.2: Resumen actividades de monitoreo (continuación).

FRECUENCIA	PAISAJE Y ENTORNO ^(a)	MORFOLOGÍA, HIDROLOGÍA E HIDRÁULICA				CALIDAD DEL AGUA	
	Catastro de actividades	Cuerpo de agua	Escorrentía superficial	Aguas subterráneas	Meteorología	Aguas superficiales	Aguas subterráneas
Cada 2 meses (impares)				<ul style="list-style-type: none"> Niveles en pozos de la Red de la DGA ^(b). Niveles en captaciones C1 a C5 y en todos los piezómetros. 			<ul style="list-style-type: none"> Temperatura, pH, EC, OD y potencial redox en C1, C2, C3, C4 y C6 y en todos los piezómetros. Níquel y cromo en P1 y P2 ^(c).
4 veces al año (marzo, junio, septiembre y diciembre)						<ul style="list-style-type: none"> Perfil de temperatura y Disco Secchi en estaciones LNO, LN y LS. Turbiedad, nutrientes (N Total, N Kjeldahl, N-NH₃, N-NO₃ y P Total), DBO y DQO en todas las estaciones en la Laguna. 	
2 veces al año (marzo y septiembre)		<ul style="list-style-type: none"> Recorrido por las orillas. 				<ul style="list-style-type: none"> Metales ^(d) y fósforo en sedimentos en todas las estaciones en la Laguna. 	<ul style="list-style-type: none"> Cloruros en C2, C3 y C4. NO₃ en C6, P1 P3, P4 y P5.
Anual	<ul style="list-style-type: none"> Actualización Catastro de Actividades (marzo). 	<ul style="list-style-type: none"> Recorrido por pretilos y totora (septiembre). Batimetría (septiembre). 					<ul style="list-style-type: none"> Metales ^(e) en C2, C4 y C6 (marzo).

^(a) Las observaciones generales que aparecen en la parte 6.2.2 se realizarán cada vez que se haga un monitoreo.

^(b) Conseguir.

^(c) Muestreos intercalados. Es decir si en enero se muestrea níquel en P1 y cromo en P2 en marzo se muestreará cromo en P1 y níquel en P2, y así sucesivamente.

^(d) Los mismos elementos traza medidos en el terreno de agosto.

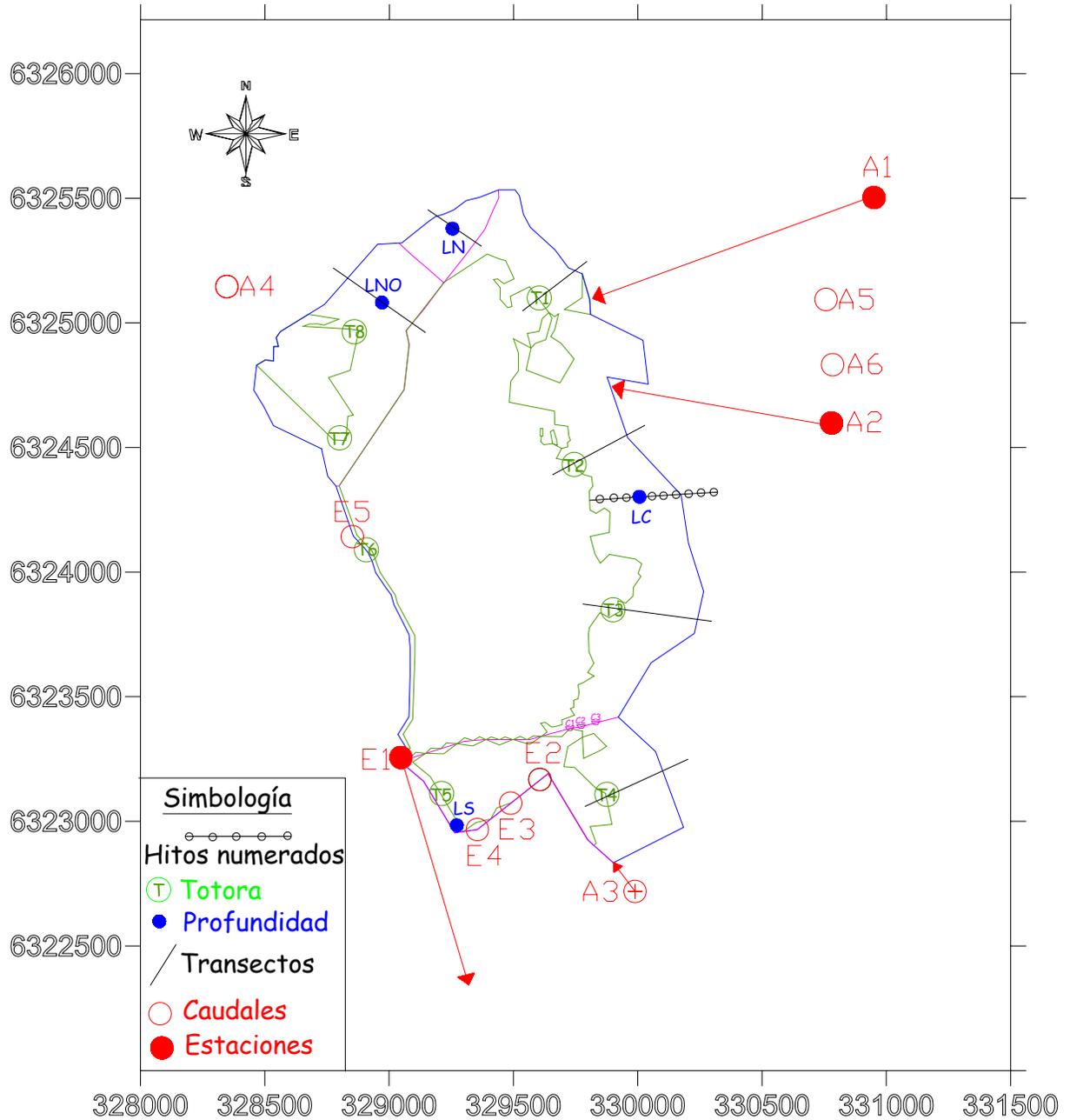
^(e) Los mismos elementos traza medidos en el terreno de abril a excepción del fósforo.

Estaciones en la Laguna: LNO, LN, LC y LS. Estaciones en los afluentes y efluentes principales: A1, A2 y E1.

NOTA: No se incluyen ni el muestreo bacteriológico cada dos meses ni el anual de la NCH 409 que se hacen en la captación C1 pues no se saben las fechas exactas en que se llevan a cabo.

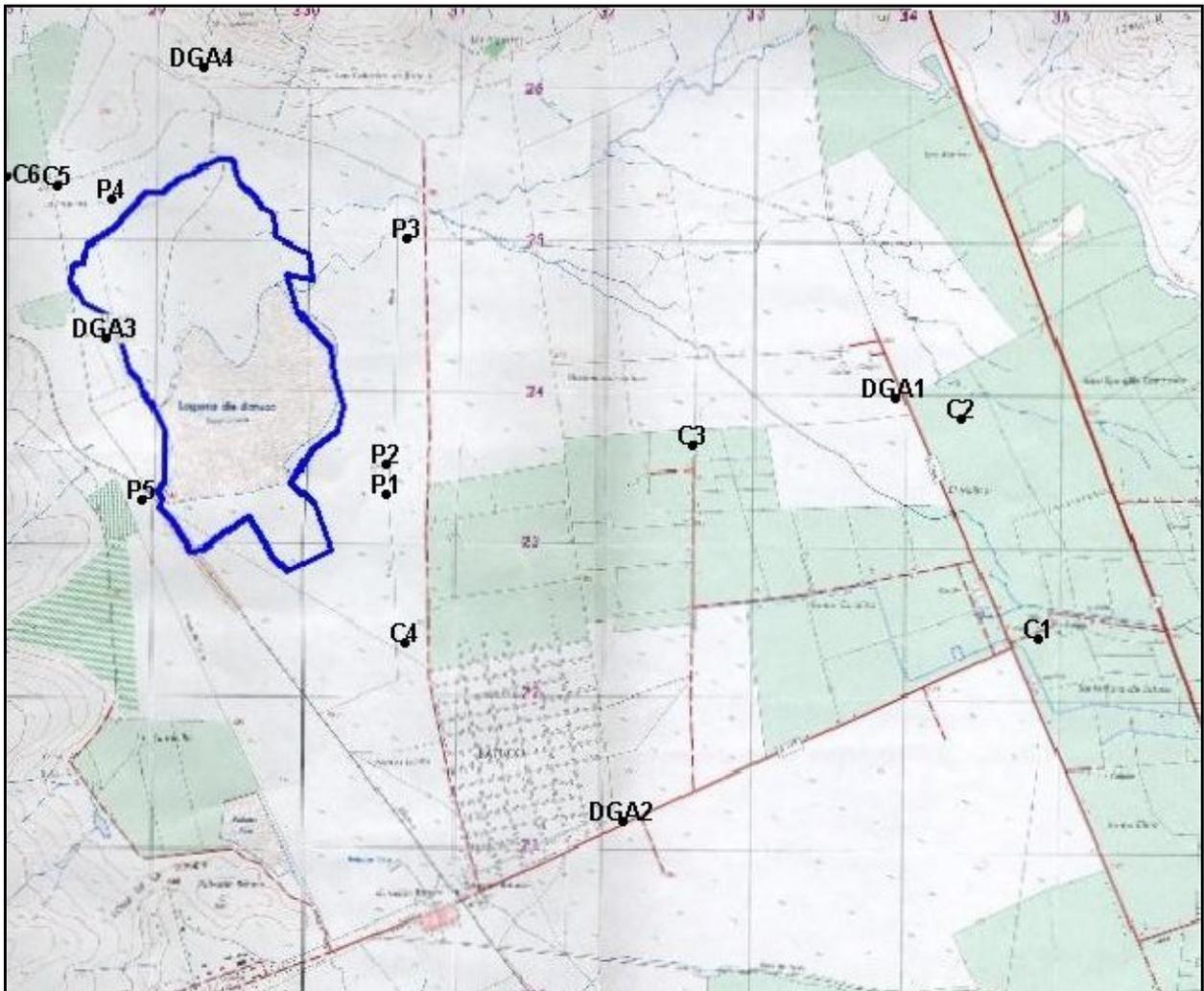
En la Figura 7.1 y en la Figura 7.2 aparecen las estaciones de la Red de Monitoreo.

Figura 7.1
Estaciones e hitos de monitoreo en la Laguna y en afluentes y efluentes principales



Fuente: Elaboración propia.

Figura 7.2
Red de Monitoreo DGA. Captaciones y piezómetros Red de Monitoreo



Fuente: Fondo modificado de Carta IGM Batuco 1:25.000 de 1979 con Datum Sudamericano 1969.

Las acciones de respuesta se iniciarán si alguna variable de la Red de Monitoreo supera su criterio preestablecido. Estos criterios deberán determinarse con 5 años de estadística al menos. Por lo tanto, para comenzar sólo se usarán límites cualitativos. Las acciones de respuesta buscarán la causa de la anomalía y de encontrarla tratarán de revertirla coordinando todos los actores que se necesiten.

7.3 Recomendaciones

En este trabajo de título se diseñó a grandes rasgos una Red de Monitoreo para la Laguna de Batuco. Durante el año 2007, con el apoyo de la Municipalidad de Lampa y del Fondo de Protección Ambiental (FPA) ganado por la ONG "El Totoral de Batuco", se podrá concretar esta Red. Es por esto que a la brevedad se debe generar el diseño de detalle de los puntos de monitoreo para posteriormente construirlos. También se tienen que comprar los equipos de monitoreo necesarios para hacer las mediciones in situ.

Recomendaciones de monitoreos adicionales en el Humedal Laguna de Batuco se encuentran en todo el Capítulo 6. A continuación se proponen más trabajos que podrán acompañar a la Red de Monitoreo en su tarea por preservar el Humedal Laguna de Batuco:

- Para complementar los antecedentes del área de estudio faltan por hacer un análisis hidrológico e hidrogeológico acabado y un balance hídrico de la cuenca. Para esto habrá que determinar de dónde vienen los flujos superficiales y subterráneos alimentadores. Información que será útil también para poder esbozar su calidad.
- Los datos generados por esta Red de Monitoreo quedarán disponibles al público. Por lo tanto, se propone la realización de trabajos adicionales, tanto en el ámbito universitario como profesional, con esta información. Éstos pueden analizar tendencias, hacer relaciones y generar modelos, de modo que se conozca más acerca de los humedales en general y del Humedal Laguna de Batuco en particular. Un trabajo propuesto es intentar explicar los episodios de mortandad ocurridos en los años 2003 y 2005.
- Se recomienda usar los datos obtenidos de la Red de Monitoreo de la Laguna de Batuco para comenzar a crear una Norma Secundaria para este Humedal. Estos datos podrán servir también para apoyar una futura postulación del Humedal de Batuco como sitio Ramsar.
- La CONAMA deberá continuar con acciones destinadas a analizar la incorporación de la Laguna a la Lista de Humedales de Importancia Internacional, ya que los sitios que se designen, según la Convención de Ramsar, no han de ser áreas vírgenes que no hayan sido afectadas por actividades humanas, por el contrario, la designación puede poner en marcha un proceso de recuperación y rehabilitación de un sitio, siempre que en el momento de su designación este satisfaga los criterios para la inclusión en la Lista antes mencionada.

Finalmente, se deberán encontrar métodos estadísticos adecuados para analizar la información obtenida de la Red de Monitoreo en la cuenca de Batuco, y así imponer un criterio adecuado para este sistema. Esto no se podrá hacer con menos de 5 años de datos. Por lo tanto, recién a partir del año 2012 la Red podría estar completa con todos sus aspectos esenciales.

REFERENCIAS

Acosta, Vanessa; Lodeiros, César; Senior, William & Martínez, Gregorio (2002). “Niveles de metales pesados en sedimentos superficiales en tres zonas litorales de Venezuela”. *Interciencia*, año/vol 27, N° 12.

Aguirre, Igor (2005). “Antecedentes medio ambientales relativos al Humedal de Batuco”. Departamento de Geología Aplicada, SERNAGEOMIN.

American Public Health Association (1992). “Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater”. 18ª edición. Editado por Mary Ann H. Franson.

Aramayo, Orion (2006). “Consultaría para establecer una línea base y zonificación para la conservación de la biodiversidad en el sitio prioritario N° 6, Humedal de Batuco, de la Región Metropolitana de Santiago. Informe I”. Facultad de Ciencias, Universidad de Chile. Informe elaborado para la COREMA RMS.

Australian and New Zealand Environment and Conservation Council and Agriculture and Resource Management Council of Australia and New Zealand (2000). “Australian and New Zealand Guidelines for Fresh and Marine Water Quality”. Estrategia nacional para el manejo de la calidad del agua.

Beckie, Roger; Mayer, Uli; Smith, Leslie & Heagle, Drew (2005). “Apuntes curso Field Techniques in Groundwater Hydrology”. University of British Columbia and University of Calgary, Canada.

CED (2000). “Gestión Municipal: políticas, planes y programas ambientales. Experiencias en los Municipios de Alhué, El Bosque y Lampa”. Centro de Estudios para el Desarrollo. Ediciones del Segundo Centenario.

CEE (1978). “Directiva 78/659/CEE”.

Cerámica Santiago (2005). “Estudio de Impacto Ambiental (EIA) del Proyecto: Restauración, replantación y manejo en el área del Humedal de Batuco”.

CNR-Universidad de Chile-JICA (2003). “Metodología para la determinación de la calidad hídrica mediante comunidades biológicas en la cuenca del río Maipo”. Informe final.

CNR-IPLA (1984). “Proyecto Maipo. Estudio hidrológico e hidrogeológico”. Realizado por IPLA Ingenieros Consultores.

CONAF & SAG (2005). “Auditoria ambiental Humedal Laguna Batuco”. Informe N° 144/2005 Contraloría General de la República. Realizado por Verónica Opazo.

CONAMA (2006). “Anteproyecto de Normas Secundarias de Calidad Ambiental para la Protección de la Aguas Continentales Superficiales de la Cuenca del Río Maipo”. Resolución Exenta N° 0261.

CONAMA (2005). “Estrategia Nacional para la Conservación y Uso Racional de los Humedales en Chile”.

CONAMA-AC (1999). “Análisis de la contaminación de aguas subterráneas en la Región Metropolitana por aguas servidas”. Realizado por Ayala, Cabrera y Asociados LTDA.

Contreras, Manuel (2006). “Guía de Evaluación Ambiental de Humedales”. Versión Borrador.

COREMA RMS (2005). “Plan de acción Humedal Batuco 2005-2010. Para la implementación de la estrategia para la conservación de la biodiversidad en la Región Metropolitana de Santiago”.

Del Campo T., Paula (2000). “Antecedentes florísticos y vegetacionales del Humedal Laguna de Batuco”. Monografía presentada a la Escuela de Ecología y Paisajismo de la Facultad de Arquitectura y Bellas Artes de la Universidad Central de Chile, para optar al grado académico de Licenciado en Ciencias y Artes Ambientales. Profesor Guía Sebastián Teillier.

Delleur, Jacques W. (1999). “The Handbook of Groundwater Engineering”. CRC Press LLC.

DGA (2005). “Declaración área de restricción sectores hidrogeológicos de aprovechamiento común de Tilttil, Chacabuco-Polpaico, Lampa, Colina Sur, Santiago Norte y Santiago Central”.

DGA (2005). “Informe de Gestión 2004”.

DGA (2004). “Determinación de la disponibilidad de derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas en la cuenca del río Maipo hasta la confluencia con el estero Puangue”. S.D.T 171. Departamento de Administración de Recursos Hídricos.

DGA-AC (2000). “Modelo de simulación hidrológico operacional de la cuenca de los ríos Maipo y Mapocho”. S.I.T. 62. Realizado por Ayala, Cabrera y Asociados LTDA.

DGA (1991). “Normas y Procedimientos Hidrométricos”. Departamento de Hidrología.

DGA (1988). “Balance hídrico de Chile”.

DGA – Álamos y Peralta (1987). “Análisis crítico de la Red de Monitoreo de Aguas Subterráneas de la DGA”. Realizado por Álamos y Peralta Ingenieros Consultores LTDA.

DGA. “Protección de humedales (vegas y bofedales) en el norte de Chile”. María Angélica Alegría, Verónica Pozo, María Fernanda Rojas, Adrián Lillo.

DOH - CADE-IDEPE (2002). "Plan Maestro de evacuación y drenaje de aguas lluvias de la Provincia de Chacabuco. RM". Realizado por CADE-IDEPE Consultores en Ingeniería.

Dussaubat, Solange & Vargas, Ximena (2005). "Aforo en un Cauce Natural". Proyecto MECESUP UCH 0303. Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Chile.

Ecoamérica (2005). "Sin humedales, no hay agua". Revista N° 25.

ENAP-Universidad de Chile (2000). "Revisión y evaluación de los recursos de agua subterránea en la Región Metropolitana". Realizado por la División de Recursos Hídricos y Medio Ambiente, Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Chile.

EPA (2002). "Methods for evaluating wetland condition. #4 Study Design for Monitoring Wetlands". Office of Water.

EPA (2002). "Methods for evaluating wetland condition. #7 Wetlands Classification". Office of Water.

EPA (2001). "Threats to Wetlands". Office of Water. Office of Wetlands, Oceans and Watersheds.

EPA (2001). "Volunteer Wetland Monitoring. An introduction and resource guide". Office of Water. Office of Wetlands, Oceans and Watersheds.

EPA (2001). "Wetland Monitoring & Assessment". Office of Water. Office of Wetlands, Oceans and Watersheds.

EPA (2001). "Wetland Monitoring & Assessment. A technical framework". Office of Water. Office of Wetlands, Oceans and Watersheds.

EPA (1999). "America's Wetlands. Our vital link between land and water". Office of Water. Office of Wetlands, Oceans and Watersheds.

Espildora C., Basilio & Brown F., Ernesto (1975). "Elementos de Hidrología". Centro de Recursos Hidráulicos, Departamento de Obras Civiles, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile.

Espinoza C., Carlos (2004). "Apuntes curso de Aguas Subterráneas CI51J". Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Chile.

Falcon, E.; Castillo, O. & Valenzuela, M. (1970). "Hidrogeografía de la cuenca de Santiago". Publicación especial N° 3. Primera parte. Instituto de Investigaciones Geológicas, Chile.

Fernández M., Juan Cristóbal (2001). "Estudio geológico-ambiental para la planificación territorial del sector Tiltil-Santiago". Memoria de Título, Departamento de Geología, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile.

Gernes, Mark C. & Helgen, Judy C. (2002). "Indexes of biological integrity (IBI) for large depressional wetlands in Minnesota". Minnesota Pollution Control Agency.

Gernes, Mark C. & Helgen Judy C. (1999). "Indexes of biological integrity (IBI) for wetlands: vegetation and invertebrate IBIs". Minnesota Pollution Control Agency.

González A., Rodrigo (1999). "Modelación hidrogeológica de los acuíferos del valle del río Maipo en el Gran Santiago y sus alrededores". Memoria de Título, Departamento de Ingeniería Civil, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile.

INN (1996-98). "Norma Chilena Oficial 411. Calidad del agua – Muestreo".

INN (1978). "Norma Chilena Oficial 1.333. Requisitos de calidad del agua para diferentes usos".

Iriarte, Sergio (2003). "Vulnerabilidad a la contaminación de los acuíferos de la cuenca de Santiago". Carta Geológica de Chile, serie Geología Ambiental N° 4, escala 1:100.000. SERNAGEOMIN.

Kent, Donald M. (2001). "Applied Wetlands Science and Technology". CRC Press LLC.

Lawson, R. (2004). "Coordinating coastal wetlands monitoring in the north american Great Lakes". Great Lakes Coastal Wetland Consortium.

Mellado T., Claudia (2007). "Caracterización hídrica y gestión ambiental del Humedal Laguna de Batuco". Tesis de Magíster en Recursos Hídricos y Medio Ambiente, Departamento de Ingeniería Civil, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile. En preparación.

Ministerio de Medio Ambiente de BC, Canadá (2006). "British Columbia Approved Water Quality Guidelines".

Ministerio de Vivienda y Urbanismo (2005). "Ordenanza Plan Regulador Metropolitano de Santiago". Secretaria Ministerial. Departamento de Desarrollo Urbano e Infraestructura.

Ministerio Secretaría General de la Presidencia de la República (2002). "Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental". República de Chile.

Ministerio Secretaría General de la Presidencia de la República (2000). "D.S. N° 90: Norma de emisión para la regulación de contaminantes asociados a las descargas de residuos líquidos a aguas marinas y continentales superficiales". República de Chile

Minnesota Pollution Control Agency (2005). "Water of the State". Minnesota Rules: Chapter 7050.

Mitsch, William & Gosselink, James (2000). "Wetlands". 3era edición, John Wiley & Sons, Inc.

Morales J., Felipe (2000). "Definición de acuíferos en la cuenca del río Maipo". Memoria de Título, Departamento de Geología, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile.

Municipalidad de Lampa (2006). "Plan de Vigilancia y Contingencia Laguna de Batuco". Comisión Técnica Municipal Humedal de Batuco.

Municipalidad de Lampa (2005). "Compendio: Acciones locales para la conservación de la Laguna de Batuco y lineamientos estratégicos generales para su conservación". Comisión Técnica Municipal Humedal de Batuco.

Musalem J., Mónica (2002). "Bases para el manejo de humedales del Sistema Carén". Memoria de Título, Departamento de Ingeniería Civil, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile.

Ramsar (2004). "Manual de la Convención de Ramsar: Guía a la Convención sobre los Humedales (Ramsar, Irán, 1971)". 3era edición, Gland, Suiza.

República de Chile (1981). "Código de Aguas". Decreto con Fuerza de Ley 1.122.

Rodríguez J., Ignacio; Canales P., Pablo & Ibarra G., Ignacio (2005). "Establecimiento de un método para el monitoreo de la calidad del Humedal de Batuco. Primera Etapa: Línea Base". RAUCH.

Rodríguez, M.; Lastra, O.; González, C.; Barahona, E. & Iriarte, A. (2002). "Estudio de la variabilidad de las propiedades de las aguas del Humedal El Yali". III Jornadas de Investigación en Ciencia y Tecnología "Interrelación Universidad-Industria". Facultad de Ciencias Químicas y Farmacéuticas, Universidad de Chile.

Ryding, S.G. & Rast W. (1989). "The control of eutrophication of lakes and reservoirs". UNESCO (Paris) y The Parthenon Publishing Group.

Sancha, Ana María & Mellado, Claudia (2006). "Medidas de seguimiento del agua". Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Chile.

Sancha, Ana María (2003 y 2004). "Apuntes cursos Calidad del Agua y Comportamiento de Contaminantes en Medios Acuáticos". Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Chile.

Sánchez-Carrillo, S. & Álvarez-Cobelas, M. (2000). "Nutrient dynamics and eutrophication patterns in a semi-arid wetland: The effects of fluctuating hydrology". CSIS, Centro de Ciencias Medioambientales, Madrid, España.

Sotomayor M., Raúl (1964). "Estudio de prospección geofísica de las aguas subterráneas en la cuenca de Batuco". Memoria de Título, Departamento de Geología, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile.

Tabilo, Luis. "El Régimen de Propiedad en los Humedales en Chile". <http://www.dga.cl/otros/publicacioneslinea/archivos/humedales1.zip>

Tiner, Ralph W. (1999). "Wetland Indicators: A guide to wetland identification, delineation, classification, and mapping". CRC Press LLC.

Unión Europea (2000). "Directiva 2000/60/CE". Parlamento Europeo y Consejo de la Unión Europea.

US Army Corps of Engineers (1999). "The Highway Methodology Workbook Supplement. Wetland functions and values. A descriptive approach". New England District.

Valdivieso S., José Francisco (2005). "Análisis crítico de la Red de Monitoreo de Calidad de Aguas Subterráneas de la DGA, en la VI Región y Región Metropolitana". Memoria de Título, Departamento de Ingeniería Civil, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile.

Valenzuela B., Gloria (1978). "Suelo de fundación del Gran Santiago". Boletín N° 33. Instituto de Investigaciones Geológicas.

Wall Z., Renate; Sellés M., Daniel & Gana F., Paulina (1999). "Geología Área de Til-Til, Santiago, RM". Mapa Geológico N° 11, escala 1:100.000. SERNAGEOMIN.

WHO (2001). "Environmental Health Criteria 224, Arsenic and Arsenic Compounds". IPCS.

WHO (2001). "Environmental Health Criteria 221, Zinc". IPCS.

WHO (1992). "Environmental Health Criteria 135, Cadmium-Environmental Aspects". IPCS.

WHO (1990). "Environmental Health Criteria 107, Barium". IPCS.

Zenteno R., Pamela (2005). "Métodos biológicos para el control de la calidad de las aguas". Artículo técnico, revista AIDIS-Chile.

ANEXOS

ANEXO A

CLASIFICACIÓN DE HUMEDALES

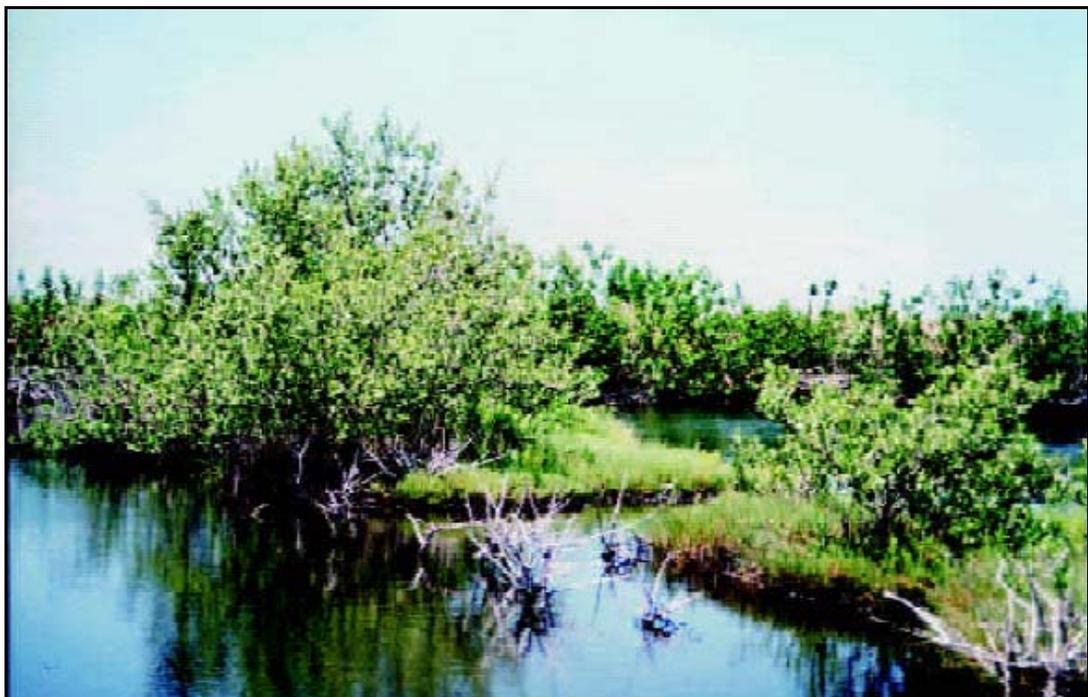
A.1 CLASIFICACIÓN HIDROGEOMÓRFICA

Figura A.1
Humedal de margen lacustre



Fuente: Methods for evaluating wetland condition. #7 Wetlands Classification. EPA, 2002.

Figura A.2
Humedal de margen marino



Fuente: Methods for evaluating wetland condition. #7 Wetlands Classification. EPA, 2002.

Figura A.3
Humedal ribereño



Fuente: Methods for evaluating wetland condition. #7 Wetlands Classification. EPA, 2002.

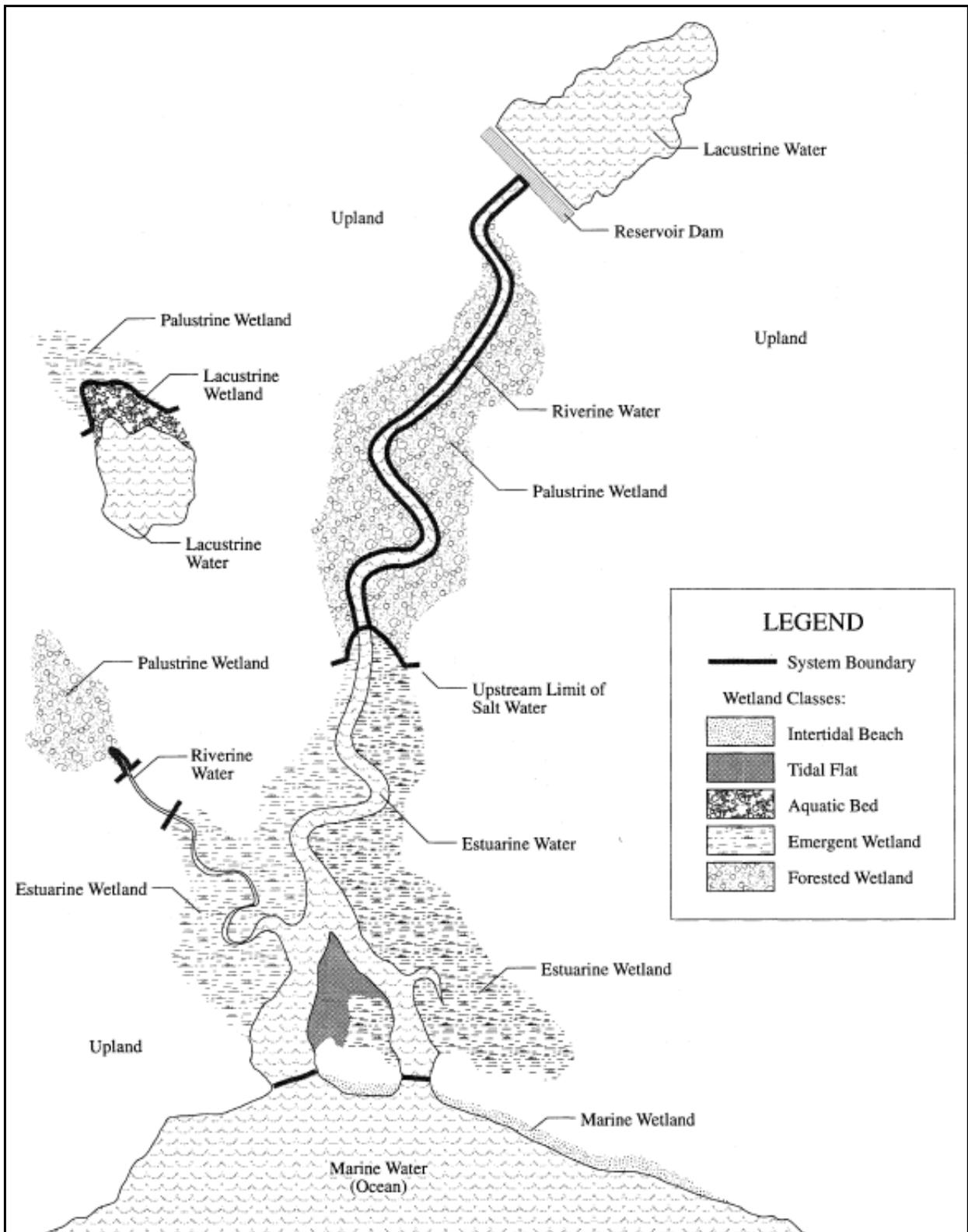
Figura A.4
Planicie de suelo mineral



Fuente: Methods for evaluating wetland condition. #7 Wetlands Classification. EPA, 2002.

A.2 CLASIFICACIÓN DEL FWS

Figura A.5
Esquema de la clasificación del FWS



Fuente: Tiner, 1999.

A.3 CLASIFICACIÓN BASADA EN EL HÁBITAT SHAW Y FREDINE

Tabla A.1

Comparación entre la Clasificación de Shaw y Fredine (Circular 39) y la de Cowardin

CIRCULAR 39 WETLAND CLASS	COWARDIN CLASSIFICATION SYSTEM		
	CLASSES	WATER REGIMES	WATER CHEMISTRY
Type 1-Seasonally flooded basins or flats	Emergent Wetland Forested Wetland	Temporarily Flooded Intermittently Flooded	Fresh Mixosaline
Type 2-Inland fresh meadows	Emergent Wetland	Saturated	Fresh Mixosaline
Type 3-Inland shallow fresh marshes	Emergent Wetland	Semipermanently Flooded Seasonally Flooded	Fresh Mixosaline
Type 4-Inland deep fresh marshes	Emergent Wetland Aquatic Bed	Permanently Flooded Intermittently Exposed Semipermanently Flooded	Fresh Mixosaline
Type 5 - Inland open fresh water	Aquatic Bed Unconsolidated Bottom	Permanently Flooded Intermittently exposed	Fresh Mixosaline
Type 6 - Shrub swamps	Scrub-shrub Wetland	All Nontidal Regimes except Permanently Flooded	Fresh
Type 7- Wooded swamps	Forested Wetland	All Nontidal Regimes except Permanently Flooded	Fresh
Type 8 - Bogs	Scrub-shrub Wetland Forested Wetland Moss-lichen Wetland	Saturated	Fresh (acid only)
Type 9 - Inland saline flats	Unconsolidated Shore	Seasonally flooded Temporarily flooded Intermittently Flooded	Eusaline Hypersaline
Type 10 - Inland saline marshes	Emergent Wetland	Semipermanently Flooded Seasonally Flooded	Eusaline
Type 11 - Inland open saline water	Unconsolidated Bottom	Permanently Flooded Intermittently Exposed	Eusaline
Type 12 - Coastal shallow fresh marshes	Emergent Wetland	Regularly Flooded Irregularly Flooded Semipermanently Flooded - tidal	Mixosaline Fresh
Type 13 - Coastal deep fresh marshes	Emergent Wetland	Regularly Flooded Semipermanently Flooded - tidal	Mixosaline Fresh
Type 14 -Coastal open fresh water	Aquatic Bed Unconsolidated Bottom	Subtidal Permanently flooded tidal	Mixosaline Fresh
Type 15 - Coastal salt flats	Unconsolidated Shore	Regularly Flooded Irregularly Flooded	Hyperhaline Euhaline
Type 16 - Coastal salt meadows	Emergent Wetland	Irregularly Flooded	Euhaline Mixohaline
Type 17 - Irregularly flooded salt marshes	Emergent Wetland	Irregularly Flooded	Euhaline Mixohaline
Type 18 - Regularly flooded salt marshes	Emergent Wetland	Regularly Flooded	Euhaline Mixohaline
Type 19 - Sounds and bays	Unconsolidated Bottom Aquatic Bed Unconsolidated Shore	Subtidal Irregularly Exposed Regularly Flooded Irregularly Flooded	Euhaline Mixohaline
Type 20 - Mangrove swamps	Scrub-shrub Wetland Forested Wetland	Irregularly Exposed Regularly Flooded Irregularly Flooded	Hyperhaline Euhaline Mixohaline Fresh

Fuente: Methods for evaluating wetland condition. #7 Wetlands Classification, EPA, 2002.

ANEXO B

ESTACIONES Y MÉTODOS FLUVIOMÉTRICOS

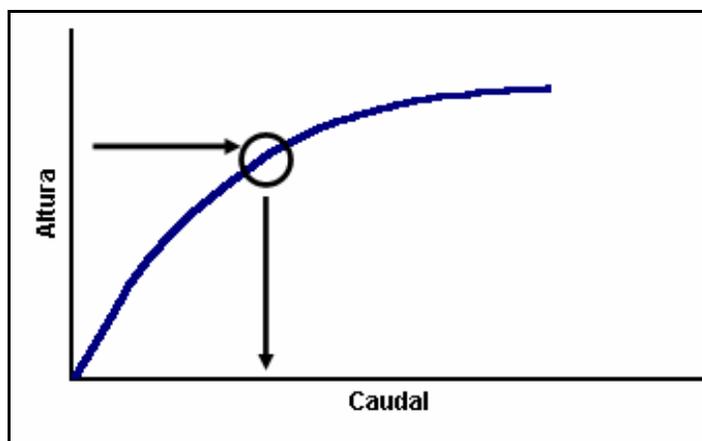
B.1 ESTACIÓN CON CURVA DE DESCARGA

La curva de descarga se logra de una serie de aforos efectuados en la sección de medida, determinándose diferentes caudales Q_1, Q_2, \dots, Q_N correspondientes a diferentes alturas de agua H_1, H_2, \dots, H_N . Por medio de esta curva se puede determinar el caudal $Q(t)$ a partir de la medición de las alturas de agua $H(t)$. Con tan sólo 3 pares de mediciones en meses seguidos es suficiente para construir esta curva.

Durante el período de crecidas el encargado del monitoreo de caudales o hidromensor deberá tratar de aforar alguna de las mayores crecidas que se produzcan en dicha estación para poder trazar la parte alta de la curva de descarga. Si no se ha podido aforar la crecida, el hidromensor deberá estacar el rastro de las aguas máximas y realizar el levantamiento topográfico del eje hidráulico.

Cuando la estación sea de lecho móvil deberá aumentarse la frecuencia de los aforos cuando se detecte un cambio de la curva de descarga.

Figura B.1
Curva de descarga



Fuente: Elaboración propia.

De esta forma, lo único que se necesita para obtener el caudal es el nivel de aguas del cauce. Según la Dirección General de Aguas (DGA, 1991)¹¹, en este tipo de estaciones se deben considerar las siguientes partes: sección limnimétrica y/o limnigráfica, sección de aforos y control.

B.1.1 Sección Limnimétrica y/o Limnigráfica

En esta zona del río, estero o canal se mide el nivel de la superficie del agua con el objeto de obtener, a través de la curva de descarga, el caudal. El nivel del agua debe estar referido a un punto de referencia que puede tener una cota arbitraria o ser el nivel del mar. Este nivel se mide en una regla denominada limnómetro, o en conjunto con un instrumento de registro continuo denominado limnógrafo.

¹¹ Normas y Procedimientos Hidrométricos.

Las condiciones que debe cumplir una sección limnigráfica son las siguientes:

- a) Estabilidad: Para que la relación entre caudal y altura de agua, sea válida por un largo período de tiempo. Para esto, la sección donde se colocan las reglas limnimétricas no debe sufrir alteraciones. Por razones hidráulicas, estas condiciones deben extenderse aguas arriba unas tres veces el ancho de la sección. Estos requisitos en general se obtienen en un lecho rocoso o bajo régimen estable de río.
- b) Sensibilidad: Es la propiedad que tiene una sección para que un pequeño incremento de caudal corresponda un fuerte incremento de nivel.
- c) Ausencia de oleaje: En caso de ser necesario debe recurrirse a pozos tranquilizantes, comunicados al río por tubos, y en cuyo interior se puede medir el nivel (stilling well).
- d) Niveles no afectados por obras hidráulicas: Los limnímetros no deben colocarse cerca de tomas o descargas de obras hidráulicas.
- e) Alejado de confluencias: No pueden quedar influenciados por reflujos o remansos. Por lo tanto, en los tributarios a humedales es necesario que la sección quede lo suficientemente alejada del cuerpo de agua.

Es recomendable usar uno o dos puntos de referencia ubicados fuera del cauce del río. Puede usarse una roca grande o un monolito artificial que no puedan ser movidos por el agua.

B.1.1.1 Instalaciones limnimétricas

El limnímetro es una regla graduada de centímetro en centímetro y numerada generalmente de decímetro en decímetro.

En terreno, los limnímetros se colocan de manera vertical en uno o varios tramos.

Las planchas del limnímetro pueden ser de varios tipos, siendo las más empleadas de:

- a) Hierro fundido.
- b) Hierro enlosado o esmaltado.
- c) Madera o pilotes pintados o pirograbados.

El uso de pilotes de madera pintados no se recomienda debido a que sus marcas pueden borrarse y a que pueden alterarse con el tiempo.

El uso de los limnímetros esmaltados está confinado a los casos en que no exista acarreo de piedras o palos que los pueda dañar.

La colocación de estos limnímetros debe considerar:

- a) Seguridad de que no se producirán cambios en su nivel. Para ello se recomienda su colocación adosados a rocas, machones de puentes, u otras estructuras masivas. Estas medidas aseguran también que no sean robados. Una práctica recomendable, en los casos en que no sea posible lo anterior, es apoyar los

limnómetros en rieles, o perfiles que han sido anclados en grandes masas de concreto.

- b) Colocación del limnómetro de modo que no altere el escurrimiento hidráulico. La colocación de la plancha debe ser en lo posible paralela a la corriente, aceptándose desviaciones de hasta 45° orientadas aguas abajo, o 10° orientadas aguas arriba.
- c) El limnómetro debe poder leerse fácilmente. Debe proveerse de facilidades de acceso para que la lectura del limnómetro se haga con comodidad y seguridad.

Los limnómetros deben ser nivelados con respecto al punto de referencia cada 2 años y también después de las crecidas.

B.1.2 Sección de Aforos

Midiendo el caudal aquí y el nivel del agua en la sección limnimétrica sistemáticamente en el tiempo, se puede ir construyendo la curva de descarga. Luego de realizado esto, esta sección sólo será utilizada para corroborar esta relación. A modo de referencia, la DGA corrobora sus curvas de descarga una vez al mes. En el caso de estaciones importantes desde el punto de vista hidrológico (por ejemplo, para el proyecto de una obra hidráulica importante), la frecuencia debe ser de 2 veces al mes.

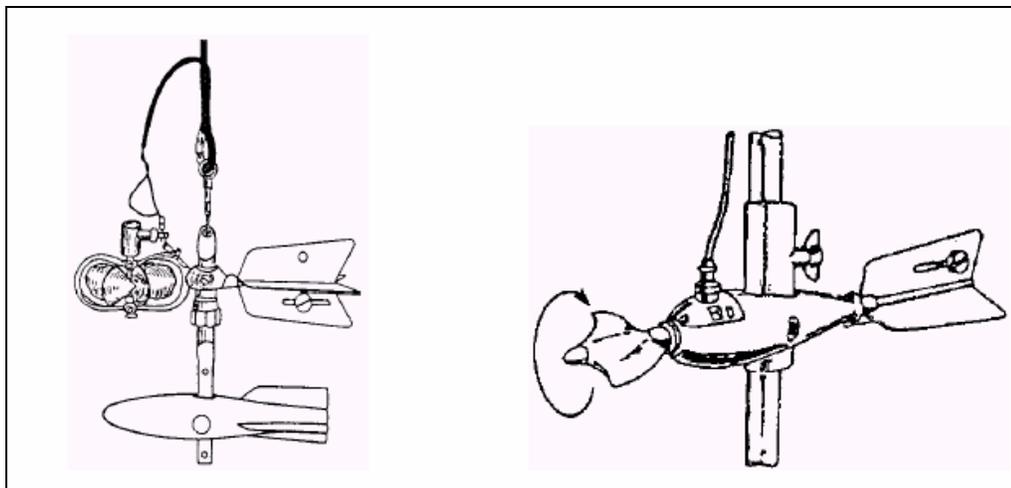
Los limnómetros deben ser leídos antes y después del aforo. La lectura debe realizarse, en lo posible, con precisión de 0,5 cms.

El método usual de aforo es con molinete. El molinete es un instrumento que tiene una hélice o rueda de cazoletas, que gira al introducirla en una corriente de agua. En ambos casos la velocidad de rotación es proporcional a la velocidad de la corriente; se cuenta el número de revoluciones en un tiempo dado.

Figura B.2
Tipo de Molinetes

i) Rueda de cazoletas (eje vertical)

ii) Hélice (eje horizontal)



Fuente: Dussaubat y Vargas, 2005.

El caudal se puede obtener multiplicando la velocidad por el área correspondiente a la sección o subsección medida. Las mediciones de velocidad son puntuales, por lo tanto, mientras más mediciones se hagan en distintos lugares de la sección (subsecciones) más precisa será la medida del caudal total. De hecho, es recomendable que en cada subsección pase un máximo del 10% del caudal total de la sección.

B.1.2.1 Aforo con molinete

Las condiciones ideales que debe reunir una sección de aforo con molinete son las siguientes:

- a) Debe estar situada sobre un tramo recto de sección uniforme y pendiente constante a lo largo del curso. Se recomienda que el tramo recto tenga un largo de por lo menos tres veces el ancho de la sección hacia aguas arriba y hacia aguas abajo.
- b) La sección de aforo debe tener una distribución pareja de velocidades, evitándose aquellas en que existan sectores de altas velocidades, aguas muertas, contracorrientes o remolinos. El lecho no debe tener rocas que produzcan escurrimientos turbulentos que golpeen el molinete. Tampoco conviene utilizar secciones fangosas o con mucha vegetación. De ser esta la situación se debe llevar a cabo una limpieza previa.
- c) Lejos de la confluencia con otros cauces de modo de evitar remansos o reflujos que alteren las mediciones.
- d) El aforo debe efectuarse en lo posible siempre en la misma sección. Para esto se debe hacer una marca perpendicular al sentido de la corriente.
- e) En lo posible debe ser coincidente o cercana a la sección limnimétrica.
- f) Profundidad suficiente para que aún en gastos de estiaje sea posible medir velocidades en 2 o 3 puntos de cada vertical.
- g) Debe ser accesible.

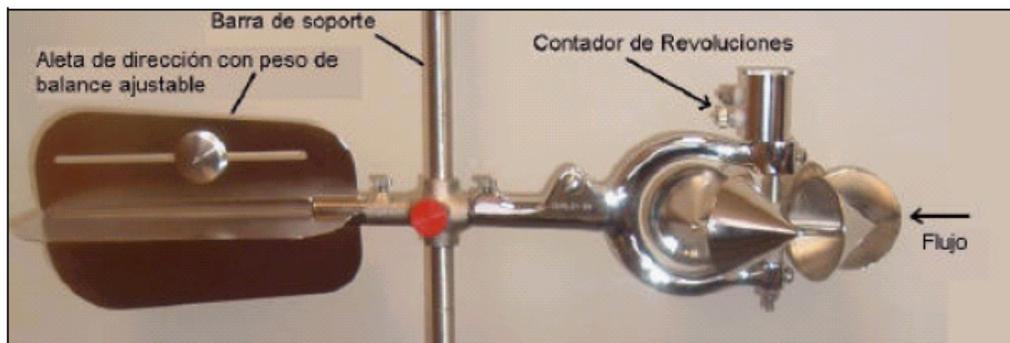
a) Materiales

- i. Molinete que consta básicamente de:
 - Secciones de barras;
 - rueda de cazoletas (eje vertical) Price;
 - audífonos.
- ii. Cronómetro
- iii. Huincha
- iv. Cable o cuerda

El molinete envía señales sonoras a los audífonos cuando la rueda completa una o cinco vueltas en el eje de giro, dependiendo del ajuste que se le haga. Opera para un rango de 0 a 7,6 m/seg. No se recomienda si la velocidad es menor a 0,1 m/seg.

Para cursos de agua pequeños y de poca profundidad existe la versión de este molinete en tamaño reducido llamado Pigmeo o micromolinete.

Figura B.3
Partes del molinete de eje vertical

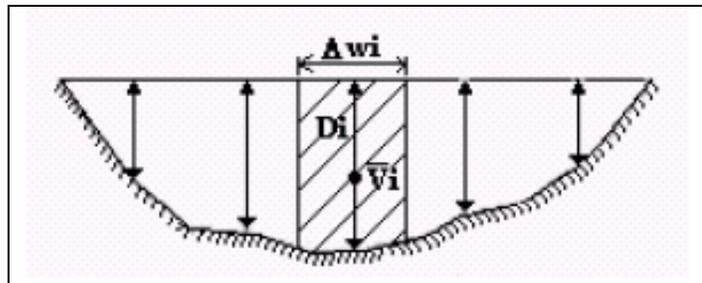


Fuente: Dussaubat y Vargas, 2005.

b) Metodología

- i. Se determina la sección de aforos, según las recomendaciones anteriores. Esta sección debe ser perpendicular a la dirección del flujo. Para asegurarse de eso se puede cruzar un cable o cuerda de un extremo a otro de la sección.
- ii. Luego, se mide el ancho de la sección de modo de poder determinar dónde se realizarán las mediciones.
- iii. Según sea el grado de precisión que se quiera obtener en el aforo, se tomarán mayor o menor número de puntos de medida en la sección. Cuando se pretende obtener una alta precisión, se elegirán mayor número de verticales en la sección y se calculará la velocidad media en cada vertical. Para cada sección entre dos verticales de medida, el área se calcula como el producto del promedio del alto por el ancho, y la velocidad media como el promedio de las velocidades medias en las verticales. El caudal de cada sección resulta directamente como el producto del área y la velocidad media, mientras que el caudal total se calcula como la suma de los caudales entre verticales.

Figura B.4
Caudal en una subsección



Fuente: Dussaubat y Vargas, 2005.

$$Q = \sum_{i=1}^n \bar{V}_i D_i \Delta w_i \quad (\text{Ecuación B.1})$$

Debe procurarse que por la sección determinada por dos verticales de medida no pase más de un décimo del total del caudal. Cerca de las orillas y de las pilas en el caso de puentes, deben ser tomadas más verticales. Jamás debe medirse con menos de 3 verticales.

- iv. En cada vertical se medirá tanto su profundidad como su distancia con respecto a una de las orillas de la sección.
- v. Los molinetes pueden ir montados en barras o suspendidos de cables. El aforo con molinete suspendido de cable puede realizarse desde puentes, cable y carro, balsas, etc. Al aforar con barras puede operarse a pie o desde un puente. Los aforos a pie son adecuados para profundidades pequeñas y tratándose sólo de cursos de agua de poca velocidad.
- vi. Al realizar las mediciones de velocidad debe cuidarse de mantener el molinete siempre orientado normalmente a la sección de aforo delineada. Si las mediciones se hacen a pie, las piernas del aforador deben quedar alejadas del molinete aguas abajo y orientadas según el sentido del escurrimiento.
- vii. Observando la frecuencia de las señales puede deducirse si la hélice gira uniformemente. En caso que el movimiento permanezca irregular debe determinarse y registrarse el origen de esta anomalía (por ejemplo: presencia de una roca en el fondo, o de un hoyo, falla instrumental, etc.).
- viii. La medida en un punto debe durar por lo menos 60 seg, o en su defecto para pequeñas velocidades debe registrarse un número de tres señales. Se comienza a medir el tiempo al iniciarse una señal y se termina la medida al comenzar nuevamente una señal pasado los 60 seg.
- ix. El lugar y la cantidad de puntos en donde se medirá la velocidad en la vertical dependerá del método utilizado. Una vez terminada una vertical se procederá a medir otra y así sucesivamente hasta terminar con la sección.

c) Determinación de la velocidad media en la vertical

La velocidad media del agua en cada vertical puede determinarse mediante los siguientes métodos, dependiendo del tiempo disponible y teniendo en consideración el ancho, la profundidad del agua, las condiciones del lecho, los cambios de nivel, así como la precisión con que se desea operar:

i. Método de los puntos: Se deben realizar distintas observaciones de velocidad en cada vertical dependiendo de la profundidad del curso del agua. Para secciones de poca profundidad (menores a 60 cm) se realizan observaciones en cada vertical colocando el molinete a 0,6 de la profundidad total por debajo de la superficie libre. Para profundidades superiores, generalmente, se mide la velocidad a 0,2 y luego a 0,8 de la profundidad de la superficie libre y se usa el promedio de las dos medidas como la velocidad media en la vertical. En la Tabla B.1 se resumen los antecedentes necesarios para el cálculo de la velocidad media de acuerdo a la profundidad del cauce.

Según la DGA¹², hacer una sola medición en la vertical representa un método aproximado que se utiliza para deducir curvas de descarga.

¹² Normas y Procedimientos Hidrométricos, 1991.

Tabla B.1
Método de los puntos

Número de mediciones	Profundidad del curso de agua (cm)	Puntos de observación (medidos desde la superficie libre)	Velocidad media
1	30 - 60	0.6 D	$V_{media} = V_{0.6}$
2	60 - 300	0.2 y 0.8 D	$V_{media} = 0.5 (V_{0.2} + V_{0.8})$
3	300 - 600	0.2, 0.6 y 0.8 D	$V_{media} = 0.25 (V_{0.2} + 2V_{0.6} + V_{0.8})$
5	+ 600	30 cm, 0.2, 0.6, 0.8 y 30 cm sobre el fondo	$V_{media} = 0.1 (V_{superior} + 3V_{0.2} + 2V_{0.6} + 3V_{0.8} + V_{fondo})$

Donde D = profundidad del agua

Fuente: Dussaubat y Vargas, 2005.

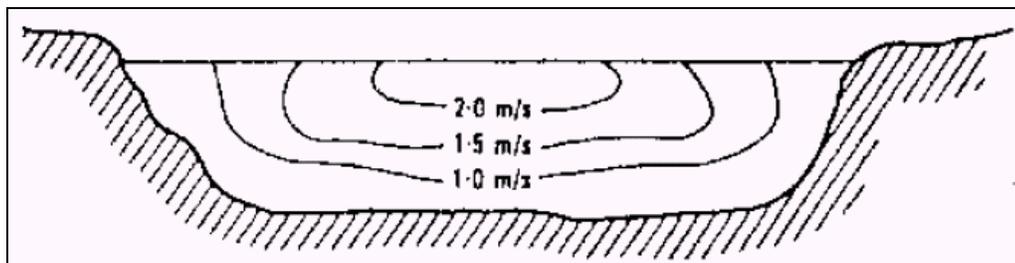
ii. Método de múltiples puntos: Consiste en medir velocidades en muchas posiciones de la vertical para definir el perfil de velocidad bastante bien y así calcular una velocidad media lo suficientemente exacta. El método es muy preciso, dependiendo del número de puntos de referencia medidos para el perfil, pero requiere de mucho tiempo.

iii. Método superficial: Implica medir la velocidad cerca de la superficie libre y después multiplicarla por un coeficiente que va desde 0,85 a 0,95, dependiendo de la profundidad del agua, de la velocidad, y de la naturaleza del río o canal. La dificultad de determinar el coeficiente exacto limita la utilidad y la exactitud de este método. En general, se utiliza para medir la velocidad en crecidas, en donde no se recomienda efectuar un aforo convencional, para proteger los equipos hidrométricos.

iv. Método de integración: En este método el molinete es sumergido y elevado a lo largo de toda la vertical a una velocidad uniforme. La velocidad de ascenso o descenso del molinete no deberá ser superior al 5% de la velocidad media del flujo en toda la sección transversal y en todo caso deberá estar comprendida entre 0.04 y 0.10 m/s. Se determina el número de revoluciones por segundo. En cada vertical se realizan dos ciclos completos y, si los resultados difieren de más de 10%, se repite la medición.

v. Curvas Isotáquicas: Consiste en trazar líneas de igual velocidad en el perfil del cauce y obtener la velocidad media de la sección por integración directa.

Figura B.5
Ejemplo de curvas isotáquicas para un cauce



Fuente: Dussaubat y Vargas, 2005.

d) Cálculo de la velocidad

Según la cantidad de vueltas que dé el molinete en un cierto tiempo es posible calcular la velocidad del agua. De hecho, antes de ser usados en el campo, deben ser calibrados por el fabricante para determinar la relación entre la velocidad de rotación de la hélice y la velocidad del agua. La Tabla B.2 es la correspondiente al molinete usado en terreno (marca Gurley, modelo 622 A).

Tabla B.2

TABLA DE CONVERSIÓN PARA MEDIDOR DE CAUDAL N° 622																	
Velocidad en m/s																	
Time in Secs.	1 Rev.	2 Rev.	3 Rev.	5 Rev.	10 Rev.	20 Rev.	30 Rev.	40 Rev.	50 Rev.	60 Rev.	70 Rev.	80 Rev.	90 Rev.	100 Rev.	150 Rev.	200 Rev.	Time in Secs.
40	0.027	0.046	0.064	0.094	0.177	0.344	0.512	0.680	0.847	1.014	1.189	1.356	1.527	1.695	2.542	3.389	40
41	0.027	0.046	0.061	0.091	0.174	0.335	0.500	0.664	0.826	0.994	1.161	1.323	1.490	1.655	2.481	3.307	41
42	0.027	0.043	0.061	0.091	0.171	0.326	0.488	0.649	0.808	0.969	1.134	1.292	1.454	1.615	2.423	3.228	42
43	0.027	0.043	0.061	0.088	0.165	0.320	0.475	0.634	0.789	0.948	1.106	1.262	1.420	1.579	2.368	3.152	43
44	0.027	0.043	0.058	0.085	0.162	0.314	0.466	0.619	0.771	0.927	1.082	1.231	1.387	1.542	2.313	3.078	44
45	0.027	0.043	0.058	0.085	0.158	0.308	0.457	0.607	0.756	0.905	1.058	1.204	1.356	1.509	2.262	3.008	45
46	0.027	0.043	0.058	0.085	0.155	0.302	0.448	0.594	0.741	0.884	1.031	1.180	1.326	1.475	2.213	2.941	46
47	0.024	0.043	0.055	0.082	0.152	0.296	0.439	0.582	0.725	0.866	1.011	1.155	1.298	1.445	2.167	2.880	47
48	0.024	0.043	0.055	0.079	0.149	0.290	0.430	0.570	0.710	0.847	0.991	1.131	1.271	1.414	2.121	2.819	48
49	0.024	0.040	0.055	0.079	0.146	0.283	0.421	0.558	0.695	0.829	0.969	1.106	1.247	1.384	2.076	2.761	49
50	0.024	0.040	0.052	0.079	0.143	0.277	0.411	0.546	0.680	0.814	0.951	1.085	1.222	1.356	2.033	2.710	50
51		0.040	0.052	0.076	0.140	0.274	0.402	0.533	0.668	0.799	0.933	1.064	1.198	1.329	1.993	2.658	51
52		0.040	0.052	0.076	0.140	0.268	0.393	0.524	0.655	0.783	0.914	1.042	1.173	1.305	1.957	2.609	52
53		0.040	0.049	0.073	0.137	0.262	0.387	0.515	0.643	0.768	0.896	1.024	1.152	1.280	1.920	2.560	53
54		0.040	0.049	0.073	0.134	0.256	0.381	0.506	0.631	0.753	0.879	1.006	1.131	1.256	1.894	2.512	54
55		0.040	0.049	0.073	0.131	0.253	0.375	0.497	0.619	0.741	0.863	0.988	1.109	1.234	1.850	2.466	55
56		0.037	0.049	0.070	0.131	0.250	0.369	0.488	0.607	0.728	0.847	0.969	1.091	1.213	1.817	2.423	56
57		0.037	0.049	0.070	0.128	0.244	0.363	0.479	0.597	0.716	0.832	0.951	1.073	1.192	1.786	2.360	57
58		0.037	0.046	0.067	0.125	0.241	0.357	0.469	0.588	0.704	0.817	0.936	1.055	1.170	1.756	2.341	58
59		0.037	0.046	0.067	0.125	0.238	0.351	0.460	0.579	0.692	0.802	0.920	1.036	1.149	1.725	2.301	59
60		0.037	0.046	0.067	0.122	0.235	0.344	0.451	0.570	0.680	0.789	0.905	1.018	1.131	1.693	2.262	60
61		0.037	0.046	0.067	0.119	0.229	0.338	0.445	0.561	0.668	0.777	0.890	1.003	1.113	1.667	2.225	61
62		0.034	0.046	0.064	0.119	0.226	0.332	0.439	0.552	0.658	0.765	0.875	0.988	1.094	1.640	2.188	62
63		0.034	0.043	0.064	0.116	0.223	0.326	0.433	0.543	0.649	0.753	0.860	0.972	1.076	1.615	2.155	63
64		0.034	0.043	0.064	0.116	0.219	0.320	0.427	0.533	0.640	0.741	0.844	0.957	1.061	1.591	2.121	64
65		0.034	0.043	0.061	0.113	0.216	0.314	0.421	0.524	0.631	0.728	0.832	0.942	1.045	1.567	2.088	65
66		0.034	0.043	0.061	0.113	0.213	0.311	0.415	0.515	0.622	0.716	0.820	0.927	1.030	1.542	2.057	66
67		0.034	0.043	0.061	0.110	0.210	0.308	0.408	0.506	0.611	0.707	0.808	0.911	1.015	1.518	2.027	67
68		0.034	0.043	0.061	0.110	0.207	0.305	0.402	0.500	0.604	0.698	0.796	0.899	1.000	1.497	1.996	68
69		0.034	0.040	0.058	0.107	0.204	0.302	0.396	0.494	0.594	0.689	0.783	0.887	0.985	1.475	1.966	69
70		0.034	0.040	0.058	0.107	0.201	0.299	0.390	0.488	0.585	0.680	0.771	0.875	0.969	1.454	1.939	70

Esta tabla se aplica cuando las mediciones son hechas con un medidor suspendido por cable. Cuando las mediciones son hechas con un medidor suspendido por barra, la velocidad tabulada se reduce en un 2%.

Fuente: Dussaubat y Vargas, 2005.

Una prueba sencilla que permite establecer rápidamente en terreno el estado de calibración en que se encuentra el molinete es dar un impulso fuerte a la hélice en un lugar cerrado y protegido del viento. La hélice debe mantenerse girando sobre 90 seg. Un tiempo menor es índice de falta de mantenimiento o descalibración. A esta prueba se le denomina prueba de giro.

B.1.2.2 Otros métodos de aforo

Otros métodos de aforo, menos usados, son los aforos volumétricos, aforos por dilución (químicos, isótopos radioactivos, etc.), sensores de inducción magnética, flotadores (cáscara de naranja u otros más sofisticados), etc.

B.1.3 Control

Cuando no se pueda encontrar un sector estable, se pueden proyectar obras artificiales, ya sea revistiendo totalmente la sección, o haciendo un control artificial (angostamiento, vertedero, etc.) aguas abajo de la estación para garantizar la estabilidad de la variación de niveles en un régimen de río y mantener así una buena curva de descarga para la estación.

B.2 ESTACIÓN CON VERTEDERO

La altura de carga sobre un vertedero sirve como medida de la cantidad de agua escurrida. Los vertederos se construyen en corrientes abiertas transversalmente al escurrimiento. Para mediciones exactas deben considerarse únicamente los vertederos con escurrimiento libre.

Para medir corrientes naturales donde no se exige gran exactitud, se puede usar cualquier forma de vertedero como también cualquier forma de pared. En estos casos, se debe tener en cuenta que no existen vertederos estándar calibrados, por lo cual cada vertedero que se construya en éstas condiciones debe ser tarado por medio de molinetes.

B.3 ESTACIÓN CON CANALETA PARSHALL

Se emplea comúnmente en las plantas de tratamiento de agua, en zonas de intenso regadío en las que generalmente circulan aguas con mucho sedimento y preferentemente en los cursos bajos de los sistemas fluviales en los que a causa de la poca pendiente los vertederos de barrera vertical producen pérdidas de carga demasiado elevadas y dejan influenciados sectores situados aguas arriba aún cuando estos se encuentran alejados del control.

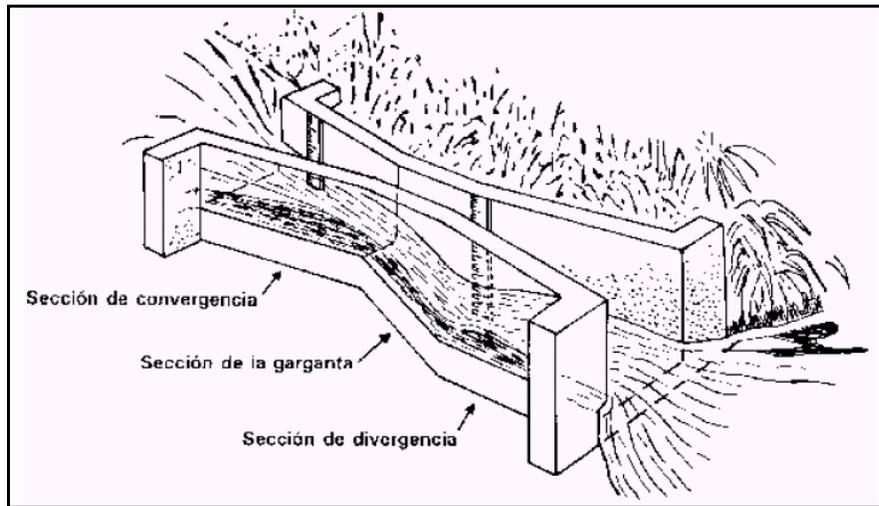
El medidor consiste en una sección convergente con el fondo a nivel, una sección de garganta con el fondo con pendiente descendente y una sección divergente con el fondo con pendiente ascendente. Gracias a ello el agua escurre a velocidad crítica a través de la garganta.

Debido al flujo crítico, si se mide una altura al final de la sección convergente se puede obtener el caudal mediante una relación que depende de cada tipo de canaleta.

Las Canaletas Parshall sirven para medir un rango de caudales limitado por su geometría.

La metodología de diseño de las Canaletas Parshall aparece a continuación. Sin embargo, debido a que su geometría debe ser precisa, su construcción debe ser muy buena. Es por esto que muchas veces se contratan a empresas especialistas en este tipo de aforadores para que realicen su diseño y construcción.

Figura B.6
Componentes principales de la Canaleta Parshall



Fuente: Dussaubat y Vargas, 2005.

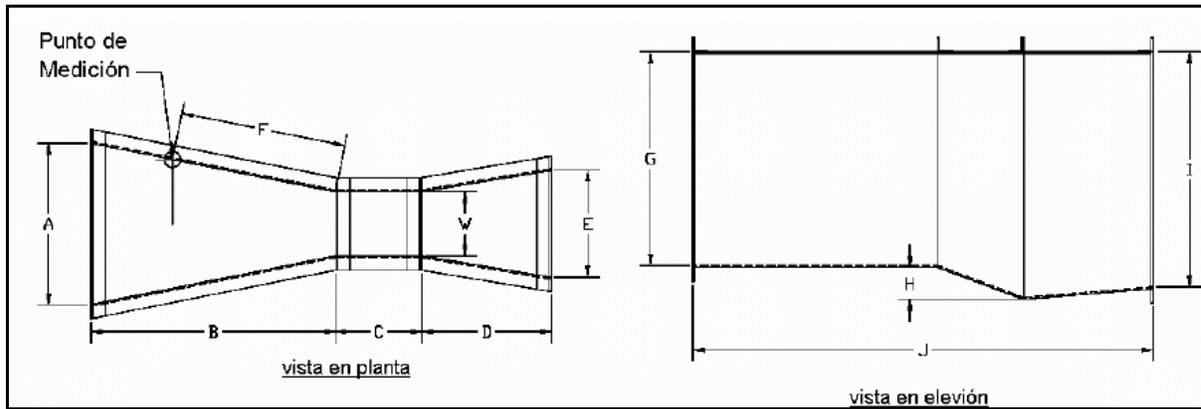
B.3.1 Diseño de una Canaleta Parshall

Tabla B.3
Rangos de caudales según medidas

W	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	MAX. FLOW GPM	MAX. FLOW CFS
1'	6 ¹⁹ / ₃₂ '	14"	3'	8"	3 ²¹ / ₃₂ '	9 ¹⁷ / ₃₂ '	9"	1 ⁸ / ₈ '	9 ⁷ / ₈ '	25"	2	85
2'	8 ¹³ / ₃₂ '	16"	4 ¹ / ₂ '	10"	5 ⁵ / ₁₆ '	10 ⁷ / ₈ '	9"	1 ¹¹ / ₁₆ '	9 ⁷ / ₈ '	30 ¹ / ₂ '	3	194
3'	10 ³ / ₁₆ '	18"	6"	12"	7"	12 ¹ / ₂ '	24"	2 ¹ / ₂ '	25"	36"	4	308
6'	15 ⁵ / ₈ '	24"	12"	24"	15 ¹ / ₂ '	16 ⁵ / ₁₆ '	24"	4 ¹ / ₂ '	27"	60"	23	1,382
9'	22 ⁵ / ₈ '	34"	12"	18"	15"	23 ⁵ / ₈ '	30"	4 ¹ / ₂ '	33"	64"	41	2,801
12'	33 ¹ / ₄ '	52 ⁷ / ₈ '	24"	36"	24"	36"	36"	9"	39"	112 ⁷ / ₈ '	146	7,336
18'	40 ³ / ₈ '	55 ⁵ / ₈ '	24"	36"	30"	38"	36"	9"	39"	115 ⁷ / ₈ '	229	11,040
21'	43 ¹⁵ / ₁₆ '	57 ³ / ₈ '	24"	36"	30"	38"	36"	9"	39"	117 ³ / ₈ '	261	12,929
24'	47 ¹ / ₂ '	58 ⁷ / ₈ '	24"	36"	36"	40"	36"	9"	39"	118 ⁷ / ₈ '	296	14,653
30'	54 ³ / ₄ '	61 ⁷ / ₈ '	24"	36"	42"	42"	36"	9"	39"	121 ⁷ / ₈ '	366	18,721
36'	61 ⁷ / ₈ '	64 ³ / ₄ '	24"	36"	48"	44"	36"	9"	39"	124 ³ / ₈ '	434	22,618
48'	76 ¹ / ₄ '	70 ⁵ / ₈ '	24"	36"	60"	48"	36"	9"	39"	120 ⁵ / ₈ '	567	30,484
60'	90 ⁵ / ₈ '	76 ¹ / ₂ '	24"	36"	72"	52"	36"	9"	39"	126 ¹ / ₂ '	995	38,426
72'	105'	82 ³ / ₈ '	24"	36"	84"	56"	36"	9"	39"	142 ³ / ₈ '	1,181	46,431
84'	119 ³ / ₈ '	88 ¹ / ₂ '	24"	36"	96"	60"	36"	9"	39"	148 ¹ / ₂ '	1,828	54,489
96'	132 ³ / ₄ '	94 ⁵ / ₈ '	24"	36"	108"	64"	36"	9"	39"	154 ⁵ / ₈ '	2,076	62,591
120'	187 ¹ / ₄ '	168"	36"	72"	144"	72"	48"	13 ¹ / ₂ '	54"	276"	2,575	162,414
144'	216 ³ / ₄ '	192"	36"	96"	176"	80"	60"	13 ¹ / ₂ '	66"	324"	3,057	275,541

Fuente: Dussaubat y Vargas.

Figura B.7
Medidas de una Canaleta Parshall



Fuente: Dussaubat y Vargas.

ANEXO C

REQUISITOS DE MANIPULACIÓN Y PRESERVACIÓN DE LAS MUESTRAS

Tabla C.1
Requisitos de manipulación y preservación de las muestras

Determination	Container	Minimum Sample Size mL	Preservation	Maximum Storage Recommended/ Regulatory†
Acidity	P, G(B)	100	Refrigerate	24 h/14 d
Alkalinity	P, G	200	Refrigerate	24 h/14 d
BOD	P, G	1000	Refrigerate	6 h/48 h
Boron	P	100	None required	28 d/6 months
Bromide	P, G	—	None required	28 d/28 d
Carbon, organic, total	G	100	Analyze immediately; or refrigerate and add HCl to pH<2	7 d/28 d
Carbon dioxide	P, G	100	Analyze immediately	stat/N.S.
COD	P, G	100	Analyze as soon as possible, or add H ₂ SO ₄ to pH<2; refrigerate	7 d/28 d
Chlorine, residual	P, G	500	Analyze immediately	0.5 h/stat
Chlorine dioxide	P, G	500	Analyze immediately	0.5 h/N.S.
Chlorophyll	P, G	500	30 d in dark	30 d/N.S.
Color	P, G	500	Refrigerate	48 h/48 h
Conductivity	P, G	500	Refrigerate	28 d/28 d
Cyanide:				
Total	P, G	500	Add NaOH to pH>12, refrigerate in dark	24 h/14 d; 24 h if sulfide present
Amenable to chlorination	P, G	500	Add 100 mg Na ₂ S ₂ O ₃ /L	stat/14 d; 24 h if sulfide present
Fluoride	P	300	None required	28 d/28 d
Hardness	P, G	100	Add HNO ₃ to pH<2	6 months/6 months
Iodine	P, G	500	Analyze immediately	0.5 h/N.S.
Metals, general	P(A), G(A)	—	For dissolved metals filter immediately, add HNO ₃ to pH<2	6 months/6 months
Chromium VI	P(A), G(A)	300	Refrigerate	24 h/24 h
Copper by colorimetry*	P(A), G(A)	500	Add HNO ₃ to pH<2, 4°C, refrigerate	28 d/28 d
Mercury	P(A), G(A)	500	Add HNO ₃ to pH<2, 4°C, refrigerate	28 d/28 d
Nitrogen:				
Ammonia	P, G	500	Analyze as soon as possible or add H ₂ SO ₄ to pH<2, refrigerate	7 d/28 d
Nitrate	P, G	100	Analyze as soon as possible or refrigerate	48 h/48 h (28 d for chlorinated samples)
Nitrate + nitrite	P, G	200	Add H ₂ SO ₄ to pH<2, refrigerate	none/28 d
Nitrite	P, G	100	Analyze as soon as possible or refrigerate	none/48 h
Organic, Kjeldahl	P, G	500	Refrigerate; add H ₂ SO ₄ to pH<2	7 d/28 d
Odor	G	500	Analyze as soon as possible; refrigerate	6 h/N.S.
Oil and grease	G, wide-mouth calibrated	1000	Add H ₂ SO ₄ to pH<2, refrigerate	28 d/28 d
Organic compounds:				
Pesticides	G(S), TFE-lined cap	—	Refrigerate; add 1000 mg ascorbic acid/L if residual chlorine present	7 d/7 d until extraction; 40 d after extraction
Phenols	P, G	500	Refrigerate, add H ₂ SO ₄ to pH<2	*28 d
Purgeables by purge and trap	G, TFE-lined cap	50	Refrigerate; add HCl to pH < 2; add 1000 mg ascorbic acid/L if residual chlorine present	7 d/14 d
Oxygen, dissolved:				
Electrode	G, BOD bottle	300	Analyze immediately	0.5 h/stat
Winkler			Titration may be delayed after acidification	8 h/8 h
Ozone	G	1000	Analyze immediately	0.5 h/N.S.
pH	P, G	—	Analyze immediately	2 h/stat
Phosphate	G(A)	100	For dissolved phosphate filter immediately; refrigerate	48 h/N.S.
Salinity	G, wax seal	240	Analyze immediately or use wax seal	6 months/N.S.
Silica	P	—	Refrigerate, do not freeze	28 d/28 d
Sludge digester gas	G, gas bottle	—	—	N.S.
Solids	P, G	—	Refrigerate	7 d/2-7 d; see cited reference
Sulfate	P, G	—	Refrigerate	28 d/28 d
Sulfide	P, G	100	Refrigerate; add 4 drops 2N zinc acetate/100 mL; add NaOH to pH>9	28 d/7 d
Taste	G	500	Analyze as soon as possible; refrigerate	24 h/N.S.
Temperature	P, G	—	Analyze immediately	stat/stat
Turbidity	P, G	—	Analyze same day; store in dark up to 24 h, refrigerate	24 h/48 h

* See text for additional details. For determinations not listed, use glass or plastic containers; preferably refrigerate during storage and analyze as soon as possible. Refrigerate = storage at 4°C, in the dark. P = plastic (polyethylene or equivalent); G = glass; G(A) or P(A) = rinsed with 1 + 1 HNO₃; G(B) = glass, borosilicate; G(S) = glass, rinsed with organic solvents; N.S. = not stated in cited reference; stat = no storage allowed; analyze immediately.

† Environmental Protection Agency, Rules and Regulations, *Federal Register* 49: No. 209, October 26, 1984. See this citation for possible differences regarding container and preservation requirements.

Fuente: American Public Health Association, 1992.

ANEXO D

PROYECTO FPA
LAGUNA DE BATUCO



Uso interno de CONAMA

____ - _____ - 2006

FONDO DE PROTECCIÓN AMBIENTAL

X CONCURSO NACIONAL 2007

Línea N°2: “Gestión para la Conservación Ambiental”



Formulario de Presentación de Proyectos

El Totoral de Batuco



FORMULARIO DE PRESENTACIÓN DE PROYECTOS

INSTRUCCIONES GENERALES PARA COMPLETAR EL FORMULARIO

Al completar este formulario, favor de considerar las siguientes recomendaciones:

1. El formulario completo deberá ser entregado en tres ejemplares impresos (un original y dos copias), **más versión en Diskette o CD.**
2. Utilice hojas adicionales tamaño carta si necesita agregar cualquier información a los datos solicitados
3. Adjuntar a formulario de presentación de proyectos, los **anexos** que se soliciten en las Bases Especiales.
4. Bajo cada título del formulario se encuentran las explicaciones de los cuadros que se pide llenar.

Abreviaturas de Uso Frecuente en el Formulario

CONAMA	=	Comisión Nacional del Medio Ambiente
OE	=	Organismo Ejecutor
OA	=	Organismo Asociado
AT	=	Apoyo Técnico

FICHA TÉCNICA DEL PROYECTO

I. PRESENTACIÓN GENERAL DEL PROYECTO

<p>A. Escriba el nombre del proyecto (El nombre debe expresar en forma clara de qué se trata el proyecto)</p> <p>Tres importantes Iniciativas para la conservación de la Biodiversidad del Sitio Prioritario Humedal de Batuco :</p> <p>1.- Monitoreo de Recursos Hídricos en la Laguna del Humedal de Batuco</p> <p>2.- Monitoreo poblacional de Aves en el Humedal de Batuco.</p> <p>3.- Descubramos el Humedal de Batuco</p>										
<p>B. Señalar a qué área temática adscribe el proyecto</p> <p>Línea Temática N°2 : “Gestión para la Conservación Ambiental “</p>										
<p>C. Describa el tema central del proyecto, de acuerdo a los temas establecidos en la convocatoria.</p> <p>El Proyecto se concentra en aspectos de monitoreo de recursos hídricos del Humedal, censos de aves y difusión de sus resultados a través de una gestión de educación ambiental hacia la comunidad de Batuco, incorporando Vecinos, Colegios, Juntas de Vecinos. Una perspectiva más cercana e informada en la comunidad puede facilitar el desarrollo de acciones para reducir el impacto negativo, estableciendo acciones en torno a monitoreos permanentes.</p> <p>Se espera generar vínculos de cooperación entre organizaciones comunitarias, juntas de vecinos, autoridades comunales y regionales, colegios de Batuco e instituciones interesadas en la conservación del Humedal.</p>										
<p>D. Indique la localización del proyecto</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 25%;">Región</td> <td>Metropolitana</td> </tr> <tr> <td>Provincia</td> <td>Chacabuco</td> </tr> <tr> <td>Comuna</td> <td>Lampa</td> </tr> <tr> <td>Localidad</td> <td>Batuco</td> </tr> </table>			Región	Metropolitana	Provincia	Chacabuco	Comuna	Lampa	Localidad	Batuco
Región	Metropolitana									
Provincia	Chacabuco									
Comuna	Lampa									
Localidad	Batuco									
<p>E. Indique la cantidad de meses en que se desarrollará el Proyecto (Hasta 12 meses).</p> <p>.....12.....meses</p>										
<p>F. Indique si el proyecto compromete terrenos. SI..... NO...X....</p> <p>Superficie Aproximada que involucrará el Proyecto</p> <p>Datos del o los Propietarios. En el Humedal de Batuco coexisten un importante número de propietarios, muchos de los cuales pertenecen a Condominios de Parcelas además de empresas privadas, tal como la industria Cerámicas Santiago, cuyas Autorizaciones hemos incluido en el Anexo del Formulario</p>										
<p>G. Escriba los siguientes datos relacionados con el financiamiento del proyecto</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 33%;">Monto Total solicitado al Fondo de Protección Ambiental</th> <th style="width: 33%;">Monto Total aportado por la (s) contraparte (s)(OE, AS)</th> <th style="width: 33%;">Monto Total del Proyecto (Indique el monto total que costará el proyecto, sumando todos los aportes)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">\$ 6.963.500</td> <td style="text-align: center;">\$ 15.793.700</td> <td style="text-align: center;">\$ 22.777.200</td> </tr> </tbody> </table>			Monto Total solicitado al Fondo de Protección Ambiental	Monto Total aportado por la (s) contraparte (s)(OE, AS)	Monto Total del Proyecto (Indique el monto total que costará el proyecto, sumando todos los aportes)	\$ 6.963.500	\$ 15.793.700	\$ 22.777.200		
Monto Total solicitado al Fondo de Protección Ambiental	Monto Total aportado por la (s) contraparte (s)(OE, AS)	Monto Total del Proyecto (Indique el monto total que costará el proyecto, sumando todos los aportes)								
\$ 6.963.500	\$ 15.793.700	\$ 22.777.200								

II. DATOS DE LOS ORGANISMOS PARTICIPANTES

A. Escriba los siguientes datos del Organismo Ejecutor (OE) (Escriba los datos actualizados de su organización)					
Nombre del OE		O.C.F. El Totoral de Bатуco			
RUT o N° de Personalidad Jurídica		RUT : 65.588.190 – 5			
Dirección		Calle A.Vespucio	N° 2680	Pobl. O Villa OF.34	
Comuna – Región		Comuna Lampa		Región Metropolitana	
Teléfono – Fax -mail		6244475			
Nombre, dirección y teléfono, e-mail del Representante Legal		Patricio Cortez Castro, A. Vespucio 2680, Of. 34 – Conchalí, F:6244475. patricio.cortez@lubtek.cl			
B. Mencione la Experiencia del Organismo Ejecutor en los 2 últimos años					
Nombre del proyecto o actividad	Área Temática	Año de Ejecución	Fuente de Financiamiento	Monto de Financiamiento	Instituciones u Organizaciones con las que trabajó
C. Escriba los siguientes datos del coordinador (a) del proyecto por parte del OE					
Nombre		Patricio Cortez Castro			
Teléfono-mail		6244475 – patricio.cortez@lubtek.cl			
Domicilio		Calle A.Vespucio	N° 2680	Pobl. O Villa Oficina 34	Comuna Conchali
D. Escriba los datos de lo (s) Organismo (s) Asociado (s) (OA)					
Nombre		Ilustre Municipalidad de Lampa			
Dirección		Calle Baquedano	N° 964	Pobl. O Villa	Comuna Lampa
Teléfono -Fax- mail		2586122			
Representante legal		Carlos Escobar Paredes – Alcalde			
Razones para apoyar el proyecto		El Proyecto se enmarca en los Planes de Trabajo para la protección del sitio prioritario Humedal de Bатуco. Se adjunta Carta Compromiso en Anexo al Formulario.			

CADA UNA DE LAS INICIATIVAS DEL PROYECTO SERÁ EJECUTADA POR DIFERENTES ORGANISMOS ASOCIADOS, A SABER :

- Departamento de Ingeniería Civil – Universidad de Chile
- Unión de Ornitólogos de Chile
- ONG Casa de la Paz

Los datos de cada una de ellas se detalla por separado

E. Escriba los datos de otros Organismos Asociados a la ejecución del proyecto

Nombre	Departamento de Ingeniería Civil – Universidad de Chile			
Dirección	Calle Blanco Encalada	Nº 2002	Pobl. O Villa	Comuna Santiago
Teléfono- Fax-mail	9784400 – 6894171 (fax)			
Representante legal				
Razones para apoyar el proyecto	El Proyecto es integrante fundamental del Desarrollo de Trabajos de Título de Estudiantes del Departamento de Ingeniería Civil de la Universidad de Chile.			
Nombre	Unión de Ornitólogos de Chile			
Dirección	Calle Mosquito	Nº 459	Pobl. Oficina 103	Comuna Stgo.
Teléfono y Fax	6330315			
Representante legal	Cristian Estades Marfán, Rodrigo Barros			
Razones para apoyar el proyecto	El monitoreo de Aves y Censos en el Humedal de Bатуco es una actividad que UNORCH debe realizar anualmente y en esta oportunidad se concentrará en algunas especies relevantes para la zona.			
Nombre	ONG CASA DE LA PAZ			
Dirección	Antonia López de Bello Nº 80 – Recoleta			
Teléfono y Fax	7374280			
Representante legal	Sra. Ximena Abogabir Scott – Srta. Carolina Silva Lobo			
Razones para apoyar el proyecto	Una de las áreas relevantes de trabajo en Casa de la Paz es la educación ambiental. Poder desarrollar metodologías de educación ambiental en temas de conservación es una oportunidad para ampliar el área temática de trabajo.			

III. EL PROYECTO

Describa en qué consiste el proyecto y los resultados que se espera obtener.

A. ¿Cuál es la situación o problema ambiental que se abordará?

Se abordará la situación ambiental en que se encuentra el humedal Laguna de Batuco, respecto del recurso hídrico, el monitoreo de ciertas especies de aves y la relación de la comunidad con el Sitio prioritario para la Conservación de la Biodiversidad. de la Región Metropolitana, Humedal de Batuco.

Este humedal queda bastante cerca de la ciudad de Santiago y por ende está muy propenso a la contaminación de esta gran zona urbana. A lo largo de la historia, su extensión y calidad han variado de gran manera debido al crecimiento de la ciudad. Actualmente, este ecosistema está reducido a una mínima fracción de lo que era antes.

Pese a toda la intervención antropogénica, este sector tiene un alto valor como una gran área verde, con grandes potenciales para un uso turístico y educacional. Así, el humedal Laguna de Batuco, además de generar servicios ambientales tan valiosos como la preservación del recurso agua (por citar el más relevante), posee un gran potencial económico debido a su cercanía con la ciudad más densamente poblada de Chile. Además, este hábitat será un símbolo para la localidad de Batuco.

Por esto se hace imprescindible conocer las condiciones ambientales actuales y futuras de este sitio, en especial para la componente agua, y luego trabajar arduamente por revertir la alteración indiscriminada de la cual ha sido víctima.

De igual modo, las vías de participación de los diferentes actores, tanto de la comunidad como de organizaciones deben ser evaluadas y precisadas para establecer un trabajo permanente., por ello, este tema es también abordado en el Proyecto a través del capítulo educacional ambiental.

B. ¿Cómo afecta la vida de la comunidad y a los Recursos Naturales? Especifique cómo afecta el problema diferenciadamente a hombres y mujeres.

El Humedal Laguna de Batuco y sus alrededores son un importante sitio de nidificación y concentración de avifauna cercano a la capital. En el Humedal Laguna de Batuco habitan más de 85 especies de aves, algunas en peligro de extinción y otras con problemas de conservación, lo que representa cerca de un 19% de la avifauna del país. En relación a la flora, existen en el sector una serie de especies que son endémicas de Chile, algunas de distribución restringida o poco conocidas.

En cuanto a su flora y vegetación se encontraron 80 especies pertenecientes a 7 asociaciones vegetales.

En los últimos años han muerto varias especies por causas que todavía se están analizando. Una de las posibles razones de este problema ambiental es el efluente de una planta de tratamiento de aguas servidas que llega finalmente a la Laguna. Además, en el pasado, se han construido pretilos con el fin de limitar su extensión e incorporar mayor cantidad de terrenos a las labores agrícolas e industriales. Todo esto, junto con los continuos drenajes con fines inmobiliarios e industriales, hacen de este lugar un sitio muy sensible para las especies que habitan este lugar.

Además de ser sitios importantes para la conservación biodiversidad, los humedales tienen otros atributos como: Almacenar y depurar las aguas, mitigar tormentas y crecidas, generar posibilidades de recreación y turismo, etc. Funciones y valores que siempre han tenido los habitantes de las comunidades aledañas y que podrían perder con la destrucción de este ecosistema.

En cuanto al impacto de la problemática sobre la comunidad, existen una serie de problemas que pueden afectar, indistintamente, a hombres y mujeres. Algunos ejemplos de ello son la presencia de vectores portadores de enfermedades (roedores y algunos insectos), producto de los residuos sólidos arrojados sobre el lugar, la presencia de malos olores, (situación que se acentúa durante las épocas de altas temperaturas).

C. Objetivos (¿Qué se quiere mejorar al término del proyecto?)

- Generar una Red de Monitoreo de la Calidad y Cantidad de las Aguas en la Laguna de Batuco.
- En base a esta Red, monitorear de manera constante los recursos hídricos de la Laguna.
- Crear un sistema de alarma ambiental en caso de haber contaminación en la Laguna.
- Generar la información requerida para evaluar la postulación como sitio RAMSAR.
- Sensibilizar a la comunidad aledaña y regional en torno a la importancia de conservar, proteger y conocer el Humedal.
- Monitoreo de aves, en particular censos de Pato rinconero, Pájaro amarillo y Becacina común.
- Entrenar a la Comunidad interesada en monitorear aves.

D. Señale las actividades, en función de los objetivos que contempla el proyecto.

- 1. Generar una Red de Monitoreo de la Calidad y Cantidad de las Aguas en la Laguna de Batuco:**
 - Definición de puntos de referencia.
 - Capacitación de los operarios de la Red.
- 2. En base a una Red, monitorear de manera constante los recursos hídricos de la Laguna:**
 - Medición de extensión del espejo de agua con GPS.
 - Aforo de caudales de entrada y de salida.
 - Medición de Calidad de Aguas.
 - Medición de Nivel de Agua en Pozos.
- 3. Crear un sistema de alarma ambiental en caso de haber contaminación en la Laguna:**
 - Definir un plan de contingencia.
 - Definir roles de las autoridades pertinentes.
- 4. Generar la información requerida para evaluar la postulación como sitio RAMSAR.**
 - Crear una base de datos
- 5. Monitoreo de Aves**

5.1. Censos Exhaustivos de Aves Acuáticas

- Para las aves acuáticas de la Laguna de Batuco, se realizan dos censos exhaustivos al año con la metodología que propone Wetlands International. Dichos conteos se enmarcan

en el contexto del “Censo Neotropical de Aves Acuáticas” que organiza dicha institución en los meses de Febrero y Julio (verano e invierno).

- Se publicarán los resultados en un Informe de Monitoreo.
- Estos censos quedan abiertos a gente interesada en monitorear aves, como una forma de capacitación en censos de aves acuáticas (objetivo 2)

Adicionalmente, se propone el monitoreo particular de algunas especies de aves consideradas relevantes en esta zona:

5.2. Censos de Pato rinconero (*Heteronetta atricapilla*)

El Pato rinconero es una especie poco conocida.

En mayo del 2006 se censaron 387 individuos (Tranque San Rafael + Laguna Batuco), lo que probablemente significa la población más importante de esta especie para Chile. Con la poca información existente, aún es difícil de saber qué representa este número dentro de la población chilena. Sin embargo, es muy probable que se trate de más del 1% de la población nacional, lo que implicaría un criterio Ramsar para la conservación de este sitio.

El Pato rinconero es una especie muy reservada, pasando bastante tiempo oculta al interior del totoral, lo que dificulta su monitoreo. En época de nidificación es muy difícil de verlos. Sin embargo, entre marzo y junio estos patos salen del totoral, lo que permite censarlos.

Para empezar un seguimiento de la población de esta especie, se propone hacer 5 censos durante los meses de marzo y junio para obtener una mejor idea de la población. Además se podrá precisar cuándo es la mejor fecha para hacer el censo los años siguientes (la idea es que en el futuro, se haga solamente uno o dos censos de Pato rinconero en el año).

- Se publicarán los resultados en un Informe de Monitoreo.

5.3. Censo de Pájaro amarillo (*Pseudocolopteryx flaviventris*)

El Pájaro amarillo también es una especie poco conocida, ignorándose realmente el hábitat que necesita para nidificar.

La subespecie de Pájaro amarillo que se observa en Chile podría tratarse de una especie aparte, lo que implica una gran responsabilidad de conservación para la comunidad nacional.

Con el fin de tener una mejor idea de la población de esta especie en los humedales de Batuco y Lampa, y poder caracterizar su hábitat, proponemos un monitoreo del Pájaro amarillo en esta área.

Se realizará una cartografía de la población de Pájaro amarillo en esta zona, identificando los lugares más importantes. Con los datos que se encuentren sobre el hábitat que necesita, será posible desarrollar un "plan de manejo" para esta especie en el futuro.

- Se publicarán los resultados en un Informe de Monitoreo.

5.4. Censo de Becacina común (*Gallinago (paraguaiiae) magellanica*)

La Becacina común es considerada como "Vulnerable" a nivel nacional. Esta especie nidifica en el Humedal de Batuco, pero no se sabe nada del tamaño de esta población.

Se propone mapear todas las zonas de nidificación de las Becacinas, para luego realizar un único censo con un grupo de voluntarios.

No se necesita ser un gran ornitólogo para este censo, por lo que se puede añadir toda la gente interesada en esta actividad. Para el buen resultado de este censo, se entrenará a los voluntarios (objetivo 2).

Después del censo del 2007, se podría realizar un censo equivalente cada dos años.

- Se publicarán los resultados en un Informe de Monitoreo.

Cuando se busque la Becacina común, se levantará información sobre la Becacina pintada (*Nycticryphes semicollaris*), considerada “En Peligro” a nivel nacional, y el Nuco (*Asio flammeus*), que son otras especie importante del lugar.

6. Selección de contenidos relevantes obtenidos de las actividades de UNORCH y U de Chile para transmitir a la comunidad

7. Desarrollo de guía educativa para educadores formales que contenga:

- Introducción: sensibilización respecto a la importancia de la conservación de la biodiversidad en general, poniendo luego énfasis en la riqueza encontrada en el sector.
- Nociones básicas de la biología de la Flora y Fauna existente en el lugar.
- Fichas descriptivas de las principales especies.
- Actividades para cada nivel educativo enseñanza básica, de acuerdo a sectores y subsectores de aprendizaje.

8. Desarrollo de charlas orientadas a la comunidad.

- Organización de visitas guiadas de estudiantes de la Región Metropolitana.

E. Al final del proyecto ¿qué habrán hecho como resultados esperados para solucionar el problema que afectaba? Señale en cada caso si los principales usuarios son hombre y/o mujeres.

1. Se espera haber generado una estadística contundente en cuanto a cantidad y calidad de las aguas de la Laguna de Batuco, de modo de poder conocer la situación actual de éstas, y detectar cualquier anomalía que se produzca a futuro. Ello se relaciona directamente con la elaboración de un sistema de alarma ambiental en caso de contaminación, y con el monitoreo futuro de los parámetros más importantes y críticos, que permitan conocer el comportamiento de las aguas.
2. La medición de la calidad y cantidad del recurso hídrico del humedal Laguna de Batuco será llevada a cabo por los hombres y mujeres que integran la Organización Comunitaria y Funcional “El Totoral de Batuco” con la ayuda de estudiantes del Departamento de Ingeniería de la Universidad de Chile. Los beneficiarios serán todos los vecinos (as) de Batuco.
3. Censo específico de Aves Acuáticas presentes en el Humedal de Batuco con monitoreo particular de especies relevantes en la zona.
4. Informe con datos y sugerencias para postularlo como sitio RAMSAR
5. Charlas de sensibilización ambiental a nivel regional respecto a la biodiversidad e importancia del Humedal de Batuco.

6. Material gráfico de las especies más representativas presentes distribuido a nivel regional
7. Set de actividades de apoyo para los docentes que permita incorporar contenidos ambientales relevantes del área en el currículum escolar.
8. Set de material informativo para visitantes del lugar
9. 5 grupos de estudiantes de la Región Metropolitana visitan el lugar.

F. Indique que posibilidad tiene esta experiencia de ser replicada exitosamente por otras organizaciones y/o comunidades.

La experiencia adquirida servirá de base para que los integrantes de la comunidad afectada puedan hacerse cargo, previa capacitación, de la Red de Monitoreo de Recursos Hídricos de la Laguna de Batuco. Asimismo, la metodología empleada podrá ser replicada por cualquier otra comunidad que enfrente una problemática similar, mejorando los aspectos que pudieran ser no exitosos de esta experiencia.

En Chile existen muchos humedales como éste y muchas comunidades que se han instalado en sus sectores aledaños de modo de aprovechar el recurso hídrico y la abundancia de vida salvaje que éstos brindan. Sin embargo, debido al gran desconocimiento que existe en todo el mundo respecto a estos ambientes, existe un riesgo latente que podría ser minimizado por dichas comunidades utilizando el ejemplo del humedal Laguna de Batuco.

De la misma forma, las actividades de Censos y Monitoreos de Aves podrán continuar siendo desarrollados por vecinos de la comunidad de Batuco quienes serán instruídos para ello.

G. Mencione las innovaciones que se habrán implementado al término del proyecto.

Con respecto al monitoreo de recursos hídricos:

- Instalación de infraestructura y equipamiento necesario para el monitoreo de las aguas.
- Disminución del riesgo de contaminación y pérdida cuantitativa del recurso hídrico.
- Creación de un grupo de voluntarios para monitorear la Laguna.
- Aumento de la conciencia local por el cuidado de la laguna.
- Informe con datos y sugerencias para postularlo como sitio RAMSAR.

Con respecto al monitoreo de biota:

- Listado de la flora y fauna presente en el Humedal de Batuco, que incluya riqueza de especies, ordenado de acuerdo a variables tales como estado de conservación (regional y local), abundancia relativa, grados de endemismo, distribución geográfica y rol ecológico.
- Charlas de sensibilización ambiental a nivel regional respecto a la biodiversidad e importancia del Humedal de Batuco.
- Set de actividades de apoyo para los docentes que permita incorporar contenidos ambientales relevantes del área en el currículum escolar

- Set de material informativo para visitantes del lugar
- Entrenar a la comunidad interesada en el monitoreo de aves.

H. Al final del proyecto, ¿qué habrán hecho para cambiar los hábitos de niños/as y adultos de modo que su acción contribuya a cuidar su medio ambiente?

Con respecto a los monitoreos y Censos:

Al hacer partícipe a la comunidad de las actividades propuestas (charlas de sensibilización ambiental, monitoreo de calidad de aguas, monitoreo de aves), se espera que la comunidad, en especial los niños, adquieran conciencia ambiental respecto al problema que los afecta. Se espera obtener una mejor llegada en la comunidad al incluir algunas actividades dentro de las actividades escolares de los niños, lo cual involucre de manera directa a sus padres y familiares.

I. Describa las actividades centrales del proyecto especificando el rol de los involucrados:			
Quiénes son los participantes (jefes o jefas de hogar, dirigentes, miembros de organizaciones, etc.)	Nº de personas		Actividades en que participarán
	H	M	
1. Organización “El Totoral de Batuco” y estudiantes Universidad de Chile.	4	3	Instalación de Infraestructura para monitoreo de aguas.
2. Organización “El Totoral de Batuco”, Juntas de Vecinos y estudiantes Universidad de Chile.	8	10	Capacitación grupo de voluntarios para monitoreo de aguas de la Laguna.
3. Organización “El Totoral de Batuco”, Vecinos, Patrulla Ecológica y estudiantes Universidad de Chile.	20	15	Monitoreo de aguas.
4. Juntas de Vecinos, miembros de organizaciones, comunidad (niños y adultos), profesores.	50	50	Charlas de sensibilización ambiental.
5. Estudiantes Universidad de Chile.	1	0	Generación de un sistema de alarma ambiental.
6. Organización “El Totoral de Batuco” y Municipalidad de Lampa.	4	3?	Mantenimiento de una base de datos.
Quiénes son los participantes (mujeres, alumnos, profesores, apoderados, directivos otros.	Nº de personas		En qué van a participar
	H	M	
1. Organización El Totoral de Batuco, UNORCH, ONG Casa de la Paz y Universidad de Chile	5	4	Desarrollo y Coordinación del Proyecto
2. Municipalidad de Lampa	4	4	Convocatoria, Recursos Humanos y coordinación con entes gubernamentales
3. Vecinos de Batuco	10	15	Capacitación y Monitoreo

J. Describa el total de beneficiarios (as) directos (as) del proyecto**Nota (*) : datos obtenidos a partir de Censo en Batuco**

N° Hombres adultos	1780
N° Mujeres adultas	1850
N° Niños	500
N° Niñas	500
N° Jóvenes mujeres	230
N° Jóvenes varones	230
N° Mujeres adultas mayores	32
N° Hombres adultos mayores	29

K. Indique qué acciones desarrollará el Organismo Ejecutor para que el proyecto se mantenga una vez terminado el apoyo financiero de CONAMA.

La comunidad entrenada será identificada y se les incluirá en el conjunto de actividades que el OE desarrolla anualmente de forma tal de que se continúe con los monitoreos tanto del recurso hídrico como también de los Censos de Aves.

Adicionalmente el material producido será compartido con el personal docente de las Escuelas de la Comuna que están participando en el SNCAE como una forma de difundir la información generada y las actividades realizadas.

Los Resultados en Informes de los Monitoreos y Censos serán compartidos con la Mesa de Trabajo del Plan de Acción para el sitio prioritario Humedal de Batuco para ser incluidos como documentos y para evaluar segundas etapas a cumplir a partir de dichos resultados (por ejemplo Postulación a RAMSAR)

IV. RIESGOS DEL PROYECTO

Enumere los riesgos importantes que podrían ser causas de demoras graves o dificultar el logro de los resultados del proyecto y cuáles serían las estrategias de solución.

Tipos de Riesgos	Como afecta la ejecución del proyecto	Estrategias de solución
ESCASA CONCURRENCIA A CAPACITACION Y PARTICIPACION COMUNITARIA	Dificulta la elaboración de estrategias e identificación de mecanismos sociales de participación.	Difusión mediante medios de comunicación masiva en Batuco, Charlas a la Comunidad, presentando los beneficios de participar en el Proyecto.

V. COSTOS DEL PROYECTO

	Categorías	Aportes de Financiadores (Miles de \$)		
		CONAMA	CONTRAPARTE	TOTAL
I. COSTOS DE INVERSIÓN	A. Infraestructura (A + B = 40%)	120.000	100.000	220.000
	B. Equipos y herramientas de trabajo (A + B = 40%)	1.457.500	10.629.000	12.086.500
	SUB TOTAL ÍTEM I.	1.557.500	10.729.000	12.306.500
II. COSTOS OPERACIONALES	A. Prestación de Servicios (40%)	2.030.000	1.834.700	3.864.700
	B. Pasajes y Alimentación	446.000	300.000	746.000
	C. Materiales e insumos	2.410.000	940.000	3.350.000
	D. Difusión y señalética	200.000	1.400.000	1.600.000
	E. Servicios Básicos		590.000	590.000
	SUB TOTAL ÍTEM II.	5.086.000	5.064.700	10.150.700
III. OTROS	A. Costos no asignados (7%)	300.000		300.000
	SUB TOTAL ÍTEM III	300.000		300.000
TOTAL DEL PROYECTO		6.963.500	15.793.700	22.777.200

- Costos de Inversión (A + B = 40%), comprende el porcentaje del total de presupuesto solicitado.
- Costos Operacionales, Prestación de Servicios (40%), comprende el porcentaje del total de presupuesto solicitado.
- Costos No Asignados (7%), solo para resguardo presupuestario, comprende el porcentaje del total de presupuesto solicitado.
- El resto de los subtemes presupuestarios no tiene tope de presupuesto. El porcentaje requerido queda a disposición del organismo ejecutor.

INDICE ANEXOS

ANEXO 1 : DOCUMENTOS EXIGIBLES

- FOTOCOPIA R.U.T. AUTORIZADA ANTE NOTARIO ORGANIZACIÓN EJECUTORA
- CERTIFICADO DE VIGENCIA ORGANISMO EJECUTOR
- CERTIFICADO DE CUENTA DE AHORRO DEL ORGANISMO EJECUTOR EN EL BANCO ESTADO
- CERTIFICADO RESIDENCIA ORGANISMO EJECUTOR

ANEXO 2 : FORMULARIO DE SOLICITUD DE INSCRIPCION EN EL REGISTRO DE ENTIDADES RECEPTORAS DE FONDOS PUBLICOS, LEY 19.862

ANEXO 3 : CARTAS COMPROMISOS ORGANISMOS ASOCIADOS

- Ilustre Municipalidad de Lampa
- Facultad de Ingeniería, Departamento Ingeniería Civil
- ONG Casa de la Paz

ANEXO 4 : CARTA SOLICITUD DE FINANCIAMIENTO

ANEXO 5 : CARTAS AUTORIZACION USO DE TERRENOS

- Industria Cerámicas Santiago
- Condominio Valle Lo Fontecilla
- Condominio La Javiera
- Condominio Valle Hermoso

ANEXO 6 : CARTA COMPROMISO DE LA COMUNIDAD

ANEXO E

ANTECEDENTES DEL ÁREA DE ESTUDIO

TABLA DE CONTENIDOS

E.1 SITUACIÓN AMBIENTAL DE LA LAGUNA DE BATUCO	193
E.2 CALIDAD DEL AGUA	200
E.3 FORMACIONES ROCOSAS, DEPÓSITOS SEDIMENTARIOS Y SUELOS	215
E.4 PRECIPITACIONES EN LAS ESTACIONES RUNGUE Y QUINTA NORMAL ...	218
E.5 RED DE DRENAJE DE LA CUENCA DEL ESTERO LAMPA	222
E.6 DESCRIPCIÓN ACUÍFERO CUENCA SANTIAGO NORTE	224
E.7 CATASTRO DE POZOS Y NORIAS	226
E.8 ESTADÍSTICA DE LA RED DE NIVELES DGA EN EL ÁREA DE ESTUDIO	229

E.1 SITUACIÓN AMBIENTAL DE LA LAGUNA DE BATUCO

E.1.1 Situación Legal

Pese a la importancia que tiene la Laguna de Batuco como humedal dentro de la Región Metropolitana y del país, como se mencionó anteriormente, no es considerada dentro de las áreas protegidas por la Convención Ramsar. Sin embargo, en nuestro país varias autoridades la tienen dentro de sus sitios de protección (CONAF & SAG, 2005):

- La Laguna de Batuco y sus alrededores está sujeta a protección por parte de la Corporación Nacional Forestal (CONAF) desde el año 1993, fecha en la cual dicho servicio incorporó este lugar al Libro Rojo de los 23 Sitios Prioritarios para la Conservación de la Biodiversidad en la Región Metropolitana y en Chile, publicado en 1996.
- En 1995, mediante el Decreto Exento N° 23 del Ministerio de Agricultura, el Servicio Agrícola y Ganadero (SAG) estableció un período de veda de conservación de 30 años, para anfibios, reptiles, aves y mamíferos silvestres en la cuenca hidrográfica de la Laguna de Batuco, por lo que se prohíbe la caza (Zona Libre de Caza), transporte, comercialización, posesión e industrialización de toda clase de dichos ejemplares, fundamentado en que la Laguna es un sitio de nidificación de diferentes especies con problemas de conservación, incluidas en el Convenio sobre la Conservación de Especies Migratorias de la Fauna Salvaje, ratificado por Chile mediante Decreto Supremo N° 868, de 1981, del Ministerio de Relaciones Exteriores.
- El Plan Regulador de la Provincia de Chacabuco, aprobado mediante Resolución N° 39, de diciembre de 1997, del Gobierno Regional, establece que el fundo La Laguna, zona que abarca 890 hectáreas se encuentra en un Área de Preservación Ecológica. Por lo tanto, cualquier proyecto que se desee realizar en este sector debe entrar al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental.
- La DGA declaró este sector como "Sitio Lacustre" para lo cual se le aplicarán a los cuerpos de agua, a contar de septiembre de 2006, las disposiciones del Decreto Supremo N° 90 de 2000, del Ministerio Secretaría General de la Presidencia de la República, Tabla N° 3 (presentada en formato digital en el ANEXO G.2), que establece la norma de emisión para la regulación de contaminantes asociados a las descargas de residuos líquidos.

Es importante recalcar que la Laguna de Batuco se encuentra dentro de un terreno privado. Esta condición, pese a que el agua es un bien nacional (Tabla 2.5) hace que todo este ecosistema quede expuesto.

E.1.2 Problemas Ambientales

Aún cuando las señales políticas se encuentran definidas, varias situaciones demuestran que el Humedal Laguna de Batuco sigue desprotegido ante situaciones antropogénicas:

Figura E.1
Alteraciones en la Laguna.



Fuente: Modificado de Google Earth.

- En los alrededores de la Laguna de Batuco se han construido canales, pozos, norias, drenes y lagunas con fines agrícolas, urbanos y de retiro de material. Esto ha provocado un descenso en el nivel de la Laguna y un aumento de la superficie de evaporación. Una alteración importante ocurrió en un loteo ubicado en el sector de Lo Fontecilla, al surponiente de la Laguna, donde en 1998 se alteró el desagüe natural de la Laguna mediante la ejecución de diversas obras, entre las cuales cuentan la construcción de un canal de drenaje y un tranque artificial. Este hecho disminuyó significativamente el área de inundación de la Laguna, reduciendo los tiempos de retención que en ella existían.
- Se han construido diversos pretilos (líneas rojas de la Figura E.1) con el objeto de limitar el espejo de agua y así utilizar esta área para la agricultura y el desarrollo inmobiliario e industrial. Las

mismas consecuencias han tenido el depósito de materiales de relleno y escombros que se realizan en el lugar. Según Sotomayor, ya en el año 1962 se había construido el pretil del norte. Como se puede ver en la Figura E.1 los pretilos han generado una división de la Laguna en 4 sublagunas con un cierto grado de independencia.

- Los principales aportes de aguas superficiales al Humedal Laguna de Batuco provienen del sector oriental donde se observa la presencia de canales de orientación este-oeste que descargan a la Laguna. Entre éstos se encuentran los

canales a los que vierte sus aguas la planta de tratamiento de aguas servidas (PTAS) La Cadellada (CONAF & SAG, 2005). Esta Planta de Tratamiento consta de un sistema de lagunas, algunas aerobias y otras facultativas. Autoridades han señalado que la Planta presenta un manejo deficiente del lodo procedente de fosas sépticas y de las aguas residuales propiamente tal. El sitio de recepción se encuentra colapsado, por lo que el lodo se acumula en terrenos permeables. Los inyectores de aire de la Planta llevan seis meses sin funcionar. El agua servida tiene un sólo tratamiento, por decantación de sólidos. Además, existe un mal manejo de la vegetación que bordea las piscinas, donde la maleza alcanza un metro de altura (Aguirre, 2005). No existe un cierre perimetral completo y el Servicio de Salud ya denunció a la Planta por fuertes olores. También, según los valores del monitoreo semanal que hace la SISS (ANEXO E.2), el DS 90 no se está cumpliendo.

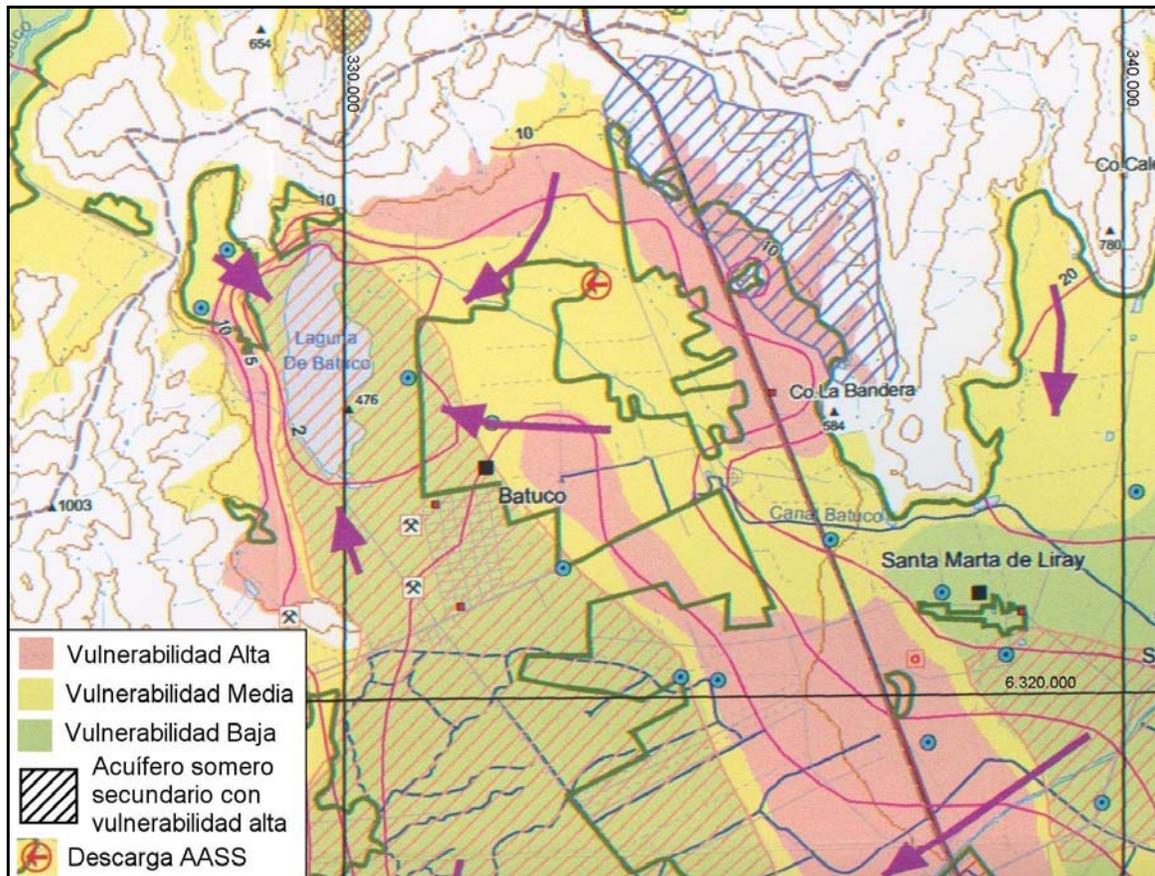
- El corte y extracción de vegetación en el área de estudio (totora, algarrobos y espinos), aumenta el ya creciente estado de desertificación presente en este sector del país. Por otra parte, pese a la veda impuesta por el SAG, la caza es habitual en esta zona.
- Sin embargo, los problemas ambientales más graves y conocidos ocurrieron en 2003 y 2005. En noviembre de 2003 se hizo una denuncia donde se daba a conocer la muerte de peces y algunos coipos en aguas provenientes del Humedal Laguna de Batuco, hecho provocado seguramente por la contaminación puntual o permanente con residuos líquidos o sólidos. El 17 y 22 de marzo de 2005, se atendieron dos denuncias que permitieron comprobar la muerte de cientos de ejemplares de diversas especies, entre los que se contaban patos, otras aves, coipos y peces. Según el SAG (CONAF & SAG, 2005) se encontraron aproximadamente 3000 aves muertas, lo que corresponde al 90% del total. De igual forma, la RAUCH (2005) asegura haber encontrado aves muertas por causas desconocidas durante el resto de ese año. Al mismo tiempo, un 20% de las aves vivas mostraban síntomas de enfermedad. Las autoridades culparon a la PTAS La Cadellada, principalmente porque la mayor parte de los cadáveres fueron encontrados en un canal que une la Laguna de Batuco con esta Planta y en una de las lagunas de la Planta. Según un muestreo de esas aves llevado a cabo por el SAG se detectó la presencia de botulismo aviar, infección causada por bacterias del género clostridium. La anaerobiosis y un pH por encima de 4,5 (el pH 9 es el ideal) son condiciones propicias para el desarrollo de esta enfermedad que también puede afectar al hombre.

E.1.3 Amenazas

La Laguna de Batuco corresponde a un sistema de descarga asociado a la dinámica de flujo de las aguas subterráneas (Aguirre, 2005). Según la Carta Geológica de Vulnerabilidad a la contaminación de los acuíferos de la cuenca de Santiago (Iriarte, 2003), en dicho sector predominan dos acuíferos, uno somero o secundario con alta vulnerabilidad y otro más profundo o principal de vulnerabilidad variable. El acuífero secundario se encuentra íntimamente conectado con los cursos superficiales, siendo

recomendable prohibir el establecimiento de vertederos, centros de almacenaje y distribución de hidrocarburos y químicos e industrias con lagunas de efluentes. Se debe evitar la utilización de canales de regadío con aguas servidas o con efluentes industriales.

Figura E.2
Geología ambiental de la cuenca de Batuco



Fuente: Iriarte, 2003.

Pese a la situación altamente vulnerable del acuífero y a las protecciones legales impuestas para el Humedal, diversas empresas se encuentran a los alrededores de la Laguna de Batuco provocando en parte los problemas mencionados anteriormente y ocasionando una amenaza constante a la calidad y cantidad de las aguas del sector. Estas empresas son las que vienen a continuación y se encuentran ubicadas como se mostró en las Figuras 4.3 y 4.4.

- La nombrada PTAS La Cadellada, perteneciente a la empresa privada Servicomunal S.A., y que recibe las aguas servidas de Colina y Lampa.
- Las empresas de cerámicas Cerámica Santiago Ltda. y Cerámica Batuco Ltda., que poseen faenas de extracción de áridos al sur de la Laguna.
- Un centro de almacenamiento de petcoke, perteneciente a Industrias PROFAL S.A. El petcoke es un combustible barato, residuo de la refinación del petróleo,

que puede tener altas concentraciones de azufre, níquel, cromo y vanadio. Su uso es muy discutido alrededor del mundo.

- Las actividades agrícolas y urbanas constituyen un riesgo por la posible influencia de pesticidas y fertilizantes en las aguas, y por el déficit del sistema de alcantarillado, respectivamente.

Otras actividades que podrían causar amenaza al Humedal Laguna de Batuco son un centro de almacenamiento de fierro y varias bombas de combustible que se encuentran en la zona de estudio. Estas últimas podrían contaminar con compuestos orgánicos volátiles del grupo BTEX: benceno, tolueno, etibenceno y xileno.

E.1.4 Perspectivas

Actualmente, existen varios organismos públicos y privados trabajando por conservar la Laguna de Batuco y sus alrededores. En varios de estos trabajos se incluyen monitoreos de distintos tipos. Las acciones más destacadas que se están realizando o que se pretenden realizar se describen a continuación:

- La SISS ha efectuado una constante fiscalización sobre las empresas establecidas en el área de estudio, manteniendo un catastro de las que emiten residuos industriales (CONAF & SAG, 2005). Además, esta misma entidad hace un seguimiento mensual de los caudales efluentes de la PTAS La Cadellada y semanal de la calidad de esta agua.
- En consideración a las denuncias de contaminación de la Laguna y a su continuo deterioro, mediante Resolución Exenta N° 46/2000, la Comisión Regional del Medio Ambiente de la Región Metropolitana (COREMA RMS) aprobó el Plan Ambiental de Batuco, cuyo objetivo es el de promover la adopción de acciones legales, por parte del Consejo de Defensa del Estado, en contra de los responsables del deterioro de la Laguna de Batuco e iniciar acciones de recuperación, protección y preservación ambiental del Humedal y de su entorno, en el más breve plazo (CONAF & SAG, 2005).
- El Plan Estratégico Provincial de la Provincia de Chacabuco destaca el potencial turístico-ecológico asociado al Humedal de Batuco (Aramayo, 2006).
- La Autoridad Sanitaria realizó un sumario en abril de 2005 en contra de la PTAS La Cadellada. Como resultado de éste, La Cadellada debía presentar a la Secretaría Regional Ministerial de Salud un Plan de Vigilancia de calidad de aguas subterráneas, que debe considerar monitoreos aguas arriba y aguas abajo de la Planta.
- En mayo de 2005 la COREMA RMS, mediante Resolución Exenta N° 184 de la COREMA, aprobó el documento final "Estrategia para la Conservación de la Biodiversidad en la Región Metropolitana de Santiago", constituyéndose en el marco para la elaboración e implementación de Planes de Acción específicos

para cada sitio prioritario. En función de lo indicado anteriormente, se elaboró un Plan de Acción para el sitio prioritario “Humedal de Batuco”, que recoge las diferentes iniciativas que los servicios públicos con competencia ambiental (SAG, CONAF, Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU), DGA, Municipalidad de Lampa, comunidad, universidades, UNORCH, etc.) están impulsando o pretenden potenciar, enmarcando sus objetivos en los lineamientos definidos en la Estrategia. Estos lineamientos son: integración y coordinación, conservación de la diversidad biológica, sustentabilidad de políticas y prácticas productivas, investigación y capacitación, educación y conciencia pública, y financiamiento. En un horizonte de 5 años se pretenden realizar actividades específicas como: el monitoreo de las diferentes componentes (flora y vegetación, fauna, limnología, aguas superficiales y aguas subterráneas) del Humedal por parte del SAG, SERNAGEOMIN, DGA RMS y Secretaría Regional Ministerial de Salud (SEREMI de Salud); analizar la factibilidad para declarar el Sitio como RAMSAR, Centro de Interés Turístico (CEIT) y Santuario de la Naturaleza; crear un Centro de Rehabilitación de Aves; instalar un Centro de Avistamiento de Aves; fortalecer los programas de fiscalización de la normativa vigente, fomentando la capacitación de fiscalizadores; etc.

- En mayo de 2005 se creó la “Comisión Técnica Municipal Humedal de Batuco”, conformada por varias secciones de la Municipalidad de Lampa, y con el objetivo principal de coordinar y ejecutar acciones tendientes a la conservación de la Laguna de Batuco en paralelo con el Plan de Acción de la COREMA RMS. Entre las actividades que se encuentran realizando están la coordinación con organismos públicos y privados, incluyendo la cooperación para este tema de memoria; reunión de bibliografía; actividades prácticas de terreno; actividades de sensibilización y difusión hacia la comunidad; participación en fondos concursables; entre otras. Una acción destacable es el Plan de Vigilancia y Contingencia Laguna de Batuco, en donde la Municipalidad realiza visitas semanales con el fin de obtener información actualizada del contorno de la Laguna, de sus afluentes y efluentes, de los lugares de acceso frecuentes, y de los sectores en donde se ha registrado mortandad de fauna. Este Plan también incluye la capacitación de voluntarios que ayuden al SAG en el caso de un evento de mortandad.
- En julio de 2005 nació la Organización Comunitaria y Funcional “El Total de Batuco”, creada a partir de la necesidad de los vecinos de la localidad de Batuco por establecer una organización vecinal transversal que permitiera concentrar la participación ciudadana en todas las actividades que puedan afectar la calidad de vida de la comunidad. Dentro de las actividades que ha realizado durante su funcionamiento están las áreas de medio ambiente y ordenamiento territorial. La primera área se enfoca básicamente en la situación de contaminación que ha afectado al Humedal Laguna de Batuco. En este ámbito El Total está participando en varias actividades y recientemente fue favorecido con la adjudicación de la CONAMA al Fondo de Protección Ambiental (FPA) 2007 del Proyecto: “Tres importantes iniciativas para la Protección y Conservación del Humedal de Batuco: Monitoreo de Recursos Hídricos en la Laguna del Humedal de Batuco, Monitoreo Poblacional de Aves en el Humedal de Batuco, Descubrir

el Humedal de Batuco (educación ambiental)”. Es importante destacar que el Monitoreo de Recursos Hídricos va a ser llevado a cabo con el apoyo de esta memoria. El proyecto aprobado se encuentra en el ANEXO D.

- La empresa Cerámica Santiago S.A. se encuentra actualmente realizando un plan de reparación en un área de 17 hectáreas inmediatamente al sur del Humedal Laguna de Batuco por los perjuicios provocados debido a los pretilos construidos para la extracción de arcilla. Además, en coordinación con la Municipalidad y en el ámbito de la educación ambiental, formó la “Brigada Ornitológica Escuela N° 370”.
- El responsable de la alteración del desagüe de la Laguna, don Pedro Rojas Oyarce, se comprometió a plantar especies nativas, a efectuar el retiro de basuras en el Condominio Miraflores 3 de Batuco, a demarcar el área de preservación ecológica, a realizar un análisis básico del comportamiento de las aguas subterráneas y a eliminar el tranque construido en dicho sector que quedó inscrito a nombre del Fisco de Chile (CONAF & SAG, 2005).

E.2 CALIDAD DEL AGUA

E.2.1 Calidad del Agua en la Laguna de Batuco

En un estudio realizado por Sotomayor (1964) se llevó a cabo un muestreo completo en un punto de la Laguna (Tabla E.1).

Tabla E.1
Muestreo Sotomayor febrero 1964

Parámetro	Valor (mg/l)	Parámetro	Valor (mg/l)
Sólidos disueltos	1.710	Calcio	114
Magnesio	54	Sodio	371
Potasio	13	Bicarbonatos (HCO ₃)	232
Sulfatos (SO ₄)	615	Cloruros (Cl)	354
Nitratos (NO ₃)	4	Sílice	17
Dureza total (CaCO ₃)	508		

Fuente: Sotomayor, 1964.

El pH obtenido en este análisis fue de 7,84.

Según dos estudios actuales (RAUCH, 2005 y Florenzano, 2006) que midieron los parámetros fisicoquímicos básicos en la Laguna. Este cuerpo de agua tiene un pH básico, dado seguramente por la geología calcárea, y sus aguas son de dulces a salobres. Los detalles de estos estudios se encuentran en las Tablas E.2 y E.3.

Tabla E.2
Muestreo RAUCH agosto 2005

Lugar	Afluente principal	Efluente principal
Coordenadas	33°11' 57"S 70°49'35"W	33°12' 59"S 70°50'35"W
Temperatura (°C)	18,1	18,5
pH	8,31	7,35
Conductividad Eléctrica (uS/cm)	1428	1920

Tabla E.3
Muestreo Florenzano mayo 2006

Lugar	Afluente principal	Surponiente Laguna
Temperatura (°C)	13,1	15,6
pH	8,00	8,78
Conductividad Eléctrica (uS/cm)	1120	1260

E.2.2 Calidad del Agua en el Efluente de la PTAS La Cadellada

En la PTAS La Cadellada, la Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS) realiza controles semanales de aceites y grasas, coliformes fecales, DBO₅, fósforo, nitrógeno total kjeldahl, poder espumógeno y SAAM (sustancias activas al azul de metileno). En la Tabla E.4 se pueden ver los resultados de estos muestreos para el período enero-octubre de 2006.

Tabla E.4
Resultados muestreos en el efluente de La Cadellada (2006)

FECHA MUESTREO	PARÁMETRO	VALOR MEDIDO	NOTA
03/01/2006	ACEITES Y GRASAS (MG / L)	10.3	
10/01/2006	ACEITES Y GRASAS (MG / L)	9.09	
17/01/2006	ACEITES Y GRASAS (MG / L)	11.1	
24/01/2006	ACEITES Y GRASAS (MG / L)	31.2	No cumple DS 90
03/01/2006	COLIFORMES FECALES 1.000,00 (NMP / 100 ML)	50	
03/01/2006	COLIFORMES FECALES 1.000,00 (NMP / 100 ML)	140	
10/01/2006	COLIFORMES FECALES 1.000,00 (NMP / 100 ML)	170	
17/01/2006	COLIFORMES FECALES 1.000,00 (NMP / 100 ML)	4	
24/01/2006	COLIFORMES FECALES 1.000,00 (NMP / 100 ML)	4	
24/01/2006	COLIFORMES FECALES 1.000,00 (NMP / 100 ML)	30	
03/01/2006	DBO5 (MG / L)	15.6	
03/01/2006	DBO5 (MG / L)	12.6	
10/01/2006	DBO5 (MG / L)	4.8	
17/01/2006	DBO5 (MG / L)	5.1	
24/01/2006	DBO5 (MG / L)	5.6	
24/01/2006	DBO5 (MG / L)	4.6	
03/01/2006	FÓSFORO (MG / L)	1.41	
10/01/2006	FÓSFORO (MG / L)	1.17	
17/01/2006	FÓSFORO (MG / L)	1.35	
24/01/2006	FÓSFORO (MG / L)	1.14	
03/01/2006	NITRÓGENO TOTAL KJELDAHL (MG / L)	13.3	
10/01/2006	NITRÓGENO TOTAL KJELDAHL (MG / L)	9.9	
17/01/2006	NITRÓGENO TOTAL KJELDAHL (MG / L)	7.49	
24/01/2006	NITRÓGENO TOTAL KJELDAHL (MG / L)	6.16	
03/01/2006	PODER ESPUMÓGENO (MM)	1	
10/01/2006	PODER ESPUMÓGENO (MM)	1	
17/01/2006	PODER ESPUMÓGENO (MM)	1	
24/01/2006	PODER ESPUMÓGENO (MM)	1	
03/01/2006	SAAM (MG / L)	0.1	
10/01/2006	SAAM (MG / L)	0.14	
17/01/2006	SAAM (MG / L)	0.2	
24/01/2006	SAAM (MG / L)	0.22	
03/01/2006	SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (MG / L)	194	No cumple DS 90
03/01/2006	SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (MG / L)	166	No cumple DS 90
10/01/2006	SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (MG / L)	112	No cumple DS 90
17/01/2006	SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (MG / L)	126	No cumple DS 90
24/01/2006	SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (MG / L)	183	No cumple DS 90
24/01/2006	SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (MG / L)	140	No cumple DS 90

Tabla E.4
Resultados muestreos en el efluente de La Cadellada (2006) (continuación)

FECHA MUESTREO	PARÁMETRO	VALOR MEDIDO	NOTA
02/02/2006	ACEITES Y GRASAS (MG / L)	4.7	
09/02/2006	ACEITES Y GRASAS (MG / L)	13.3	
14/02/2006	ACEITES Y GRASAS (MG / L)	13.7	
23/02/2006	ACEITES Y GRASAS (MG / L)	2.8	
02/02/2006	COLIFORMES FECALIS 1.000,00 (NMP / 100 ML)	900	
09/02/2006	COLIFORMES FECALIS 1.000,00 (NMP / 100 ML)	20	
14/02/2006	COLIFORMES FECALIS 1.000,00 (NMP / 100 ML)	240	
23/02/2006	COLIFORMES FECALIS 1.000,00 (NMP / 100 ML)	1600	No cumple DS 90
02/02/2006	DBO5 (MG / L)	18.2	
09/02/2006	DBO5 (MG / L)	5.95	
14/02/2006	DBO5 (MG / L)	3.2	
23/02/2006	DBO5 (MG / L)	5.6	
02/02/2006	FÓSFORO (MG / L)	1.39	
09/02/2006	FÓSFORO (MG / L)	1.14	
14/02/2006	FÓSFORO (MG / L)	5.48	No cumple DS 90
23/02/2006	FÓSFORO (MG / L)	4.78	No cumple DS 90
02/02/2006	NITRÓGENO TOTAL KJELDAHL (MG / L)	49.2	
09/02/2006	NITRÓGENO TOTAL KJELDAHL (MG / L)	14.87	
14/02/2006	NITRÓGENO TOTAL KJELDAHL (MG / L)	14.5	
23/02/2006	NITRÓGENO TOTAL KJELDAHL (MG / L)	24.5	
02/02/2006	PODER ESPUMÓGENO (MM)	1	
09/02/2006	PODER ESPUMÓGENO (MM)	1	
14/02/2006	PODER ESPUMÓGENO (MM)	1	
23/02/2006	PODER ESPUMÓGENO (MM)	1	
02/02/2006	SAAM (MG / L)	0.46	
09/02/2006	SAAM (MG / L)	0.43	
14/02/2006	SAAM (MG / L)	0.005	
23/02/2006	SAAM (MG / L)	0.4	
02/02/2006	SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (MG / L)	154	No cumple DS 90
09/02/2006	SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (MG / L)	240	No cumple DS 90
14/02/2006	SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (MG / L)	72	
23/02/2006	SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (MG / L)	62	
02/03/2006	ACEITES Y GRASAS (MG / L)	11.4	
10/03/2006	ACEITES Y GRASAS (MG / L)	33.8	No cumple DS 90
16/03/2006	ACEITES Y GRASAS (MG / L)	5.5	
21/03/2006	ACEITES Y GRASAS (MG / L)	28.7	No cumple DS 90
02/03/2006	COLIFORMES FECALIS 1.000,00 (NMP / 100 ML)	500	
10/03/2006	COLIFORMES FECALIS 1.000,00 (NMP / 100 ML)	350	
10/03/2006	COLIFORMES FECALIS 1.000,00 (NMP / 100 ML)	280	
16/03/2006	COLIFORMES FECALIS 1.000,00 (NMP / 100 ML)	80	
16/03/2006	COLIFORMES FECALIS 1.000,00 (NMP / 100 ML)	130	
21/03/2006	COLIFORMES FECALIS 1.000,00 (NMP / 100 ML)	280	
21/03/2006	COLIFORMES FECALIS 1.000,00 (NMP / 100 ML)	170	
02/03/2006	DBO5 (MG / L)	7.2	
10/03/2006	DBO5 (MG / L)	8.6	
10/03/2006	DBO5 (MG / L)	10.6	

Tabla E.4
Resultados muestreos en el efluente de La Cadellada (2006) (continuación)

FECHA MUESTREO	PARÁMETRO	VALOR MEDIDO	NOTA
16/03/2006	DBO5 (MG / L)	5	
16/03/2006	DBO5 (MG / L)	5.6	
21/03/2006	DBO5 (MG / L)	5.7	
21/03/2006	DBO5 (MG / L)	5.7	
02/03/2006	FÓSFORO (MG / L)	3	
10/03/2006	FÓSFORO (MG / L)	5.25	No cumple DS 90
16/03/2006	FÓSFORO (MG / L)	4.88	No cumple DS 90
21/03/2006	FÓSFORO (MG / L)	5.05	No cumple DS 90
02/03/2006	NITRÓGENO TOTAL KJELDAHL (MG / L)	19.2	
10/03/2006	NITRÓGENO TOTAL KJELDAHL (MG / L)	5.58	
16/03/2006	NITRÓGENO TOTAL KJELDAHL (MG / L)	21.4	
21/03/2006	NITRÓGENO TOTAL KJELDAHL (MG / L)	25.3	
02/03/2006	PODER ESPUMÓGENO (MM)	1	
10/03/2006	PODER ESPUMÓGENO (MM)	1	
16/03/2006	PODER ESPUMÓGENO (MM)	1	
21/03/2006	PODER ESPUMÓGENO (MM)	1	
02/03/2006	SAAM (MG / L)	0.2	
10/03/2006	SAAM (MG / L)	0.16	
16/03/2006	SAAM (MG / L)	0.1	
21/03/2006	SAAM (MG / L)	0.21	
02/03/2006	SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (MG / L)	80	No cumple DS 90
10/03/2006	SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (MG / L)	80	No cumple DS 90
10/03/2006	SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (MG / L)	93	No cumple DS 90
16/03/2006	SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (MG / L)	28	
16/03/2006	SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (MG / L)	96	No cumple DS 90
21/03/2006	SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (MG / L)	26	
21/03/2006	SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (MG / L)	34	
06/04/2006	ACEITES Y GRASAS (MG / L)	8.1	
12/04/2006	ACEITES Y GRASAS (MG / L)	5	
27/04/2006	ACEITES Y GRASAS (MG / L)	16.6	
06/04/2006	COLIFORMES FECALIS 1.000,00 (NMP / 100 ML)	4	
06/04/2006	COLIFORMES FECALIS 1.000,00 (NMP / 100 ML)	2	
12/04/2006	COLIFORMES FECALIS 1.000,00 (NMP / 100 ML)	50	
18/04/2006	COLIFORMES FECALIS 1.000,00 (NMP / 100 ML)	500	
27/04/2006	COLIFORMES FECALIS 1.000,00 (NMP / 100 ML)	300	
27/04/2006	COLIFORMES FECALIS 1.000,00 (NMP / 100 ML)	170	
06/04/2006	DBO5 (MG / L)	6.35	
06/04/2006	DBO5 (MG / L)	10.1	
12/04/2006	DBO5 (MG / L)	4.8	
12/04/2006	DBO5 (MG / L)	80	No cumple DS 90
12/04/2006	DBO5 (MG / L)	6.2	
18/04/2006	DBO5 (MG / L)	4.4	
27/04/2006	DBO5 (MG / L)	4.6	
27/04/2006	DBO5 (MG / L)	6.4	
06/04/2006	FÓSFORO (MG / L)	2.89	No cumple DS 90
12/04/2006	FÓSFORO (MG / L)	2.27	No cumple DS 90

Tabla E.4
Resultados muestreos en el efluente de La Cadellada (2006) (continuación)

FECHA MUESTREO	PARÁMETRO	VALOR MEDIDO	NOTA
27/04/2006	FÓSFORO (MG / L)	1.94	
06/04/2006	NITRÓGENO TOTAL KJELDAHL (MG / L)	12.4	
12/04/2006	NITRÓGENO TOTAL KJELDAHL (MG / L)	7.35	
27/04/2006	NITRÓGENO TOTAL KJELDAHL (MG / L)	13.4	
06/04/2006	PODER ESPUMÓGENO (MM)	1	
12/04/2006	PODER ESPUMÓGENO (MM)	1	
27/04/2006	PODER ESPUMÓGENO (MM)	1	
06/04/2006	SAAM (MG / L)	0.08	
12/04/2006	SAAM (MG / L)	0.15	
27/04/2006	SAAM (MG / L)	0.11	
06/04/2006	SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (MG / L)	100	No cumple DS 90
06/04/2006	SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (MG / L)	136	No cumple DS 90
12/04/2006	SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (MG / L)	62	
12/04/2006	SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (MG / L)	52	
18/04/2006	SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (MG / L)	7.1	
27/04/2006	SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (MG / L)	116	No cumple DS 90
27/04/2006	SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (MG / L)	102	No cumple DS 90
04/05/2006	ACEITES Y GRASAS (MG / L)	30.5	No cumple DS 90
23/05/2006	ACEITES Y GRASAS (MG / L)	25.1	No cumple DS 90
04/05/2006	COLIFORMES FECALES 1.000,00 (NMP / 100 ML)	500	
04/05/2006	COLIFORMES FECALES 1.000,00 (NMP / 100 ML)	500	
16/05/2006	COLIFORMES FECALES 1.000,00 (NMP / 100 ML)	900	
23/05/2006	COLIFORMES FECALES 1.000,00 (NMP / 100 ML)	280	
23/05/2006	COLIFORMES FECALES 1.000,00 (NMP / 100 ML)	900	
04/05/2006	DBO5 (MG / L)	20	
04/05/2006	DBO5 (MG / L)	20.37	
16/05/2006	DBO5 (MG / L)	8.6	
23/05/2006	DBO5 (MG / L)	17.6	
23/05/2006	DBO5 (MG / L)	15.3	
04/05/2006	FÓSFORO (MG / L)	2.14	
23/05/2006	FÓSFORO (MG / L)	3.17	
04/05/2006	NITRÓGENO TOTAL KJELDAHL (MG / L)	12.1	
23/05/2006	NITRÓGENO TOTAL KJELDAHL (MG / L)	17	
04/05/2006	PODER ESPUMÓGENO (MM)	1	
23/05/2006	PODER ESPUMÓGENO (MM)	1	
04/05/2006	SAAM (MG / L)	1.21	
23/05/2006	SAAM (MG / L)	0.45	
04/05/2006	SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (MG / L)	100	No cumple DS 90
04/05/2006	SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (MG / L)	106	No cumple DS 90
16/05/2006	SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (MG / L)	87	No cumple DS 90
23/05/2006	SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (MG / L)	80	No cumple DS 90
23/05/2006	SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (MG / L)	94	No cumple DS 90
01/06/2006	ACEITES Y GRASAS (MG / L)	15.4	
07/06/2006	ACEITES Y GRASAS (MG / L)	11	
20/06/2006	ACEITES Y GRASAS (MG / L)	8.4	
27/06/2006	ACEITES Y GRASAS (MG / L)	3.6	

Tabla E.4
Resultados muestreos en el efluente de La Cadellada (2006) (continuación)

FECHA MUESTREO	PARÁMETRO	VALOR MEDIDO	NOTA
01/06/2006	COLIFORMES FECALES 1.000,00 (NMP / 100 ML)	500	
01/06/2006	COLIFORMES FECALES 1.000,00 (NMP / 100 ML)	170	
07/06/2006	COLIFORMES FECALES 1.000,00 (NMP / 100 ML)	4	
07/06/2006	COLIFORMES FECALES 1.000,00 (NMP / 100 ML)	7	
20/06/2006	COLIFORMES FECALES 1.000,00 (NMP / 100 ML)	220	
20/06/2006	COLIFORMES FECALES 1.000,00 (NMP / 100 ML)	170	
27/06/2006	COLIFORMES FECALES 1.000,00 (NMP / 100 ML)	50	
27/06/2006	COLIFORMES FECALES 1.000,00 (NMP / 100 ML)	50	
01/06/2006	DBO5 (MG / L)	16.7	
01/06/2006	DBO5 (MG / L)	15.7	
07/06/2006	DBO5 (MG / L)	12.6	
07/06/2006	DBO5 (MG / L)	12.6	
20/06/2006	DBO5 (MG / L)	7.7	
20/06/2006	DBO5 (MG / L)	4.7	
27/06/2006	DBO5 (MG / L)	2.93	
27/06/2006	DBO5 (MG / L)	6.6	
01/06/2006	FÓSFORO (MG / L)	4.41	No cumple DS 90
07/06/2006	FÓSFORO (MG / L)	4.35	No cumple DS 90
20/06/2006	FÓSFORO (MG / L)	5.62	No cumple DS 90
27/06/2006	FÓSFORO (MG / L)	8.01	No cumple DS 90
01/06/2006	NITRÓGENO TOTAL KJELDAHL (MG / L)	18	
07/06/2006	NITRÓGENO TOTAL KJELDAHL (MG / L)	19.6	
20/06/2006	NITRÓGENO TOTAL KJELDAHL (MG / L)	31.3	
27/06/2006	NITRÓGENO TOTAL KJELDAHL (MG / L)	39	
01/06/2006	PODER ESPUMÓGENO (MM)	1	
07/06/2006	PODER ESPUMÓGENO (MM)	1	
20/06/2006	PODER ESPUMÓGENO (MM)	1	
27/06/2006	PODER ESPUMÓGENO (MM)	1	
01/06/2006	SAAM (MG / L)	0.53	
07/06/2006	SAAM (MG / L)	0.34	
20/06/2006	SAAM (MG / L)	0.51	
27/06/2006	SAAM (MG / L)	1.23	
01/06/2006	SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (MG / L)	118	No cumple DS 90
01/06/2006	SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (MG / L)	122	No cumple DS 90
07/06/2006	SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (MG / L)	90	No cumple DS 90
07/06/2006	SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (MG / L)	94	No cumple DS 90
20/06/2006	SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (MG / L)	74	
20/06/2006	SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (MG / L)	81.5	No cumple DS 90
27/06/2006	SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (MG / L)	56	
27/06/2006	SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (MG / L)	74	
06/07/2006	ACEITES Y GRASAS (MG / L)	3.9	
11/07/2006	ACEITES Y GRASAS (MG / L)	2.5	
18/07/2006	ACEITES Y GRASAS (MG / L)	6.6	
27/07/2006	ACEITES Y GRASAS (MG / L)	14.2	
06/07/2006	COLIFORMES FECALES 1.000,00 (NMP / 100 ML)	170	
06/07/2006	COLIFORMES FECALES 1.000,00 (NMP / 100 ML)	280	

Tabla E.4
Resultados muestreos en el efluente de La Cadellada (2006) (continuación)

FECHA MUESTREO	PARÁMETRO	VALOR MEDIDO	NOTA
11/07/2006	COLIFORMES FECALES 1.000,00 (NMP / 100 ML)	130	
11/07/2006	COLIFORMES FECALES 1.000,00 (NMP / 100 ML)	170	
18/07/2006	COLIFORMES FECALES 1.000,00 (NMP / 100 ML)	50	
18/07/2006	COLIFORMES FECALES 1.000,00 (NMP / 100 ML)	50	
27/07/2006	COLIFORMES FECALES 1.000,00 (NMP / 100 ML)	1600	No cumple DS 90
06/07/2006	DBO5 (MG / L)	87	No cumple DS 90
06/07/2006	DBO5 (MG / L)	71	No cumple DS 90
11/07/2006	DBO5 (MG / L)	10	
11/07/2006	DBO5 (MG / L)	10	
18/07/2006	DBO5 (MG / L)	11.6	
18/07/2006	DBO5 (MG / L)	10.1	
27/07/2006	DBO5 (MG / L)	10	
06/07/2006	FÓSFORO (MG / L)	7	
11/07/2006	FÓSFORO (MG / L)	4.74	
18/07/2006	FÓSFORO (MG / L)	4.72	
27/07/2006	FÓSFORO (MG / L)	0.68	
06/07/2006	NITRÓGENO TOTAL KJELDAHL (MG / L)	37.4	
11/07/2006	NITRÓGENO TOTAL KJELDAHL (MG / L)	17.8	
18/07/2006	NITRÓGENO TOTAL KJELDAHL (MG / L)	26.4	
27/07/2006	NITRÓGENO TOTAL KJELDAHL (MG / L)	3.4	
06/07/2006	PODER ESPUMÓGENO (MM)	1	
11/07/2006	PODER ESPUMÓGENO (MM)	1	
18/07/2006	PODER ESPUMÓGENO (MM)	1	
27/07/2006	PODER ESPUMÓGENO (MM)	1	
06/07/2006	SAAM (MG / L)	0.23	
11/07/2006	SAAM (MG / L)	1	
18/07/2006	SAAM (MG / L)	0.42	
27/07/2006	SAAM (MG / L)	1.62	
06/07/2006	SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (MG / L)	82	No cumple DS 90
06/07/2006	SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (MG / L)	76	
11/07/2006	SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (MG / L)	69	
11/07/2006	SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (MG / L)	64	
18/07/2006	SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (MG / L)	88	No cumple DS 90
18/07/2006	SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (MG / L)	90	No cumple DS 90
27/07/2006	SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (MG / L)	61	
03/08/2006	ACEITES Y GRASAS (MG / L)	15.3	
08/08/2006	ACEITES Y GRASAS (MG / L)	12.6	
17/08/2006	ACEITES Y GRASAS (MG / L)	31.4	No cumple DS 90
03/08/2006	COLIFORMES FECALES 1.000,00 (NMP / 100 ML)	20	
03/08/2006	COLIFORMES FECALES 1.000,00 (NMP / 100 ML)	20	
08/08/2006	COLIFORMES FECALES 1.000,00 (NMP / 100 ML)	500	
08/08/2006	COLIFORMES FECALES 1.000,00 (NMP / 100 ML)	500	
17/08/2006	COLIFORMES FECALES 1.000,00 (NMP / 100 ML)	900	
17/08/2006	COLIFORMES FECALES 1.000,00 (NMP / 100 ML)	500	
03/08/2006	DBO5 (MG / L)	12.6	
03/08/2006	DBO5 (MG / L)	16.1	

Tabla E.4
Resultados muestreos en el efluente de La Cadellada (2006) (continuación)

FECHA MUESTREO	PARÁMETRO	VALOR MEDIDO	NOTA
08/08/2006	DBO5 (MG / L)	10	
08/08/2006	DBO5 (MG / L)	10	
17/08/2006	DBO5 (MG / L)	9.1	
17/08/2006	DBO5 (MG / L)	13.2	
03/08/2006	FÓSFORO (MG / L)	4.88	No cumple DS 90
08/08/2006	FÓSFORO (MG / L)	6.01	No cumple DS 90
17/08/2006	FÓSFORO (MG / L)	6.63	No cumple DS 90
03/08/2006	NITRÓGENO TOTAL KJELDAHL (MG / L)	26.5	
08/08/2006	NITRÓGENO TOTAL KJELDAHL (MG / L)	12.5	
17/08/2006	NITRÓGENO TOTAL KJELDAHL (MG / L)	30.6	
03/08/2006	PODER ESPUMÓGENO (MM)	1	
08/08/2006	PODER ESPUMÓGENO (MM)	1	
17/08/2006	PODER ESPUMÓGENO (MM)	1	
03/08/2006	SAAM (MG / L)	0.2	
08/08/2006	SAAM (MG / L)	0.25	
17/08/2006	SAAM (MG / L)	0.37	
03/08/2006	SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (MG / L)	68	
03/08/2006	SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (MG / L)	94	No cumple DS 90
08/08/2006	SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (MG / L)	84	No cumple DS 90
08/08/2006	SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (MG / L)	104	No cumple DS 90
17/08/2006	SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (MG / L)	77	
17/08/2006	SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (MG / L)	67	
07/09/2006	ACEITES Y GRASAS (MG / L)	2.73	
14/09/2006	ACEITES Y GRASAS (MG / L)	0.1	
20/09/2006	ACEITES Y GRASAS (MG / L)	2.1	
26/09/2006	ACEITES Y GRASAS (MG / L)	8.5	
07/09/2006	COLIFORMES FECALES 1.000,00 (NMP / 100 ML)	4	
07/09/2006	COLIFORMES FECALES 1.000,00 (NMP / 100 ML)	2	
14/09/2006	COLIFORMES FECALES 1.000,00 (NMP / 100 ML)	300	
14/09/2006	COLIFORMES FECALES 1.000,00 (NMP / 100 ML)	110	
20/09/2006	COLIFORMES FECALES 1.000,00 (NMP / 100 ML)	170	
20/09/2006	COLIFORMES FECALES 1.000,00 (NMP / 100 ML)	240	
26/09/2006	COLIFORMES FECALES 1.000,00 (NMP / 100 ML)	130	
26/09/2006	COLIFORMES FECALES 1.000,00 (NMP / 100 ML)	80	
07/09/2006	DBO5 (MG / L)	10	
07/09/2006	DBO5 (MG / L)	10	
14/09/2006	DBO5 (MG / L)	19	
14/09/2006	DBO5 (MG / L)	13	
20/09/2006	DBO5 (MG / L)	10	
20/09/2006	DBO5 (MG / L)	10	
26/09/2006	DBO5 (MG / L)	11.5	
26/09/2006	DBO5 (MG / L)	10.5	
07/09/2006	FÓSFORO (MG / L)	7.4	No cumple DS 90
14/09/2006	FÓSFORO (MG / L)	5.96	No cumple DS 90
20/09/2006	FÓSFORO (MG / L)	4.92	No cumple DS 90
26/09/2006	FÓSFORO (MG / L)	6.18	No cumple DS 90

Tabla E.4
Resultados muestreos en el efluente de La Cadellada (2006) (continuación)

FECHA MUESTREO	PARÁMETRO	VALOR MEDIDO	NOTA
07/09/2006	NITRÓGENO TOTAL KJELDAHL (MG / L)	43	
14/09/2006	NITRÓGENO TOTAL KJELDAHL (MG / L)	36.4	
20/09/2006	NITRÓGENO TOTAL KJELDAHL (MG / L)	36.6	
26/09/2006	NITRÓGENO TOTAL KJELDAHL (MG / L)	62.4	
07/09/2006	PODER ESPUMÓGENO (MM)	1	
14/09/2006	PODER ESPUMÓGENO (MM)	1	
20/09/2006	PODER ESPUMÓGENO (MM)	1	
26/09/2006	PODER ESPUMÓGENO (MM)	1	
07/09/2006	SAAM (MG / L)	0.73	
14/09/2006	SAAM (MG / L)	2.41	
20/09/2006	SAAM (MG / L)	2.21	
26/09/2006	SAAM (MG / L)	0.21	
07/09/2006	SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (MG / L)	58	
07/09/2006	SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (MG / L)	58	
14/09/2006	SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (MG / L)	69	
14/09/2006	SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (MG / L)	58	
20/09/2006	SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (MG / L)	50	
20/09/2006	SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (MG / L)	36	
26/09/2006	SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (MG / L)	57	
26/09/2006	SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (MG / L)	64	
03/10/2006	ACEITES Y GRASAS (MG / L)	5.9	
10/10/2006	ACEITES Y GRASAS (MG / L)	12.9	
17/10/2006	ACEITES Y GRASAS (MG / L)	4.9	
24/10/2006	ACEITES Y GRASAS (MG / L)	14	
03/10/2006	COLIFORMES FECALES 1.000,00 (NMP / 100 ML)	2	
10/10/2006	COLIFORMES FECALES 1.000,00 (NMP / 100 ML)	300	
17/10/2006	COLIFORMES FECALES 1.000,00 (NMP / 100 ML)	500	
24/10/2006	COLIFORMES FECALES 1.000,00 (NMP / 100 ML)	300	
03/10/2006	DBO5 (MG / L)	12	
10/10/2006	DBO5 (MG / L)	10	
17/10/2006	DBO5 (MG / L)	10	
24/10/2006	DBO5 (MG / L)	19.3	
03/10/2006	FÓSFORO (MG / L)	5.25	No cumple DS 90
10/10/2006	FÓSFORO (MG / L)	3.65	No cumple DS 90
17/10/2006	FÓSFORO (MG / L)	2.77	No cumple DS 90
24/10/2006	FÓSFORO (MG / L)	3.46	No cumple DS 90
03/10/2006	NITRÓGENO TOTAL KJELDAHL (MG / L)	49.8	
10/10/2006	NITRÓGENO TOTAL KJELDAHL (MG / L)	46.4	
17/10/2006	NITRÓGENO TOTAL KJELDAHL (MG / L)	40.4	
24/10/2006	NITRÓGENO TOTAL KJELDAHL (MG / L)	28.5	
03/10/2006	PODER ESPUMÓGENO (MM)	1	
10/10/2006	PODER ESPUMÓGENO (MM)	1	
17/10/2006	PODER ESPUMÓGENO (MM)	1	
24/10/2006	PODER ESPUMÓGENO (MM)	1	
03/10/2006	SAAM (MG / L)	0.07	
10/10/2006	SAAM (MG / L)	0.27	

Tabla E.4
Resultados muestreos en el efluente de La Cadellada (2006) (continuación)

FECHA MUESTREO	PARÁMETRO	VALOR MEDIDO	NOTA
03/10/2006	SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (MG / L)	46	
10/10/2006	SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (MG / L)	73	
17/10/2006	SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (MG / L)	92	No cumple DS 90
24/10/2006	SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (MG / L)	84	No cumple DS 90

E.2.3 Calidad del Agua Subterránea

Existen 6 bases de información para obtener la calidad de las aguas subterráneas de la cuenca de Batuco. La primera es bastante antigua pero permite constatar que algunos valores altos encontrados en otros estudios son la condición natural de la cuenca.

E.2.3.1 Estudio Sotomayor (1964)

En este trabajo se hizo un muestreo a pozos y norias del sector de Batuco principalmente. También se analizaron las aguas subterráneas de las zonas de Polpaico, Lampa y Colina. Los parámetros medidos fueron macroelementos, sólidos disueltos, dureza, nitratos (NO_3), sílice y pH.

Según un análisis que se hizo en el Diagrama de Piper, las aguas fueron clasificadas en cuatro grupos:

- **Grupo I:** A este grupo pertenecen las aguas de la zona central de la cuenca. En estas aguas los ácidos fuertes (Cl y SO_4) exceden a los ácidos débiles (HCO_3 y CO_3). La dureza es mayor a 400 mg/l y los sólidos disueltos exceden los 1000 mg/l. El alto contenido de sales se debe a que estas aguas están expuestas a la evaporación desde la superficie freática.
- **Grupo II:** En este grupo se ubican las aguas de la zona oriental de la cuenca. En estas aguas los álcalis (Na y K) exceden a los alcalinos térreos (Ca y Mg). Estas muestras no guardan ninguna semejanza con las del Grupo I, teniendo una dureza total menor a 90 mg/l y una cantidad de sólidos disueltos menor a 300 mg/l.
- **Grupo III:** Corresponden a este grupo las aguas subterráneas de la zona norte de la cuenca. Estas aguas están dominadas por alcalinos térreos y ácidos débiles. La dureza total es del orden de 250 mg/l y la cantidad de sólidos disueltos es de 400 mg/l.
- **Grupo IV:** Son las aguas de Polpaico y Lampa. Su carácter químico es similar al del Grupo III.

Tabla E.5
Rangos de valores de los macroelementos

Elemento	Valor mínimo (mg/l)	Valor máximo (mg/l)	Elemento	Valor mínimo (mg/l)	Valor máximo (mg/l)
Mg	0,5	59	Ca	7,6	265
Na	56	530	K	0,2	15
HCO ₃	85	311	SO ₄	16	809
Cl	11	490			

Con respecto a las otras variables medidas, los nitratos mostraron valores por encima de los 4 mg/l NO₃. El valor más alto de este parámetro se encontró al poniente de la Laguna (31 mg/l). El sílice se encontró entre los 16 y 51 mg/l. Los valores más altos estuvieron en los sectores poniente y norponiente de la cuenca. En cuanto al pH, sus valores fluctuaron entre 6,80 y 7,92.

E.2.3.2 Proyecto CNR-IPLA (1984)

En el Proyecto Maipo se trabajó con información presente hasta esa fecha en la cuenca del río Maipo. De esta forma, un muestreo realizado en 1974 por la DGA involucró un pozo del área del estudio. Los resultados de este análisis están en la Tabla E.6.

Tabla E.6
Muestreo realizado por la DGA en 1974 al pozo 3310-7040-A-5

Parámetro	Valor	Parámetro	Valor
pH	6,73	Ca (mg/l)	35,1
C.E. (uS/cm)	400	Mg (mg/l)	20,8
SAR	0,71	K (mg/l)	1,6
HCO ₃ (mg/l)	211,7	Na (mg/l)	21,4
Cl (mg/l)	12,4	B (mg/l)	1,4
SO ₄ (mg/l)	17,8	Cu (mg/l)	0

Además, fue llevada a cabo una estimación de la dureza y elementos nocivos por sectores. En este análisis se concluyó que el agua subterránea de la cuenca de Batuco tiene valores de dureza entre 150 y 300 mg/l de CaCO₃, y valores de boro bajos (0,75 – 2 mg/l).

E.2.3.3 Estudio CONAMA-AC (1999)

En este estudio se analizó en primer lugar toda la información de calidad de aguas subterráneas disponible en la Región Metropolitana, relacionada con aguas servidas. Juntando todos estos muestreos se obtuvo la distribución de nitratos en la Región. En la cuenca de Batuco los valores de este parámetro se encuentran cercanos a los 6 mg/l, existiendo un peak de 22 mg/l en el sector suroriente del área de estudio. Lampa es el sector con mayor variación temporal de nitratos, existiendo una cierta tendencia al descenso.

En segundo lugar, se realizaron dos campañas de muestreo entre los años 1998 y 1999, analizando un total de 90 pozos en la Región Metropolitana. La información obtenida de estas campañas, junto con la reunida de un muestreo realizado en 1999 por el Centro Nacional del Medio Ambiente (CENMA), permite concluir lo siguiente con respecto a Batuco:

- El pH de todas las muestras se mantiene en un rango normal de entre 7,0 y 8,4.
- La zona de la Laguna de Batuco presenta la conductividad eléctrica más alta de la Región (3.800 uS/cm). Esto se debe a que la Laguna es un punto terminal del sistema de flujo subterráneo, el cual es descargado por evaporación y bombeo. Además, las actividades agrícolas aportan con más sales a este sistema somero.
- No se encontraron elementos patógenos en ninguna de las muestras colectadas.
- Con respecto a los nitratos, se observa la existencia de una contaminación del agua subterránea por este elemento, con valores que van creciendo desde el suroriente hacia el norponiente de la cuenca y que se encuentran entre 4 y 17 mg/l. Considerando un valor de entre 2 y 4 mg/l como valor referencial de las aguas subterráneas de la Región Metropolitana, los niveles altos de nitratos se atribuyen a interacciones locales con aguas superficiales contaminadas. El nivel somero y la permeabilidad permiten el transporte de los contaminantes.
- No se encontró una correlación entre los nitratos y la conductividad eléctrica. Esto quiere decir que la contaminación por nitratos obedece a procesos locales y no a procesos geológicos a mayor escala.

E.2.3.4 Proyecto DGA-AC (2000)

En este estudio se recopiló información de calidad de aguas subterráneas en las cuencas de los ríos Maipo y Mapocho. Además, se hizo un muestreo para complementar esta información.

Para el área de Lampa-Colina-Mapocho los resultados en general revelan que la calidad del agua subterránea es buena, cumpliendo con los límites exigidos en las normas para agua potable y otros usos, salvo en los alrededores de la Laguna de Batuco (C.E., hierro, sólidos disueltos totales, cloruro, magnesio, cadmio, plomo y sulfato).

Con respecto a los nitratos, antecedentes indican que se exceden por sobre los 10 mg/l en gran parte del área de Lampa-Colina-Mapocho. En tanto, sólo un pozo registra un valor alto de Arsénico, el pozo 3310-7040-A28 (Entel Batuco), ubicado en Batuco, con un valor de 0.08 mg/l.

A continuación se muestran tablas con valores de calidad de diferentes trabajos correspondientes al área de estudio. Destaca entre éstos, el trabajo realizado por AC Ingenieros Consultores en 1988 para caracterizar la calidad del agua subterránea en zonas adyacentes al tranque de relaves Las Tórtolas (Tabla E.7).

Tabla E.7

Resumen calidad del agua subterránea en Colina, Lampa y Batuco.
Muestreo realizado por AC en 30 pozos entre octubre y noviembre de 1988.

Parámetro	Unidad	Valor máximo medido	Valor medio medido
pH		8	7,7
C. Eléctrica	uS/cm	2675	780
Aluminio	mg/l	0,7	0,1
Arsénico	mg/l	0,05	0,01
Bicarbonato	mg/l	239	177
Boro	mg/l	0,3	0,3
Calcio	mg/l	63	48
Cromo	mg/l	0,01	0,01
Cadmio	mg/l	0,05	0,004
Cloruro	mg/l	341	52
Cobre total	mg/l	0,08	0,02
Hierro	mg/l	0,5	0,1
Hierro disuelto	mg/l	0,1	0,05
Manganeso	mg/l	0,09	0,02
Molibdeno	mg/l	0,008	0,001
Magnesio	mg/l	10,4	7
Nitrato-N	mg/l	5	2,5
Potasio	mg/l	3,3	1,1
Plomo	mg/l	0,059	0,02
Sodio	mg/l	29,3	27,8
Sulfato	mg/l	953	199,4

Tabla E.8

Muestreo realizado por la DGA en el Pozo 3310-7040-A-25 en noviembre de 1991

Parámetro	Variable (mg/l)	Parámetro	Variable (mg/l)
N-NO ₃	3	Litio	<0,01
Aluminio	<0,1	Cobre	0,07
Plomo	0,01	Hierro	3,5
Plata	<0,01	Manganeso	<0,01
Níquel	0,01	Mercurio	<0,001
Cinc	0,04	Selenio	<0,001
Cromo	<0,01	Arsénico	0,009
Cadmio	<0,01		

Tabla E.9

Muestras realizadas en este estudio entre abril y mayo de 1998

ROL IREN	3310-7040-A-17	3310-7050-B-14	3310-7040-A-25
Nombre predio	Ejemplo Campesino, Los Ciruelos	Asentamiento La Laguna	Fundo La Cadellada
UTMn	6323651	6325745	6324567
UTMe	335799	328607	333719
Fecha de muestreo	10-abr-98	10-abr-98	10-abr-98
Conductividad (uS/cm a 25°C)	1605	896	397
Ph	7,6	7,95	8

Tabla E.9

Muestréos realizados en este estudio entre abril y mayo de 1998 (continuación)

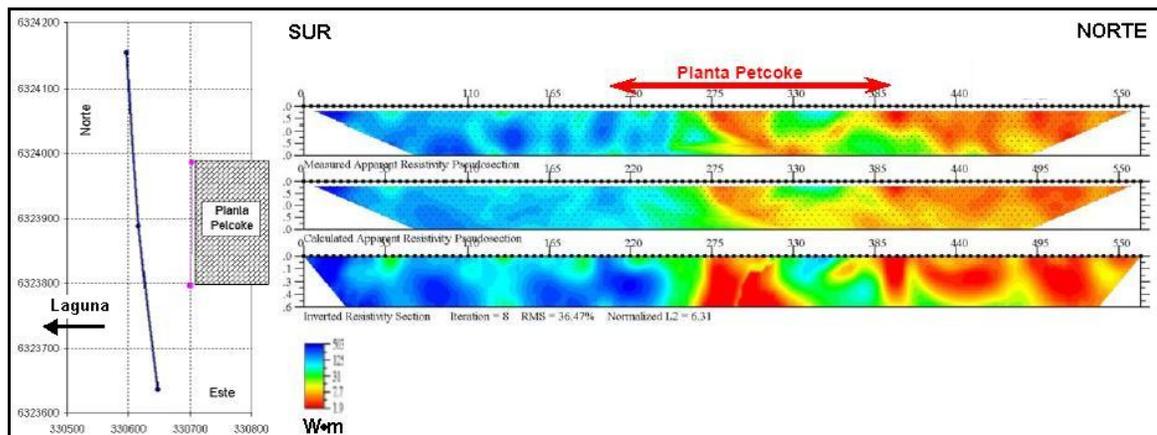
Sólidos Disueltos Totales (mg/l a 105°C)	1328	778	314
Temperatura (°C)	21,2	21,5	21,3
HCO ₃ (mg/l)	305	285	136
CO ₃ (mg/l)	0	0	0
Cl (mg/l)	201	80	36,5
SO ₄ (mg/l)	383	101	33,5
Mg (mg/l)	46,2	36,5	5,3
Ca (mg/l)	180	132	40,9
K (mg/l)	2	0,71	1,2
Na (mg/l)	165	31,4	46,9
N-NO ₃ (mg/l)	5,7	17,11	3,14
Fósforo Total (mg/l)	0,2	<0,2	<0,2
Boro (mg/l)	0,27	<0,02	<0,02
Hierro (mg/l)	0,11	<0,09	0,78
Plomo (mg/l)	<0,01	<0,01	<0,01
Cobre (mg/l)	<0,01	<0,01	<0,01

Con los datos de los muestréos efectuados en este estudio se construyeron mapas de isoconcentraciones para algunos parámetros. Según éstos, la conductividad eléctrica en gran parte de Batuco es alta, del orden de los 1000 uS/cm. Los sulfatos son cercanos a 300 mg/l y los cloruros son mayores que 20 mg/l en la recarga proveniente del estero Colina. A su vez, los nitratos muestran valores entre 3 y 6 mg/l en la mitad oriente de la cuenca de Batuco, y valores entre 7 y 10 mg/l en la otra mitad.

E.2.3.5 Estudio Aguirre (2005)

En este informe se recopiló variada información ambiental del área de estudio. Uno de los trabajos expuestos fue una investigación realizada por el Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN) y la BGR (Instituto de Geociencias y Recursos Naturales de Alemania) en enero de 2004. Ésta consistió en un perfil geoelectrico N-S efectuado a 100 m de la planta de petcoke, entre esta empresa y la Laguna (Figura E.3).

Figura E.3
Ubicación y resultados del perfil geoelectrico SERNAGEOMIN - BGR



En la Figura E.3 es posible observar 3 perfiles; el superior corresponde a los datos medidos en terreno, el perfil del medio es una corrección del anterior, mientras que el inferior corresponde a una modelación computacional. Los 3 perfiles muestran una clara disminución de las resistividades desde el sur y hacia el norte. Esta fuerte disminución bajo la planta de petcoke podría deberse a otras causas, posiblemente asociadas a la salinización natural conocida en la zona.

Para poder dilucidar estas dudas, este estudio recomienda realizar perfiles adicionales e instalar punteras o sistemas equivalentes que permitan analizar químicamente las aguas subterráneas en el sector asociado a las menores resistividades.

En este trabajo se plantea la teoría de que rocas volcánicas de la formación Las Chilcas podrían generar aumentos del *background* local en los contenidos de As y Fe de las aguas superficiales y subterráneas. Se recomienda un muestreo geoquímico e hidroquímico en las aguas superficiales y subterráneas asociadas a estas rocas.

E.2.3.6 Red de Monitoreo DGA

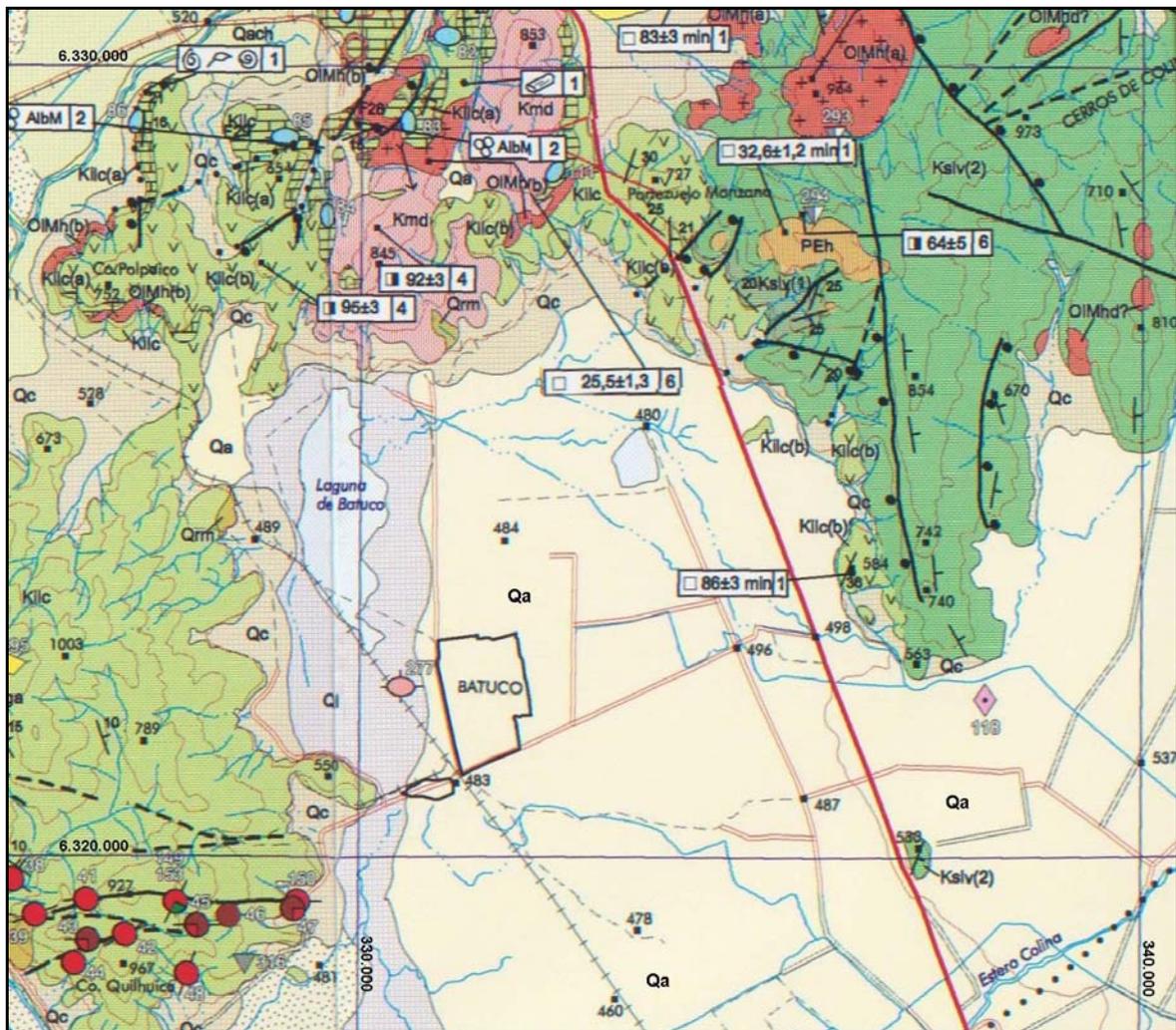
La Red de Monitoreo de Calidad de Aguas Subterráneas de la DGA tiene tan sólo dos pozos en la comuna de Lampa y uno en Colina. Estos pozos no son útiles para caracterizar las aguas que podrían recargar la cuenca de Batuco ya que se encuentran, según el Patrón de Flujo, aguas abajo de ésta. Tampoco son útiles para obtener información de aguas que descarguen la cuenca pues reciben aguas mezcladas con otras cuencas.

E.3 FORMACIONES ROCOSAS, DEPÓSITOS SEDIMENTARIOS Y SUELOS

E.3.1 Formaciones Rocosas

La **Formación Las Chilcas (Ic)** está compuesta de rocas cretácicas sedimentarias y volcánicas. La secuencia y distribución de los distintos estratos de esta formación son tan variables, que prácticamente no existe una exposición típica. Las variedades litológicas que componen esta formación son: basaltos; andesitas gris azuladas, cenicientas y rojas; brechas claras y oscuras; tobas rojas; areniscas tobíferas negras y de color chocolate; lutitas rojas, alternando con tobas y brechas; y conglomerados con clastos muy gruesos de color café. Sus niveles medios, calcáreos, afloran en el área de Polpaico.

Figura E.4
Geología área de estudio



Fuente: Wall, Sellés & Gana, 1999.

La **Formación Lo Valle (Iv)** (Cretácico Superior – Terciario Inferior) es reconocida como una unidad predominantemente volcánica, constituida por tobas blancas, lavas

rosadas e ignimbritas, en la que se interestratifican lutitas, areniscas y conglomerados. Este conjunto de estratos se apoya con discordancia de erosión y leve plegamiento, sobre distintos niveles de la Formación Las Chilcas.

Aparte de las rocas estratificadas destaca en la Figura E.4, al norte de la cuenca, un cuerpo cretácico intrusivo plutónico (Kmd) compuesto de dioritas cuarcíferas a monzonitas cuarcíferas de piroxeno, anfíbola y biotita, y monzograbos de piroxeno. En esta misma zona existen algunas intrusiones hipabisales (OIMh) más recientes (Holoceno), cuya composición varía desde gabros a andesitas de piroxeno.

E.3.2 Depósitos Sedimentarios y Suelos

Los **Depósitos Coluviales (Qc)** corresponden a escombros de falda o escombreras y conos de deyección, ubicados en los sectores bajos de los flancos de las montañas y cabeceras de las quebradas, respectivamente. Son principalmente depósitos de origen gravitatorio de muy mala selección granulométrica, que pueden incluir desde bloques hasta arcillas, interdigitados con lentes de arena y gravas generados por pequeños cursos de agua esporádicos. Prácticamente carecen de estratificación, y los clastos que los componen son angulosos y subangulosos. Tal como lo dice su nombre, los conos de deyección tienen forma cónica, con un vértice apical en las cabeceras de las quebradas, y con su extremo distal en el fondo de las mismas. En este mismo sentido también se observa una zonación de la granulometría, de más grueso a más fino, desde su extremo apical al distal.

Los **Depósitos de Remoción en Masa (Qrm)** se generan por la movilización gravitacional del tipo flujos de detritos, que están constituidos por bloques muy mal seleccionados y una matriz de granulometría heterogénea donde coexisten desde ripios hasta arcillas. Son consecuencia de derrumbes o deslizamiento de detritos y bloques a los pies de las montañas.

Los **Depósitos Aluviales (Qa)** son sedimentos no consolidados, ubicados en zonas de llanura, comprenden principalmente depósitos originados por cursos de escurrimiento superficial intermitente, interdigitados con sedimentos gravitacionales tales como flujos de barro y flujos de detritos. Granulométricamente están compuestos por gravas, arenas, limos y arcillas y presentan una fracción clástica mayor que suele ser subangulosa a subredondeada.

Los **Depósitos Lacustres (Ql)** son sedimentos de grano fino, no consolidados, constituidos por arenas limosas, limos y arcillas. Considerando el drenaje imperfecto de la depresión de Batuco, las lagunas someras sólo podían perder su agua por evaporación y así se explica la presencia de capas de materiales finos endurecidos. Condiciones menos rigurosas de evaporación deben haber permitido que depósitos antiguos conservasen parte de su humedad, y de esta forma se explica la existencia de capas de arcillas de compactación variable (Sotomayor, 1964).

Los suelos arcillosos registran expansión por incorporación de agua, mientras que se agrietan y salinizan al secarse por actividad capilar y alta evaporación, en respuesta a ciclos con elevadas temperaturas (Fernández, 2001). Estas características hidromorfas

hacen que sean inadecuados para la fundación. Los suelos del Humedal son calcáreos, alcalinos y oscuros pero con bajo contenido de materia orgánica. Por lo tanto, tampoco son aptos para la agricultura.

Otro relleno cuaternario presente en la zona, aunque en menores cantidades, se formó en épocas de sequías, donde existió la **Deposición por Viento** (loess intercalados).

E.4 PRECIPITACIONES EN LAS ESTACIONES RUNGUE Y QUINTA NORMAL

PRECIPITACIONES MENSUALES (mm)

ESTADISTICA 1950/51 - 2004/05

ESTACION : SANTIAGO QUINTA NORMAL

LAT: 33° 27'

LONG: 70° 42'

ALT: 530 msnm

Tabla E.10

AÑO	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ANUAL
1950/51	77.2	80.9	16.8	0.1	45.1	39.3	10.1	22.2	0.0	0.0	0.0	0.0	291.7
1951/52	19.6	81.1	65.2	106.1	12.9	35.9	0.0	2.0	0.1	0.0	2.5	0.0	325.4
1952/53	0.0	98.4	102.4	39.7	27.9	41.0	14.8	7.7	0.0	6.4	0.0	0.9	339.2
1953/54	38.6	70.8	38.4	101.7	198.7	112.7	14.8	0.0	0.0	0.0	0.9	0.0	576.6
1954/55	60.7	67.9	85.2	71.1	13.5	12.0	4.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	315.8
1955/56	13.5	44.8	53.0	21.1	20.6	5.3	33.1	1.5	0.5	5.5	0.0	39.8	238.7
1956/57	12.9	37.3	4.9	64.3	76.9	14.2	4.4	2.8	1.0	1.0	0.1	0.0	219.8
1957/58	2.2	161.3	23.4	43.5	42.2	15.8	0.2	0.0	19.7	0.0	0.0	0.2	308.5
1958/59	0.0	98.4	107.8	22.7	90.8	7.2	1.3	7.4	0.0	0.0	0.0	18.2	353.8
1959/60	59.5	58.0	79.2	45.2	41.8	11.3	6.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	301.0
1960/61	0.0	21.2	89.0	54.3	21.1	5.3	3.0	0.0	0.0	1.2	0.0	13.0	208.1
1961/62	0.0	21.7	74.4	16.7	67.7	32.3	26.4	0.5	7.0	0.0	0.0	0.0	246.7
1962/63	0.4	12.9	149.9	14.1	32.1	6.0	11.2	0.0	0.0	0.2	0.0	4.4	231.2
1963/64	0.4	27.1	34.1	146.5	104.7	108.0	24.3	5.8	0.0	0.0	0.0	0.2	451.1
1964/65	0.9	0.2	83.7	35.6	61.3	0.3	0.2	0.0	4.1	0.0	0.0	0.0	186.3
1965/66	36.4	33.3	14.7	130.8	159.4	3.6	18.1	3.6	13.8	0.0	0.0	0.0	413.7
1966/67	35.3	6.6	133.1	103.6	45.1	0.7	6.1	20.0	13.6	0.0	0.0	0.0	364.1
1967/68	1.3	12.4	36.2	55.2	20.0	30.7	17.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	172.8
1968/69	14.0	0.0	7.8	4.6	9.9	32.7	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	69.2
1969/70	19.9	22.5	62.6	22.1	45.8	1.6	2.0	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	177.3
1970/71	0.0	75.8	32.3	164.9	6.9	21.6	25.1	0.0	0.0	1.6	0.0	0.0	328.2
1971/72	2.2	33.0	131.4	30.0	30.8	5.7	11.3	0.0	1.1	0.0	0.0	2.2	247.7
1972/73	4.0	125.7	174.3	52.6	150.4	55.7	11.0	4.4	0.0	0.0	0.0	0.0	578.1
1973/74	4.0	17.4	32.1	77.2	0.7	6.0	34.4	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	172.0
1974/75	0.0	100.8	228.1	35.3	14.1	22.0	0.0	17.7	0.0	0.0	0.0	0.0	418.0
1975/76	14.9	18.3	2.2	111.4	20.1	1.1	0.0	15.3	0.0	0.0	0.8	5.8	189.9
1976/77	1.6	18.4	51.9	6.5	34.8	16.5	51.0	13.2	0.0	0.0	0.0	0.0	193.9
1977/78	20.5	28.9	123.1	121.4	48.2	1.5	21.1	31.0	0.0	0.0	0.0	0.0	395.7

AÑO	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ANUAL				
1978/79	0.0	19.1	54.5	222.3	14.9	26.1	0.4	82.5	1.0	0.0	0.0	0.0	420.8				
1979/80	6.0	12.6	0.7	91.9	29.7	33.9	0.0	26.0	12.7	0.6	21.2	0.0	235.3				
1980/81	48.6	44.9	60.3	63.9	14.1	61.8	0.2	5.2	0.0	0.0	3.8	6.9	309.7				
1981/82	0.7	183.0	20.0	30.0	11.0	14.5	11.5	0.5	0.0	0.0	0.0	29.4	300.6				
1982/83	0.1	108.3	273.4	110.8	55.6	48.2	14.5	0.0	0.0	8.2	0.1	0.0	619.2				
1983/84	30.6	45.3	93.1	90.6	38.3	42.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.1	341.9				
1984/85	1.3	71.9	37.9	224.4	59.0	23.6	18.4	4.3	0.0	0.2	0.0	27.2	468.2				
1985/86	0.2	37.2	19.7	67.6	7.7	6.5	19.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	158.6				
1986/87	26.1	90.0	108.3	0.6	53.9	3.1	3.4	25.9	0.0	0.0	0.2	0.1	311.6				
1987/88	10.5	46.4	36.7	355.0	182.3	16.2	64.8	0.0	0.0	0.0	0.0	6.0	717.9				
1988/89	0.0	5.0	12.0	33.1	52.7	10.2	0.0	16.6	4.0	0.0	0.0	0.0	133.6				
1989/90	38.2	25.0	17.7	95.1	108.7	15.5	1.9	0.4	0.0	0.0	0.0	11.9	314.4				
1990/91	1.1	6.4	1.6	75.1	70.3	23.4	15.7	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	193.9				
1991/92	1.9	72.2	112.6	94.7	3.2	52.5	13.7	0.0	28.8	0.0	0.5	13.2	393.3				
1992/93	41.0	128.5	170.3	23.3	57.7	20.7	0.0	7.8	0.0	0.0	0.0	0.0	449.3				
1993/94	101.7	80.2	34.7	52.2	30.7	7.1	7.6	2.3	0.2	0.0	0.0	0.0	316.7				
1994/95	19.3	44.5	44.5	82.7	16.5	17.6	3.5	0.0	7.4	0.6	0.0	0.0	236.6				
1995/96	18.7	8.6	47.2	54.8	36.4	19.6	0.6	0.1	0.0	1.8	0.0	0.0	187.8				
1996/97	54.0	14.7	31.7	25.2	29.8	2.2	3.7	0.0	0.9	0.0	0.0	13.5	175.7				
1997/98	0.5	126.1	259.0	60.2	98.9	85.5	60.2	3.6	1.9	0.0	4.3	0.0	700.2				
1998/99	32.7	13.8	22.6	0.2	164.2	N	15.1	35.3	N	0.0	0.1	19.7	305.8				
1999/2000	12.9	0.9	31.2	43.4	109.9		100.1	23.6	0.0	N	1.4	0.0	N	14.7	5.3	N	343.4
2000/01	17.6	20.0	261.5	28.5	0.5	116.5	13.6	1.0	7.3	N	0.0	N	0.0	N	9.9	476.4	
2001/02	16.1	32.3	0.3	186.6	50.2	15.8	0.7	0.0	4.7	N	0.0	0.0	1.7	308.4			
2002/03	13.6	137.9	247.5	92.3	74.2	28.3	4.0	0.0	1.3	5.0	9.4	N	0.2	613.7			
2003/04	3.7	N	79.7	31.5	73.4	6.9	14.5	0.0	13.7	0.0	N	0.0	0.0	18.7	242.1		
2004/05	39.2	16.4	44.1	95.2	55.9	23.7	1.7	58.9	5.6	N	0.0	0.0	22.3	363.0			
PROMEDIO	17.8	51.7	74.8	74.0	52.3	27.1	12.2	7.4	2.6	0.6	1.1	5.0	326.4				
DES EST	22.2	44.5	72.0	64.6	47.3	29.0	15.0	14.9	5.5	1.7	3.7	9.0	142.6				
COEF VAR	1.3	0.9	1.0	0.9	0.9	1.1	1.2	2.0	2.2	2.9	3.5	1.8	0.4				
MÁXIMO	101.7	183.0	273.4	355.0	198.7	116.5	64.8	82.5	28.8	8.2	21.2	39.8	717.9				
MÍNIMO	0.0	0.0	0.3	0.1	0.5	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	69.2				

Fuente:
1950/51 - 1980/81 Proyecto Maipo (1984); Período 1981/82 - 2004/2005 DMC.
estación base

Nomenclatura:
N: Estadística rellena mediante módulos pluviométricos considerando Carmen de las Rosas como

PRECIPITACIONES MENSUALES (mm)
ESTADISTICA 1950/51 - 2004/05

ESTACION: RUNGUE

LAT : 33° 02'

LONG : 70° 54'

ALT : 710 msnm

Tabla E.11

AÑO	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ANUAL
1950/51	81.1	85.0	17.6	0.1	47.4	41.3	10.6	23.3	0.0	0.0	0.0	0.0	306.4
1951/52	20.6	85.2	68.5	111.5	13.5	37.7	0.0	2.1	0.1	0.0	2.6	0.0	341.8
1952/53	0.0	103.4	107.6	41.7	29.3	43.0	15.5	8.0	0.0	6.7	0.0	0.9	356.1
1953/54	40.5	74.4	40.3	106.8	208.8	118.4	15.5	0.0	0.0	0.0	0.9	0.0	605.6
1954/55	63.8	71.3	89.5	74.7	14.1	12.6	5.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	331.6
1955/56	14.1	47.0	55.7	22.1	21.6	5.5	34.7	1.5	0.5	5.7	0.0	41.8	250.2
1956/57	13.5	39.2	5.1	67.5	80.8	14.9	4.6	2.9	1.0	0.0	0.0	0.0	229.5
1957/58	0.0	243.8	6.8	41.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	291.8
1958/59	0.0	98.9	87.7	41.2	58.4	4.3	0.0	7.7	0.0	0.0	0.0	6.8	305.0
1959/60	24.9	35.2	126.4	82.5	66.2	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	337.7
1960/61	0.0	18.0	137.6	40.4	25.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.1	226.9
1961/62	0.0	21.5	138.4	20.6	81.7	10.3	10.3	0.0	5.1	0.0	0.0	0.0	287.9
1962/63	0.0	15.4	241.6	10.3	6.0	3.8	6.8	0.0	0.0	0.0	0.0	1.7	285.6
1963/64	0.0	45.5	46.4	177.1	115.2	90.3	1.7	5.1	0.0	0.0	0.0	0.0	481.3
1964/65	0.0	0.0	49.8	36.9	54.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	140.8
1965/66	8.4	24.4	11.5	140.1	280.9	0.0	3.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	469.1
1966/67	19.2	3.8	96.4	117.0	9.0	0.0	0.0	14.1	20.5	0.0	0.0	0.0	280.0
1967/68	5.7	16.7	49.5	73.9	14.7	59.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	220.3
1968/69	10.9	0.0	13.5	4.5	27.6	28.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	85.1
1969/70	32.1	23.1	100.8	10.9	76.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	243.4
1970/71	0.0	94.0	28.5	149.5	2.0	19.0	13.5	0.0	0.0	3.5	0.0	0.0	310.0
1971/72	16.0	12.0	105.0	22.5	15.5	4.5	3.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	178.5
1972/73	2.0	121.2	214.5	37.0	178.0	76.0	3.0	3.0	0.0	0.0	0.0	0.0	634.7
1973/74	3.0	53.5	35.5	134.7	0.0	0.0	23.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	250.2
1974/75	0.0	89.6	253.1	21.1	4.6	14.9	1.0	17.5	0.0	0.0	0.0	0.0	401.8
1975/76	19.7	27.0	3.6	114.0	36.5	0.0	2.0	18.5	0.0	0.0	0.0	0.0	221.3
1976/77	2.4	29.7	43.0	5.0	33.5	37.5	38.5	21.0	0.0	0.0	0.0	0.0	210.6
1977/78	9.5	21.0	157.5	258.0	66.3	0.0	25.7	13.0	0.0	0.0	0.0	0.0	551.0
1978/79	0.0	7.0	37.0	285.6	3.7	26.1	0.0	70.1	0.0	0.0	0.0	0.0	429.5
1979/80	14.4	13.9	0.8	52.5	20.3	29.1	0.0	21.9	2.3	0.0	23.5	0.0	178.7

AÑO	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ANUAL
1980/81	120.4	67.8	45.2	139.5	13.0	67.6	0.0	2.5	0.0	0.0	0.0	5.0	461.0
1981/82	0.0	228.0	28.0	25.5	13.0	11.2	6.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.5	319.2
1982/83	0.7	164.4	263.7	222.8	102.2	24.4	11.5	0.0	0.0	25.6	0.0	0.0	815.3
1983/84	2.6	46.5	99.7	122.7	55.5	20.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	347.2
1984/85	0.0	58.4	28.2	488.7	39.5	49.6	9.3	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0	675.7
1985/86	0.0	33.0	19.7	57.8	6.0	10.2	20.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	146.7
1986/87	21.8	193.5	146.3	0.0	135.4	4.6	0.0	44.5	0.0	0.0	0.0	0.0	546.1
1987/88	3.5	88.9	31.2	621.4	169.5	13.1	35.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	964.0
1988/89	0.0	2.5	15.7	33.8	71.0	12.0	0.0	21.4	1.4	0.0	0.0	0.0	157.8
1989/90	11.6	21.4	16.2	153.5	91.7	8.4	1.5	0.0	0.0	0.0	0.0	8.7	313.0
1990/91	0.0	3.0	0.0	41.5	36.5	29.8	3.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	113.8
1991/92	4.0	98.6	201.7	36.5	1.8	83.2	11.6	0.0	3.3	0.0	0.0	31.6	472.3
1992/93	26.5	166.4	215.3	12.6	73.1	24.5	0.0	6.6	0.0	0.0	0.0	0.0	525.0
1993/94	89.6	81.4	45.6	41.1	20.0	1.2	2.4	0.0	1.4	0.0	0.0	0.0	282.7
1994/95	2.0	80.5	23.3	110.3	8.0	25.8	1.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	251.4
1995/96	17.2	2.5	44.1	58.1	52.5	20.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	195.2
1996/97	29.0	13.5	37.5	69.3	42.0	0.0	7.3	0.0	0.0	0.0	0.0	1.5	200.1
1997/98	0.0	181.0	492.8	45.0	167.8	83.1	74.0	3.2	6.5	0.0	16.5	0.0	1069.9
1998/99	30.0	5.0	30.7	0.5	0.0	1.5	0.0	0.0	0.0	2.9	0.0	17.3	87.9
1999/2000	7.5	13.3	49.1	14.8	71.8	98.5	6.5	0.0	0.0	0.0	4.5	0.0	266.0
2000/01	8.0	19.0	347.1	24.0	0.0	119.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	517.7
2001/02	5.6	39.4	0.9	315.1	53.8	8.2	1.9	0.3	0.0	0.0	0.0	0.5	425.7
2002/03	4.5	219.5	333.5	172.7	78.9	13.0	0.0	0.0	0.3	1.0	0.0	0.0	823.4
2003/04	0.0	92.8	60.9	67.3	4.7	6.9	0.0	6.0	0.0	0.0	0.0	22.0	260.6
2004/05	44.0	14.0	49.0	77.5	79.5	25.5	0.5	46.0	0.0	0.0	0.0	21.0	357.0
PROMEDIO	15.1	62.8	90.8	95.5	54.2	26.2	7.5	6.5	0.8	0.8	0.9	3.2	364.3
DES EST	24.3	62.8	101.6	116.3	58.6	31.5	13.3	13.5	3.0	3.6	3.9	8.2	209.8
COEF VAR	1.6	1.0	1.1	1.2	1.1	1.2	1.8	2.1	3.9	4.4	4.4	2.6	0.6
MÁXIMO	120.4	243.8	492.8	621.4	280.9	119.0	74.0	70.1	20.5	25.6	23.5	41.8	1069.9
MÍNIMO	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	85.1

Fuente:

Período 1950/51 - 1980/81 Estadísticas Corregidas Proyecto Maipo (1984).

Período 1981/82 - 1997/98 Estadísticas Observadas DGA.

Período 1998/99 - 2004/05 Estadísticas Observadas DGA (nuevo estudio).

Período 04/50 - 12/56 ampliada a partir de Santiago en Quinta Normal.

La cuenca del estero Lampa limita al norte con el cordón de cerros Chacabuco, al poniente con la cordillera de la Costa, al oriente con la cordillera de los Andes y al sur con su descarga al río Mapocho. Todo el valle muestra pendientes suaves con dirección norte-sur. En el sector de Batuco, el valle del estero Lampa se confunde con el valle del estero Colina, conformando una zona de inundación que es compartida por ambos esteros. En este sector comienza una singularidad de carácter natural, que produce un importante efecto regulador de las aguas lluvias, el Humedal de Batuco (DOH - CADE-IDEPE, 2002).

Al analizar la red de drenaje de la cuenca del estero Lampa, existe una serie de canales de riego que se entrelazan con la red hidrográfica y se desarrollan entre las comunas de la Provincia de Chacabuco. La mayoría de los canales existentes al sur de la cuenca provienen del canal de riego Tronco del Carmen (El Carmen).

El canal de riego El Carmen comienza en su bocatoma, que se ubica a la salida del canal San Carlos, cruza el río Mapocho en forma subterránea, atraviesa el cerro San Cristóbal por un túnel y se desarrolla bordeando los cerros del norte de Huechuraba, hasta el sector de El Portezuelo, donde se divide en el canal Batuco y el canal Colina. En su recorrido por los cerros de Huechuraba, el canal El Carmen intercepta aguas lluvias generadas por las quebradas.

E.6 DESCRIPCIÓN ACUÍFERO CUENCA SANTIAGO NORTE

Esta cuenca tiene como límite norte los cerros Altos de Polpaico y su continuación hacia el este en los cerros de Peldehue. Su límite sur queda trazado por una línea imaginaria que va desde el extremo norte de los cerros de Lo Aguirre hasta el cerro Colorado, y luego desde su hermano cerro Renca hacia la puntilla sur del cerro Pan de Azúcar. Hacia el este su límite es la Cordillera de Los Andes y hacia el oeste la Cordillera de la Costa (Morales, 2002). Sus tributarios son las cuencas de Lampa y Colina.

Los acuíferos en el valle Maipo-Mapocho corresponden a depósitos de sedimentos cuaternarios, cuya dinámica depositacional se encuentra controlada, en parte, por la existencia de cerros isla (DGA-AC, 2000). La subzona Santiago Norte es casi completamente aluvial, definida por los esteros Colina, Lampa y Las Ñipas, y por sectores distales del abanico del río Mapocho. También se reconocen los depósitos fluviales actuales ligados al estero Lampa y, de menor extensión, los ligados al estero Colina. En esta cuenca existen también extensos depósitos de material coluvial, especialmente en la vertiente oriental de los cerros de la Cordillera de la Costa. En su extremo suroeste, adosados a los cerros y en la rinconada que se produce en el sector de Lo Aguirre, afloran depósitos de ceniza, que constituyen una barrera más alta que fue necesario trasponer por los sedimentos aluviales. En el sector de Batuco, se desarrolla un importante depósito lacustre con disposición principal N-S, que se adosa a la vertiente oriental del cerro Chape (Figura 4.7).

Como puede advertirse en perfiles estratigráficos que se han realizado en la cuenca Santiago Norte, las Unidades A, B y C se definen muy bien, y tienen abundantes intercalaciones y frecuentes alternancias de sedimentos. A continuación se describirá la extensión y desarrollo de estas unidades, según conclusiones extraídas de estos mismos perfiles.

El espesor de la Unidad A es muy elevado, de hecho, en el sector de Quilicura, al sur de la cuenca, alcanza más de 231 m de profundidad.

La Unidad B, que es el nivel permeable, tiene un desarrollo moderado y un espesor medio variable entre 15 y 20 m. En la cuenca de Batuco, esta Unidad termina acuñando contra sedimentos finos de origen lacustre de la Unidad C.

La continuidad de los sedimentos finos de la Unidad C es alta en sentido N-S, y en el área de Batuco son en parte de origen lacustre, pero principalmente corresponden a los sedimentos distales del abanico del estero Colina y en parte del Lampa. Por su granulometría se le clasifica como limos arcillosos, a veces arenosos, poco gravosos (Morales, 2002).

E.6.1 Patrón de Flujo

En forma muy simplificada, a partir del análisis de las curvas equipotenciales y patrones de flujo de la cuenca del río Maipo (Figura E.6), se puede señalar que en la zona norte de la cuenca, el flujo de aguas subterráneas sigue una dirección hacia el surponiente

E.7 CATASTRO DE POZOS Y NORIAS

Tabla E.12
Catastro de pozos

ROL IREN				Coordenadas UTM		Comuna	Nombre Predio	Propietario	Constructor	Uso	Cota (msnm)	N.E. 1998 (m)	Año Construcción
				Norte (m)	Este (m)								
3310	7040	A	5	6326200	329600	LAMPA	Asent. La Laguna	CORA	Corfo	R	486,9		63
3310	7040	A	6	6321100	330900	LAMPA	Fdo. Estación	René Luer	Corfo	PSU	482		57
3310	7040	A	13	6321094	331212	LAMPA	Piscina Batuco	Piscina Batuco	CRUZAT	SU	483,1	1,2	
3310	7040	A	14	6320721	330502	LAMPA	Polvorín Batuco	Ejército Chile	CORFO 842	PSU	481,1	3,17	69
3310	7040	A	15	6322887	335434	LAMPA	Asen. El Molino	Cora	D. de Riego	R,P	501,8		
3310	7040	A	17	6323651	335799	COLINA	Ejemplo Campesino, Los Ciruelos	Cora	D. de Riego	RSU	500,9		1
3310	7040	A	18	6322560	334491	LAMPA	Fdo. S. Carolina	Coop. Campo Lib.	Saco	R	496,5		71
3310	7040	A	19	6323122	333865	LAMPA	Fdo. S. Carolina	Coop. Campo Lib.	Saco	RSU	493		70
3310	7040	A	21	6322439	331191	LAMPA	Rec. AP Batuco	Dos 819	M. Concha	PSU	482,7		71
3310	7040	A	22	6322420	331180	LAMPA	Cerámica Santiago	Cerámica Santiago	CONCHA	P,I	482,8		71
3310	7040	A	25	6324567	333719	LAMPA	Fundo La Cadellada	CORFO	CORFO 1339	P	490,9	2,18	74
3310	7040	A	28	6321100	331500	LAMPA	Entel Batuco	CORFO	Corfo	SI	485,3		74
3310	7040	A	30	6320821	329554	LAMPA	Polvorín Batuco	Ejército Chile	D.R.	P,OTRO, SU	495	3,17	1
3310	7040	A	31	6320729	330451	LAMPA	Polvorín Batuco	E. de Chile	D.R.	P	480,7		78
3310	7040	A	36	6321962	333209	LAMPA	Fdo. Sta. Carolina	J. Stkles	Captagua	P	490,5		
3310	7040	A	40	6321152	330361	LAMPA				PSU	480,2		1
3310	7040	A	41	6320948	330407	LAMPA				PSU	481,7		1
3310	7040	A	42	6323855	332457	LAMPA	Parcela 1	Sergio Urrutia	Jaime Fuentes	R	487,4	2,52	97
3310	7040	A	43	6323521	332721	LAMPA	Parcela 4	Ricardo Aránguiz		R	487,4	1,68	96
3310	7040	A	44	6323031	333232	LAMPA				RSU	490,7		
3310	7040	A	46	6323255	334442	LAMPA				R	496,3		
3310	7040	A	47	6323473	334706	LAMPA	Tunquelén I	Comunidad Tunquelén	COÑARIPE	P	497,6	2,83	94
3310	7040	A	48	6323380	334720	LAMPA				RP	497,8		
3310	7040	A	49	6325010	334992	COLINA	Fdo. La Parva, Soc. Agr. Saplums	Ramón Guerrero	AQUAMATIC	R	496,7	9,14	87

Tabla E.12
Catastro de pozos (continuación)

ROL IREN				Coordenadas UTM		Comuna	Nombre Predio	Propietario	Constructor	Uso	Cota (msnm)	N.E. 1998 (m)	Año Construcción
				Norte (m)	Este (m)								
3310	7040	A	50	6322810	334995	LAMPA	Parcelación Santa Sara	Comité de A.P. Batuco	EMOS	P	499,8	15,33	92
3310	7040	A	51	6324862	335041	LAMPA				R	496,8		
3310	7040	A	53	6325233	335336	COLINA	Fdo. La Parva, Soc. Agr. Saplums	Ramón Guerrero	AQUAMATIC	R,P	501,3	10,26	88
3310	7040	A	54	6323804	335499	LAMPA				P,I	498,3		
3310	7040	A	55	6323510	335700	COLINA	Parcela Los Ciruelos	Manuel Chacón Salinas		P	501,1	5	82
3310	7040	A	56	6323269	335781	COLINA	Parcela Los Ciruelos	Manuel Chacón Salinas		R	502,4	9	85
3310	7040	A	58	6323676	335811	COLINA	Parcela El Descanso	Luis Rojas Guzmán		P	500,9	4,6	87
3310	7050	B	4	6323070	328831	LAMPA	As. L. Fontecilla	Cora	Corfo	SU	490		57
3310	7050	B	5	6322220	328828	LAMPA	As. L. Fontecilla	Cora	Corfo	SU	482		58
3310	7050	B	6	6322195	328910	LAMPA	As. Lo Fontecilla	Comunidad Parcelera	Corfo	SU	481		58
3310	7050	B	14	6325745	328607	LAMPA	Asent. La Laguna	Agrícola La Laguna Batuco Ltda.	CORFO 313	R	482,5	19,15	59
3310	7050	B	16	6325770	328490	LAMPA	Asent. La Laguna	Agrícola La Laguna Batuco Ltda.	CORFO 446	R,P	483,7	17	63
3310	7050	B	17	6326050	328190	LAMPA	Asent. La Laguna	Corfo	Corfo	R,P	585,6		64
3310	7050	B	22	6322584	329028	LAMPA	Asen. L. Fontecilla	Cora	D. de Riego	R	482,5		
3310	7050	B	28	6324650	328500	LAMPA	A S La Laguna	CORFO	Corfo	NE	482,3		74
3310	7050	B	30	6325760	327160	LAMPA				SU	527		1
3310	7050	B	31	6325860	327270	LAMPA				R	522,7		1
3310	7050	B	32	6325860	327390	LAMPA				SU	515		1
3310	7050	B	40	6325451	328470	LAMPA	Fundo La Laguna	Agrícola La Laguna	UNIMATIC	R	481,5		
3310	7050	B	41	6322668	328893	LAMPA	Lo Fontecilla (Batuco)	Comunidad Los Cortijos	QUINTA ING.	P	484,5	21,67	93
3310	7050	B	42	6322672	328893	LAMPA	Lo Fontecilla (Batuco)	Comunidad Los Cortijos	Mount Scopus	P	484,5		
3310	7050	B	43	6322209	329020	LAMPA				SU	481		

Tabla E.13
Catastro de norias

Noria	Coordenadas UTM		Comuna	Nombre Predio	Propietario	Uso	Cota (msnm)	Profundidad (m)		Año Construcción	Diámetro 1998 (m)
	Norte	Este						Perforada	Habilitada		
N35	6321569	328935	Lampa	Ex Cora La Fontecilla	Comunidad de Parceleros	R	482	27	27	1973	16
N36	6321319	329391	Lampa	Parcela 1	Cerámicas Chilenas	P,I	485	8	8	1982	
N37	6321073	331189	Lampa	Piscina Batuco	Municipio	OTRO,AB	482,8	-	-	-	

Fuente: ENAP-Universidad de Chile, 2000.

E.8 ESTADÍSTICA DE LA RED DE NIVELES DE LA DGA EN EL ÁREA DE ESTUDIO

ESTACIÓN : FUNDO LA CADELLADA

Código BNA : 05734003-7

Altitud : 489 msnm

Cuenca : Rio Maipo

Latitud S : 32 12 00

Longitud W : 70 47 00

**SubCuenca : Mapocho
Bajo**

UTM Norte : 6435206 m

UTM Este : 331835 m

Área de Drenaje : 0 km2

Tabla E.14

Fecha	Nivel (m)								
07/01/1991	1,70	15/03/1991	2,00	23/04/1991	1,20	24/05/1991	0,70	05/06/1991	0,50
12/08/1991	0,20	01/10/1991	0,40	17/12/1991	0,90	14/01/1992	1,10	05/11/1992	1,30
07/01/1993	0,80	09/03/1993	1,40	06/05/1993	1,20	08/09/1993	0,40	10/11/1993	2,30
14/01/1994	1,30	03/03/1994	1,50	13/05/1994	1,00	12/07/1994	0,40	07/09/1994	0,50
17/11/1994	1,00	26/01/1995	1,50	25/05/1995	0,40	27/07/1995	0,10	20/09/1995	0,30
17/01/1996	0,90	22/03/1996	1,75	16/05/1996	0,55	16/07/1996	0,40	06/09/1996	0,25
21/11/1996	0,80	22/01/1997	2,30	11/03/1997	2,30	14/05/1997	2,00	14/07/1997	0,10
15/09/1997	0,17	14/11/1997	0,70	07/01/1998	1,20	12/03/1998	1,60	13/05/1998	1,10
08/07/1998	0,60	10/09/1998	0,50	19/11/1998	1,20	07/01/1999	2,00	15/03/1999	1,80
14/05/1999	0,90	14/07/1999	0,70	14/09/1999	0,10	11/11/1999	0,80	03/01/2000	1,40
16/03/2000	1,00	19/05/2000	0,50	07/09/2000	0,30	13/11/2000	0,60	14/03/2001	1,00
15/05/2001	0,25	17/07/2001	0,10	05/09/2001	0,20	04/01/2002	1,40	14/03/2002	1,50
14/05/2002	0,70	09/07/2002	0,40	09/09/2002	0,40	14/11/2002	0,80	02/01/2003	1,20
21/03/2003	1,40	16/05/2003	1,20	10/07/2003	0,20	12/09/2003	0,30	19/11/2003	0,80
20/01/2004	1,20	15/03/2004	0,80	13/05/2004	0,50	16/07/2004	0,20	08/09/2004	0,20
11/11/2004	1,30	17/01/2005	1,40	24/03/2005	1,20	19/05/2005	1,10		

Fuente:

Ministerio de Obras Públicas
Dirección General de Aguas
Centro de Información de Recursos Hídricos

ESTACIÓN : ENTEL BATUCO

Código BNA : 05734005-3

Altitud : 485 msnm

Cuenca : Rio Maipo

Latitud S : 33 14 00

Longitud W : 70 48 00

**SubCuenca : Mapocho
Bajo**

UTM Norte : 6321157 m

UTM Este : 332124 m

Área de Drenaje : 0 km2

Tabla E.15

Fecha	Nivel (m)								
07/01/1991	1,30	15/03/1991	1,50	29/05/1991	1,20	05/06/1991	0,90	12/08/1991	0,20
04/10/1991	0,00	17/12/1991	0,60	08/01/1992	0,60	12/03/1992	1,10	14/05/1992	0,60
02/11/1992	2,40	07/01/1993	3,20	12/03/1993	3,60	04/05/1993	1,50	08/09/1993	1,10
14/01/1994	1,90	09/03/1994	2,10	13/05/1994	1,90	05/07/1994	1,60	26/09/1994	2,50
24/11/1994	2,60	24/01/1995	4,30	25/05/1995	3,10	25/07/1995	1,10	14/09/1995	1,50
18/01/1996	1,30	22/03/1996	4,70	16/05/1996	2,40	16/07/1996	1,80	10/09/1996	1,60
22/11/1996	2,00	22/01/1997	2,60	11/03/1997	2,80	19/05/1997	2,50	14/07/1997	0,70
12/09/1997	0,04	17/11/1997	0,40	07/01/1998	1,00	12/03/1998	1,90	13/05/1998	1,60
09/09/1998	1,00	16/11/1998	1,40	07/01/1999	1,90	15/03/1999	2,10	28/05/1999	1,80
07/07/1999	1,40	10/09/1999	0,60	19/11/1999	0,60	03/01/2000	1,30	22/03/2000	1,90
16/05/2000	1,50	21/07/2000	0,20	07/09/2000	0,20	13/11/2000	0,30	14/03/2001	1,80
18/05/2001	1,30	16/07/2001	0,90	05/09/2001	0,20	04/01/2002	1,30	14/03/2002	2,00
14/05/2002	1,50	09/07/2002	0,20	09/09/2002	0,00	14/11/2002	0,60	02/01/2003	1,10
31/03/2003	1,30	16/05/2003	1,10	10/07/2003	0,40	15/09/2003	0,40	19/11/2003	0,60
20/01/2004	1,30	15/03/2004	1,50	13/05/2004	1,00	16/07/2004	0,50	08/09/2004	0,10
11/11/2004	0,60	17/01/2005	0,90	24/03/2005	1,60	19/05/2005	1,60		

Fuente:

Ministerio de Obras Públicas
Dirección General de Aguas
Centro de Información de Recursos Hídricos

ESTACIÓN : FUNDO LA LAGUNA

Código BNA : 05734006-1

Altitud : 482 msnm

Cuenca : Rio Maipo

Latitud S : 33 12 00

Longitud W : 70 50 00

**SubCuenca : Mapocho
Bajo**

UTM Norte : 6324369 m

UTM Este : 329064 m

Área de Drenaje : 0 km2

Tabla E.16

Fecha	Nivel (m)								
07/01/1991	17,50	15/03/1991	19,30	29/05/1991	19,10	05/06/1991	18,10	12/08/1991	15,90
01/10/1991	14,00	17/12/1991	16,00	08/01/1992	16,40	12/03/1992	17,70	14/05/1992	2,80
23/07/1992	10,50	07/09/1992	5,90	05/11/1992	4,70	07/01/1993	14,20	09/03/1993	15,00
04/05/1993	13,80	08/09/1993	10,50	08/11/1993	11,50	12/01/1994	13,20	03/03/1994	14,00
13/05/1994	14,00	05/07/1994	13,00	23/09/1994	11,50	17/11/1994	13,40	24/01/1995	17,80
25/05/1995	17,20	25/07/1995	15,40	20/09/1995	14,00	17/01/1996	20,00	22/03/1996	20,40
16/05/1996	19,20	16/07/1996	17,80	06/09/1996	18,40	22/11/1996	21,50	22/01/1997	21,80
14/03/1997	22,40	14/05/1997	21,40	14/07/1997	18,50	22/09/1997	14,50	17/11/1997	13,30
07/01/1998	15,80	12/03/1998	15,00	13/05/1998	13,50	08/07/1998	12,50	09/09/1998	12,90
16/11/1998	13,90	07/01/1999	17,10	15/03/1999	16,70	14/05/1999	15,60	16/07/1999	15,00
15/09/1999	13,60	11/11/1999	1,54	03/01/2000	2,24	16/03/2000	3,24	16/05/2000	0,00
13/07/2000	0,74	13/11/2000	1,24	14/03/2001	18,40	15/05/2001	17,40	16/07/2001	2,64
06/09/2001	1,04	04/01/2002	18,30	14/03/2002	20,60	14/05/2002	19,70	09/07/2002	15,80
09/09/2002	11,70	14/11/2002	12,80	02/01/2003	14,20	31/03/2003	15,60	16/05/2003	15,40
10/07/2003	12,30	15/09/2003	12,00	19/11/2003	12,90	20/01/2004	17,20	15/03/2004	17,90
13/05/2004	15,10	16/07/2004	13,40	08/09/2004	12,10	11/11/2004	14,90	17/01/2005	17,40
24/03/2005	17,70	19/05/2005	16,44						

Fuente:

Ministerio de Obras Públicas
Dirección General de Aguas
Centro de Información de Recursos Hídricos

ESTACIÓN : ASENTAMIENTO LAGUNA

Código BNA : 05734007-K

Altitud : 487 msnm

Cuenca : Rio Maipo

Latitud S : 33 11 00

Longitud W : 70 49 00

**SubCuenca : Mapocho
Bajo**

UTM Norte : 6326161 m

UTM Este : 329344 m

Área de Drenaje : 0 km2

Tabla E.17

Fecha	Nivel (m)								
07/01/1991	11,74	15/03/1991	13,04	23/04/1991	10,54	05/06/1991	1,24	04/10/1991	10,44
12/03/1992	5,24	14/05/1992	16,34	22/07/1992	2,14	07/09/1992	12,24	05/11/1992	11,74
07/01/1993	4,44	09/03/1993	21,44	04/05/1993	6,44	07/09/1993	0,64	08/11/1993	1,14
12/01/1994	1,34	03/03/1994	2,34	13/05/1994	2,04	05/07/1994	1,14	07/09/1994	0,84
17/11/1994	17,64	24/01/1995	13,84	25/05/1995	1,34	25/07/1995	0,24	20/09/1995	2,04
17/01/1996	2,59	22/03/1996	2,94	16/05/1996	2,94	16/07/1996	2,54	06/09/1996	1,54
22/11/1996	20,64	22/01/1997	3,54	14/03/1997	2,84	14/05/1997	3,64	14/07/1997	1,34
22/09/1997	0,44	17/11/1997	1,04	07/01/1998	2,04	12/03/1998	2,64	13/05/1998	2,94
08/07/1998	2,44	09/09/1998	2,04	16/11/1998	2,34	07/01/1999	2,94	15/03/1999	3,34
14/05/1999	3,14	16/07/1999	2,94	14/09/1999	1,34	11/11/1999	14,90	03/01/2000	18,20
16/05/2000	16,70	13/07/2000	14,80	14/03/2001	3,14	15/05/2001	3,04	16/07/2001	16,00
05/09/2001	14,50	04/01/2002	2,64	14/03/2002	3,34	14/05/2002	3,14	09/07/2002	1,34
09/09/2002	0,64	14/11/2002	1,14	02/01/2003	0,94	31/03/2003	3,04	16/05/2003	3,24
10/07/2003	1,14	15/09/2003	0,84	19/11/2003	1,54	20/01/2004	2,44	15/03/2004	2,34
13/05/2004	2,10	16/07/2004	1,64	08/09/2004	0,95	11/11/2004	1,35	17/01/2005	2,15
24/03/2005	2,75	19/05/2005	2,50						

Fuente:

Ministerio de Obras Públicas

Dirección General de Aguas

Centro de Información de Recursos Hídricos

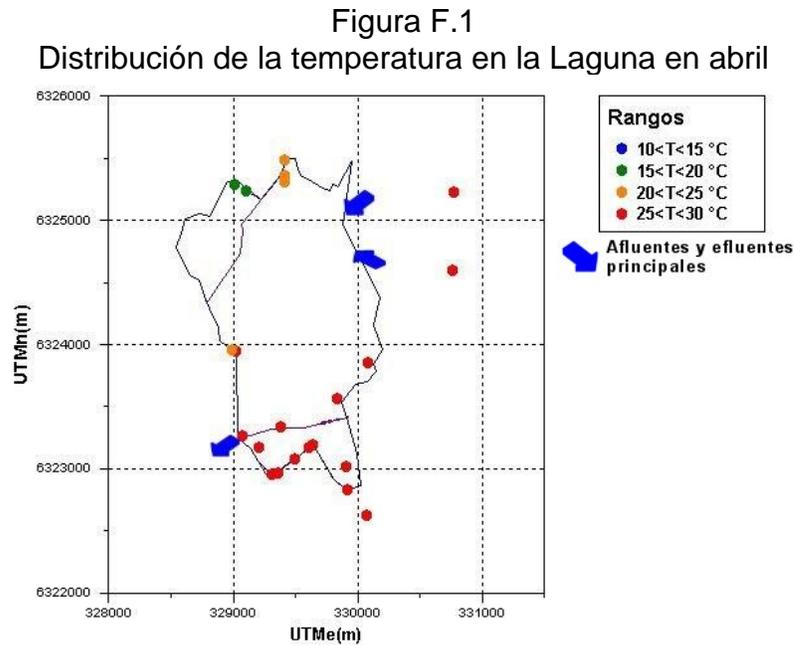
ANEXO F

**ANÁLISIS COMPLETO DE LA CALIDAD
DE LA COLUMNA DE AGUA
EN LA LAGUNA DE BATUCO**

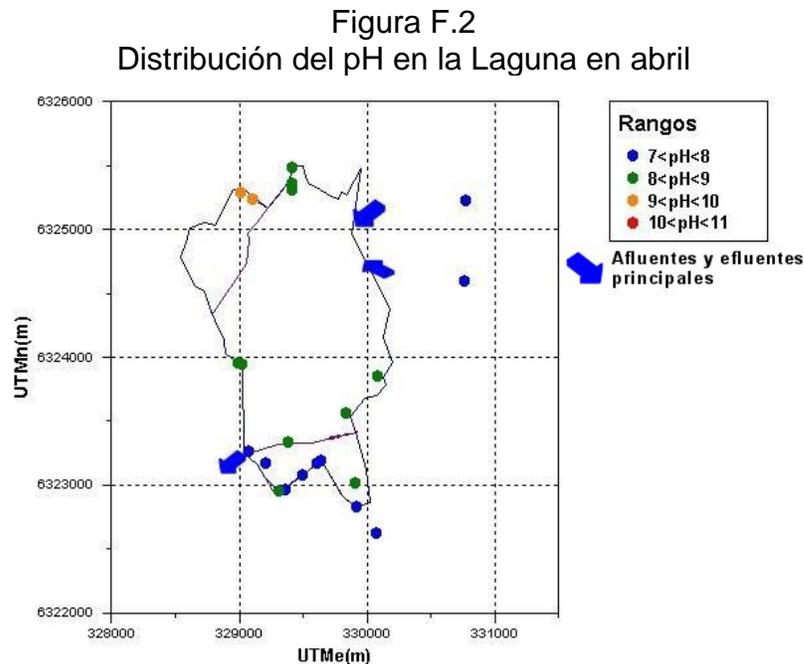
F.1 CAMPAÑA ABRIL

F.1.1 Caracterización Fisicoquímica

En terreno se midieron la temperatura, el pH, la conductividad eléctrica y el oxígeno disuelto de diversos puntos distribuidos en la Laguna y en sus afluentes y efluentes principales. Los resultados para todos estos parámetros se encuentran en el Informe de Terreno. A continuación se esquematizan estos resultados.

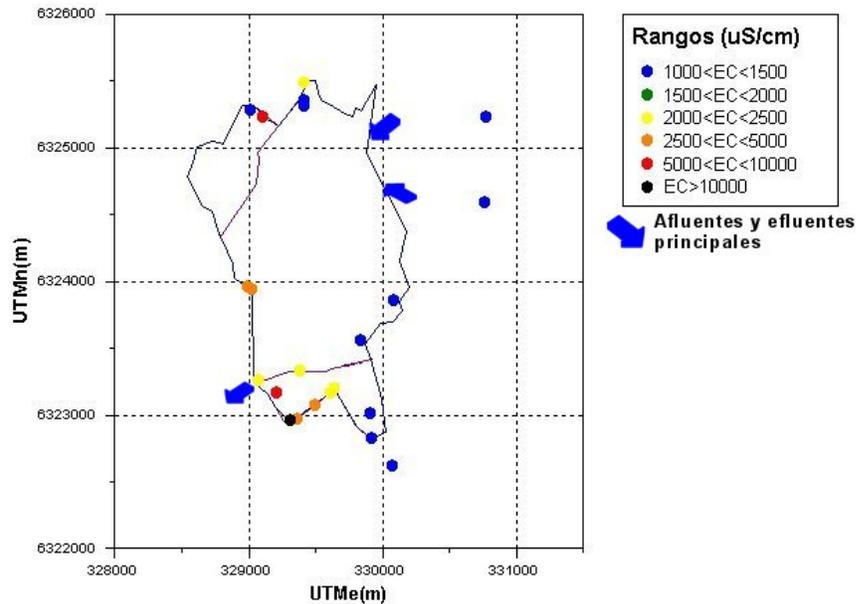


Fuente: Elaboración propia.



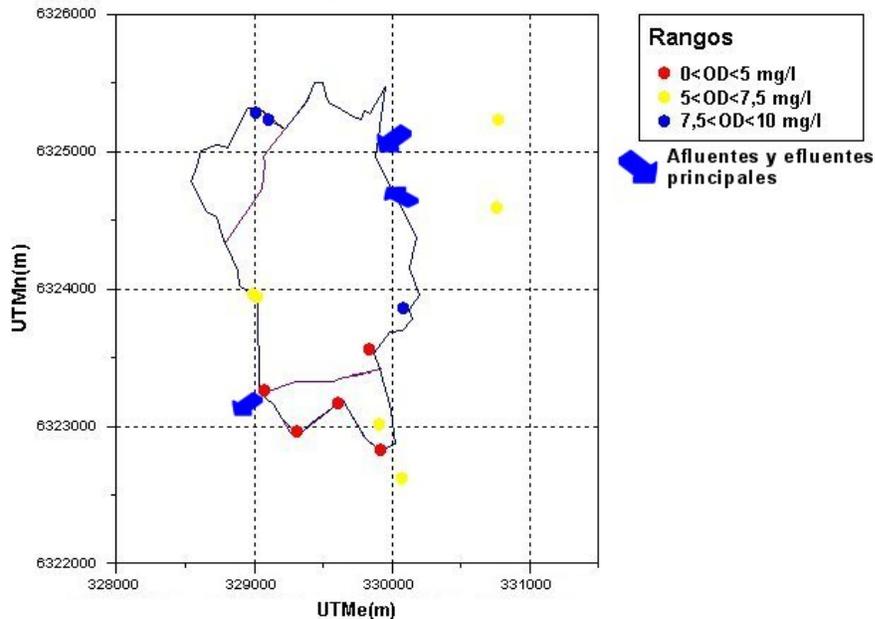
Fuente: Elaboración propia.

Figura F.3
Distribución de la conductividad eléctrica en la Laguna a 25°C en abril



Fuente: Elaboración propia.

Figura F.4
Distribución del oxígeno disuelto en la Laguna en abril



Fuente: Elaboración propia.

La distribución de la temperatura queda explicada por las horas del día en que fue medida, existiendo una gran oscilación térmica diaria. El pH en la Laguna aumenta de sur a norte. Esto puede deberse a la geología o a que hay más algas hacia el norte. La conductividad eléctrica es mayor en la Laguna Sur y en el borde oeste de la Laguna Central, existiendo una singularidad demasiado alta en la Laguna Sur. Se puede estimar que la salinidad va entre 400 y 7500 mg/l. Con respecto al oxígeno disuelto, éste es bajo en la Laguna Sur y alto en la Laguna Noroeste. Los valores bajos

coinciden con el alza de la conductividad, mientras que los valores altos en esta última Laguna se pueden explicar por las bajas temperaturas de esta agua o por la actividad de las algas.

La Directiva de la Comunidad Europea propone un rango que va entre 10°C y 28°C para mantener la vida de la categoría ciprínida. Como la carpa pertenece a esta categoría, la Laguna de Batuco pertenecería a este tipo de aguas. Aún cuando no se aprecia en la Figura F.1 la temperatura muchas veces se encuentra sobre este rango.

Para los otros parámetros, existen varios rangos aceptables o valores límite impuestos por las normas o guías nacionales e internacionales de los ANEXOS G.2 y G.1 (digital), respectivamente. Los que podrían ser aplicados a Batuco aparecen en la Tabla F.1.

Tabla F.1
Rangos aceptables o valores límites para el
pH, la conductividad eléctrica y el oxígeno disuelto

Parámetro	NCh 1333	Australia y Nueva Zelanda	Minnesota	BC
pH	Riego: 5,5 - 9 Vida Acuática: 6 - 9	South-west Australia: 7 - 8,5	Clase 2D: 6,5 - 9	Vida acuática de agua dulce: 6,5 - 9
Conductividad Eléctrica (uS/cm)	Riego: 750 - 1500 ^(a)	South-west Australia: 300 - 1500 South-central Australia: 300 - 1000	Clase 4C: 1000	-
Oxígeno Disuelto (mg/l) ^(b)	Vida acuática: 5	South-west Australia: 7 - 13 ^(c)	Clase 2D: 5	5

^(a) En este rango se pueden regar todos los cultivos menos los sensibles.

^(b) Valor mínimo.

^(c) El rango varía con la temperatura.

Según los rangos de la Tabla F.1, solamente en la Laguna Noroeste los valores de pH se encuentran altos. La conductividad eléctrica a su vez se encuentra alta sobre todo en la Laguna Sur y al poniente de la Laguna Central. Las aguas de la Laguna son de dulces a salobres. El oxígeno disuelto en tanto tiene valores que superan la mayoría de los límites en la Laguna Sur y al sur de la Central.

En el terreno de agosto se midió conductividad eléctrica y cloruros en la singularidad encontrada en este terreno. Los valores fueron de 2230 uS/cm y 350 mg/l respectivamente. Aún cuando los cloruros superan con creces la Norma Chilena 1333 para riego y la de Minnesota para vida salvaje (Clase 2D), la conductividad bajó a los valores normales que tiene la Laguna. Eso significa que la singularidad encontrada pudo haber sido el efecto de un evento de contaminación.

F.1.2 Estado Tráfico

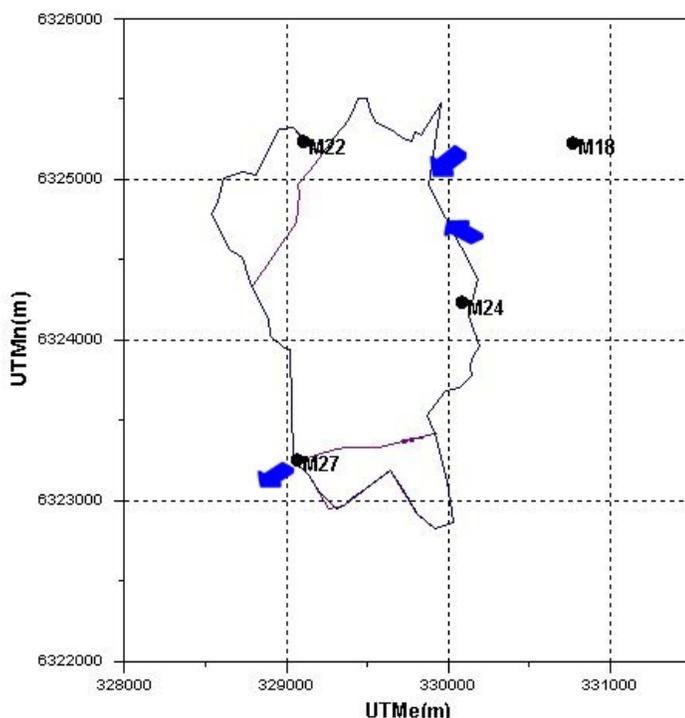
Tanto el estado tráfico de la Laguna como el muestreo de metales se focalizaron en 4 puntos distribuidos en distintos y diversos lugares del Humedal. Las características

básicas de estas muestras, medidas in situ, y su ubicación gráfica se pueden ver en la Tabla F.2 y en la Figura F.5.

Tabla F.2
Características de las muestras de estado trófico y metales en abril

Muestras	M18	M27	M22	M24
UTMn (m)	6.325.224	6.323.252	6.325.230	6.324.227
UTMe (m)	330.769	329.063	329.099	330.085
Lugar	Afluente Humedal	Efluente Humedal	Laguna Noroeste	Laguna Central
T (°C)	26,7	-	18,9	9,7
pH	7,72	-	9,06	-
CE (uS/cm)	1240	-	5260	1368
OD (mg/l)	6,29	-	9,08	-
Hora	17:23 (16)	16	18:54 (16)	10:43 (16)

Figura F.5
Distribución de las muestras de estado trófico y metales en abril



Fuente: Elaboración propia.

Los valores de los parámetros generales varían enormemente para las distintas muestras. La variación de la temperatura es normal ya que existe una dependencia con la hora del día. En cambio, el aumento de la conductividad eléctrica en la muestra M22 evidencia un agua de calidad distinta al norte de la Laguna. Sin embargo esto debe ser un hecho aislado, ya que viendo la distribución de conductividades, existe una conductividad normal en otro punto tomado en esta misma Laguna. Con respecto al oxígeno disuelto, a excepción de los valores bajos cerca del efluente, es alto en la Laguna y en su afluente principal.

Tabla F.3
Muestreo del estado trófico (mg/l) en abril

Muestras	M18	M27	M22	M24
SST	-	50	255	220
SSV	-	35	135	165
SSV/SST ^(a)	-	0,70	0,53	0,75
N-NO3	26,5	31,1	33	-
N-NO2	0,44	0,38	0,42	-
N-NH3	1,51	0,32	0,28	-
N Kjeldahl	5,3	4,27	8,06	-
N Orgánico ^(a)	3,79	3,95	7,78	-
N Total	32,24	35,75	41,48	-
P Total	1,54	0,83	1,16	-
DBO ₅	20	16	35	-
DQO	45	38	131	-
DBO ₅ /DQO ^(a)	0,444	0,421	0,267	-

^(a) Parámetros calculados a partir de los otros valores.

Observando los resultados del análisis de sólidos se puede concluir que la mayor parte de ellos son orgánicos y que disminuyen, como era de esperar, hacia el efluente. En cuanto al nitrógeno, se puede decir que aumenta en la Laguna debido quizás al aporte de la biota que es notorio en la Laguna Noroeste. Además se ve que casi todo el nitrógeno amoniacal se transforma en nitrato a lo largo del humedal, no alcanzándose a ver desnitrificación, posiblemente debido a la condición aeróbica en casi toda la Laguna. El fósforo en cambio, disminuye en el Humedal debido seguramente a procesos naturales de retención. La DBO₅ y la DQO bajan en el trayecto entre el afluente y el efluente, lo que es normal debido a la remoción de materia orgánica en el Humedal. Sin embargo ocurre una singularidad en la muestra de la Laguna Noroeste (M22) ya que ésta exhibe valores más altos de DBO₅ que las otras muestras. Esta muestra tiene además valores extremadamente altos de DQO. Esto último coincide sobre todo con la alta conductividad eléctrica que denota esta muestra. Conjuntamente, las relaciones entre SSV y SST y entre DQO y DBO₅ para esta muestra coinciden. Por lo tanto se puede afirmar que en la muestra M22 existe una gran cantidad de materia disuelta inorgánica. Esto puede explicarse por un error en el muestreo o por alguna contaminación química.

Tabla F.4
Comparación de nutrientes en abril con normativa internacional

	M18 (mg/l)	M27 (mg/l)	M22 (mg/l)	Australia y Nueva Zelanda (ug/l)	OCDE (ug/l)		BC (mg/l)
				South-west Australia	Eutrófico	Hipertrófico	Límites
N-NO3	26,5	31,1	33	100	-	-	100-200
N-NO2	0,44	0,38	0,42	100	-	-	0,06-10
N-NH3	1,51	0,32	0,28	40	-	-	0.681-28.3
N Total	32,24	35,75	41,48	1500	393-6100		-
P Total	1,54	0,83	1,16	60	16,2-386	750-1200	0,005-0,015

Comparando las concentraciones de los nutrientes de la Laguna con las normas y guías aplicables a éstos (Tabla F.4), se puede ver que este cuerpo de agua tiene valores de nutrientes muy por encima de la normativa, a excepción de lo que pasa cuando se comparan con las guías de British Columbia (BC), las cuales son cumplidas en nitrato, nitrito y nitrógeno amoniacal. Casi todos los límites o rangos para nitrógeno y fósforo están dados en ug/l y no en mg/l como se midieron en las aguas de Batuco. Según los rangos de la OCDE presentados en el ANEXO G.1 (digital) para lagos y reservorios el Humedal de Batuco estaría en un estado eutrófico-hipertrófico. Pese a esto, a simple vista no se vieron acumulaciones de algas en la Laguna. Los valores altos de nutrientes deben provenir de aportes de aguas servidas y de agricultura y de la misma vegetación en decaimiento.

F.1.3 Elementos Traza

Varios de los parámetros medidos en este análisis estuvieron bajo los límites de detección, por lo tanto, en la Tabla F.5 se seleccionaron sólo los elementos que si fueron detectados junto con normas aplicables a éstos. En el Informe de Terreno de abril se encuentran los demás parámetros medidos junto con sus límites de detección. En amarillo están los valores que no cumplieron alguno de los estándares propuestos.

Tabla F.5
Comparación de elementos traza en abril con normativa internacional

	M18 (mg/l)	M27 (mg/l)	M22 (mg/l)	M24 (mg/l)	NCh 1333 (mg/l)	Estándares Minnesota		BC (mg/l)
						CS (ug/l)	MS (ug/l)	Límites
Aluminio	0,065	0,173	0,137	0,203	5	125	1072	0,1-5
Arsénico	0,011	0,022	0,035	0,014	0,1	53	360	0,005 0,025
Boro	0,29	0,61	2,3	0,41	0,75	500	-	1,2-5
Cromo	<0.001	<0.001	0,002	<0.001	0,1	Cr ⁺⁶ : 11 Cr ⁺³ : 117-365 ^(a)	Cr ⁺⁶ : 16 Cr ⁺³ : 984-3064 ^(a)	-
Hierro	0,524	0,768	0,732	0,591	5	-	-	-
Manganeso	0,039	0,169	0,133	0,036	0,2	-	-	0,8-3,8
Molibdeno	0,003	0,002	0,014	0,007	0,01	-	-	0,05-2
Fósforo	1,44	0,38	0,14	0,2	-	-	-	0,005 0,015
Antimonio	<0.001	<0.001	0,001	<0.001	-	31	90	-
Selenio	<0.001	<0.001	0,001	<0.001	0,02	5.0	20	0,002 0,004
Vanadio	0,007	0,008	0,026	0,022	0,1	-	-	-

^(a) Rangos dependen de la dureza que va desde 50 a 200 mg/l.

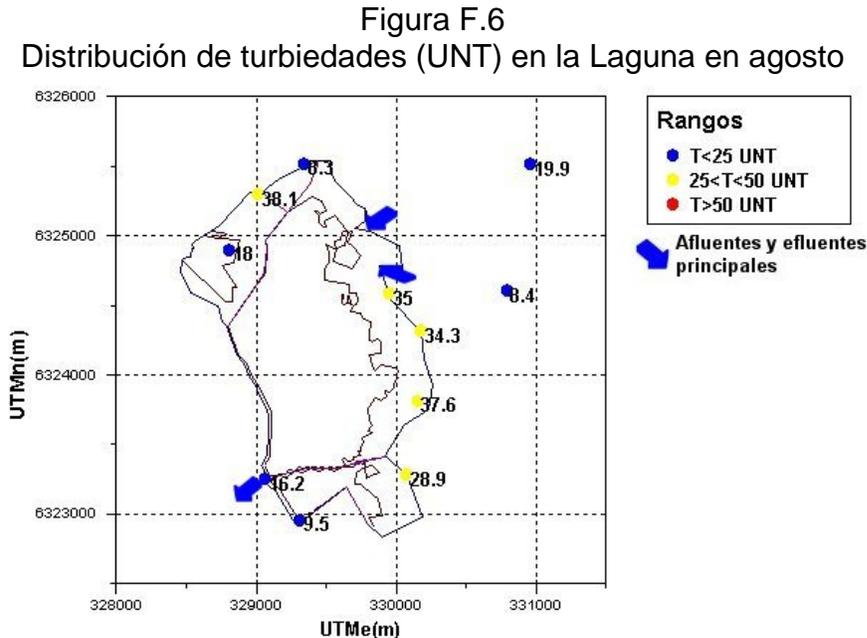
Comparando los valores obtenidos entre las distintas muestras se aprecia que la muestra M22 de la Laguna Noroeste exhibe las mayores concentraciones para As, B, Cr, Mo, Sb, Se y Va. Son preocupantes los valores de boro, arsénico y molibdeno de esta muestra ya que aparte de ser mucho mayores que el resto, exceden la norma de riego y la de BC. También esta muestra tiene el valor más bajo de fósforo.

Lo contrario ocurre con la muestra M18 tomada en el afluente A1. Sus valores son los más bajos en casi todos los elementos, pero exhibe la mayor concentración de fósforo. Una explicación a esto es un aporte externo de nutrientes y una recarga de elementos en la Laguna.

Los estándares de Minnesota de la Tabla F.5, a excepción del límite para boro, corresponden a requisitos para mantener la vida salvaje en aguas de humedales (Clase 2D). Para este uso, el aluminio se excede para el valor crónico en todas las muestras menos en la M18. El límite para boro está dado por el uso del agua en riego (Clase 4A). Las muestras M27 y M22 exceden dicho límite. Por su parte, el fósforo de todas las muestras excede las guías de BC para vida acuática en lagos.

F.2 TURBIEDAD AGOSTO

Las muestras para medir turbiedad fueron tomadas en variados lugares de la Laguna y de sus afluentes y efluente principales. In situ se llevaron a cabo mediciones de temperatura y pH para algunas muestras, las cuales arrojaron valores normales de temperatura entre 9,5°C y 12,8°C y de pH entre 7,74 y 8,89. En la Figura F.6 se pueden ver los valores de cada una de las turbiedades medidas. En el Informe de Terreno de Agosto aparecen los detalles de cada uno de los sitios de muestreo.



Fuente: Elaboración propia.

La distribución de turbiedades no es uniforme en la Laguna y en sus afluentes y efluente principales. Eso sí, muchos de los valores altos se dan en el borde este de la Laguna Central, coincidiendo con los sitios donde desembocan la mayoría de los afluentes. Según las Guías de Calidad del Agua de Australia y Nueva Zelanda, las turbiedades obtenidas se encuentran en el rango normal para humedales de poca alteración. Sin embargo, según las normas ambientales de Minnesota el límite de

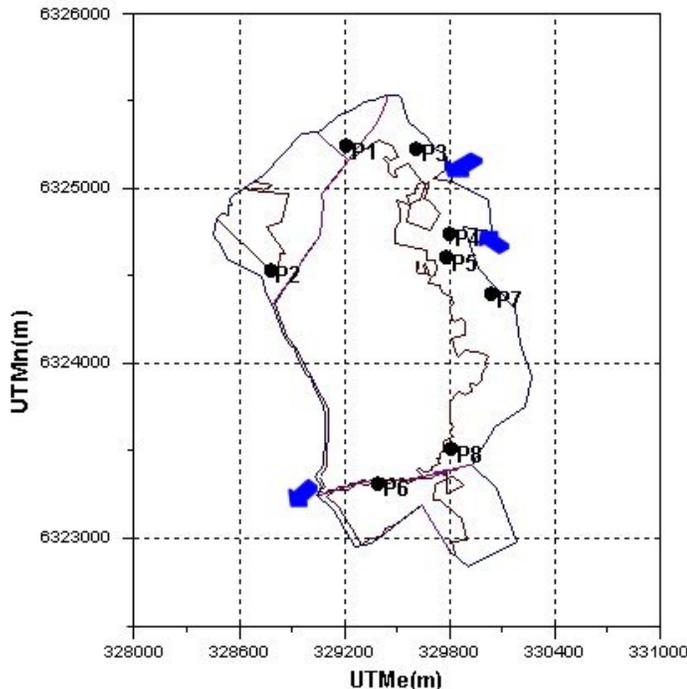
turbiedad crónica para la vida salvaje (Clase 2D) es de 25 UNT, es decir, el Humedal estaría sobrepasándola en algunos puntos.

F.3 CAMPAÑA SEPTIEMBRE

F.3.1 Caracterización Físicoquímica

Se hicieron perfiles en profundidad de temperatura y conductividad eléctrica en 8 puntos distribuidos en la Laguna de Batuco. Esto con el objeto de percibir una estratificación en este cuerpo de agua, lo que haría necesario un muestreo de más de un punto en profundidad.

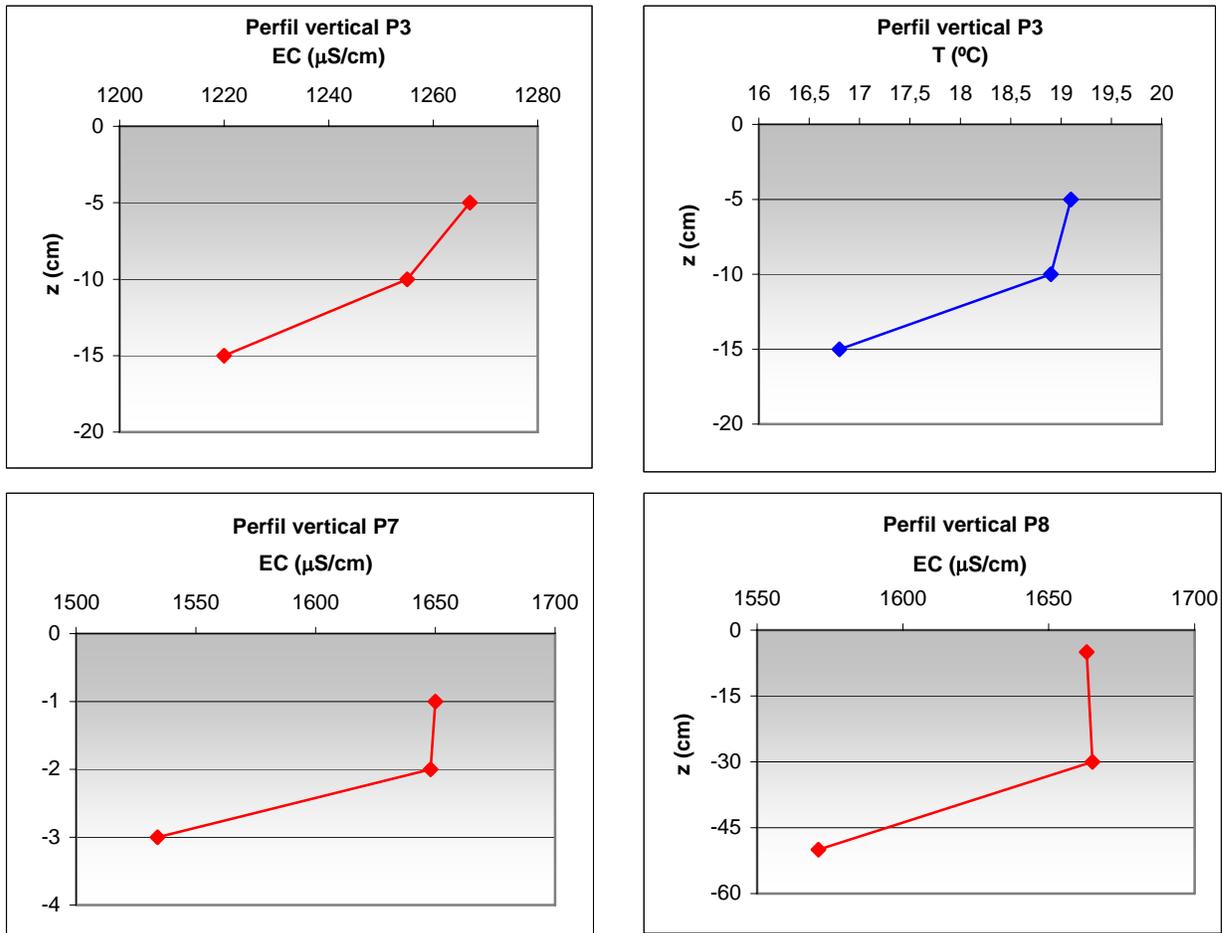
Figura F.7
Distribución de los perfiles



Fuente: Elaboración propia.

Tres de los cinco perfiles realizados en la Laguna Central (P3, P7 y P8) mostraron una clara variación en la conductividad eléctrica, la cual tuvo una disminución anormal con la profundidad. La temperatura, en cambio sólo mostró variaciones en el perfil P3, ubicado al norte de la Laguna Central. Por lo tanto, si bien la Laguna Central muestra una distribución heterogénea de sus sólidos disueltos, en general la Laguna no muestra estratificación por temperatura, lo cual es normal en invierno, sobretodo para un cuerpo de agua tan somero.

Figura F.8
Estratificación de los perfiles P3, P7 y P8



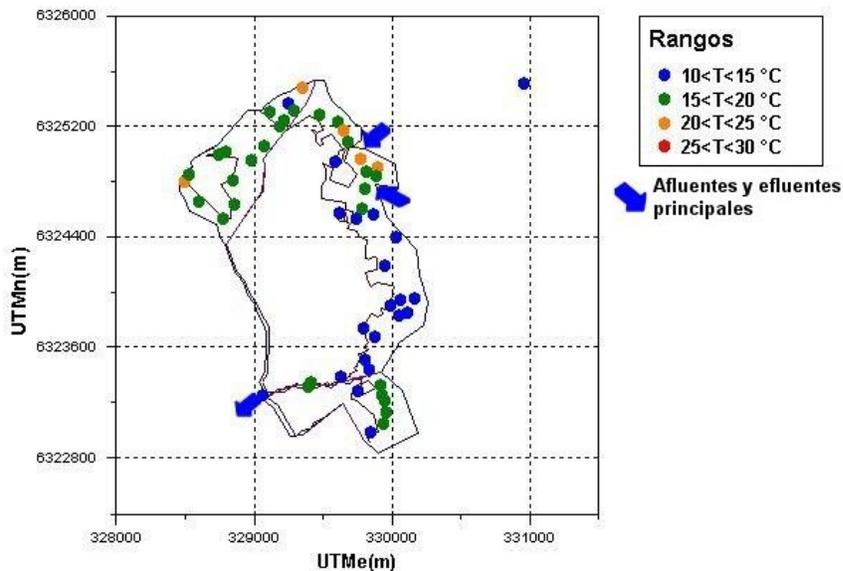
NOTA: La medición del perfil P7 fue realizada en superficie, profundidad media y fondo.

El resto de los perfiles se encuentran en el Informe de Terreno de septiembre.

En las Figuras F.9, 5.17 y 5.18 se pueden apreciar las distribuciones de temperatura, pH y conductividad eléctrica respectivamente. Los valores de todos estos parámetros se encuentran en el Informe de Terreno.

Como se puede ver en la Figura 5.17 existen valores muy altos de pH en la Laguna Norte, confirmando el proceso de eutrofización en que está envuelta esta Laguna, y existen valores bajos de pH cerca del Pretil Central y en algunos puntos de la Laguna Central. A su vez, la distribución de la conductividad eléctrica en la Laguna muestra claras tendencias, existiendo una marcada diferencia entre los valores registrados en la Laguna Noroeste y los registrados en las otras Lagunas. Además, la Laguna Norte y la mitad norte de la Laguna Central presentan los valores menores de este parámetro. Esta última diferencia se puede deber a los equipos utilizados. Analizando los valores de conductividad del Informe de Terreno existe un claro gradiente que sube de norte a sur en la mitad oriente de las Lagunas Central y Sur. Se puede estimar que la salinidad aproximada va entre 400 y 1500 mg/l.

Figura F.9
Distribución de la temperatura en la Laguna en septiembre



Fuente: Elaboración propia.

La temperatura en la Laguna no baja los 10°C y no supera los 28°C, encontrándose dentro de los rangos que impone la Comunidad Europea para la vida de ciertos tipos de peces.

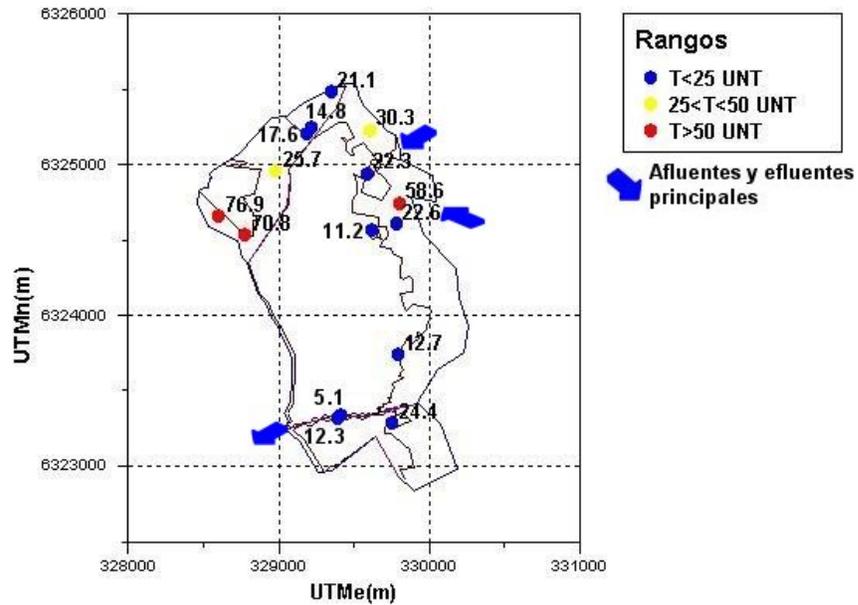
Según la mayoría de los rangos de la Tabla F.1, el pH está dentro de lo normal. La excepción se encuentra en la Laguna Norte, donde se superan con creces estos rangos. También se superan la mayoría de los rangos de conductividad eléctrica. En cuanto a la salinidad, las aguas de la Laguna son por lo general salobres a excepción de las que se encuentran en la Laguna Norte y en el norte de la Central que son dulces.

F.3.2 Turbiedad

Se tomaron 16 muestras para medir turbiedad, distribuidas en toda la Laguna. En el Informe de Terreno de septiembre aparecen los detalles de cada uno de los sitios de muestreo.

Según la distribución de la Figura F.10 la Laguna Noroeste tiene las turbiedades mayores. También existen valores altos en el nororiente de la Laguna Central. Según las Guías de Calidad del Agua de Australia y Nueva Zelanda, las turbiedades obtenidas se encuentran en el rango normal para humedales de poca alteración. Sin embargo, según las normas ambientales de Minnesota el límite de turbiedad crónica para la vida salvaje (Clase 2D) es de 25 UNT, es decir, el Humedal estaría sobrepasándola en algunos puntos.

Figura F.10
Distribución de turbiedades (UNT) en la Laguna en septiembre



Fuente: Elaboración propia.

F.3.3 Estado Tráfico

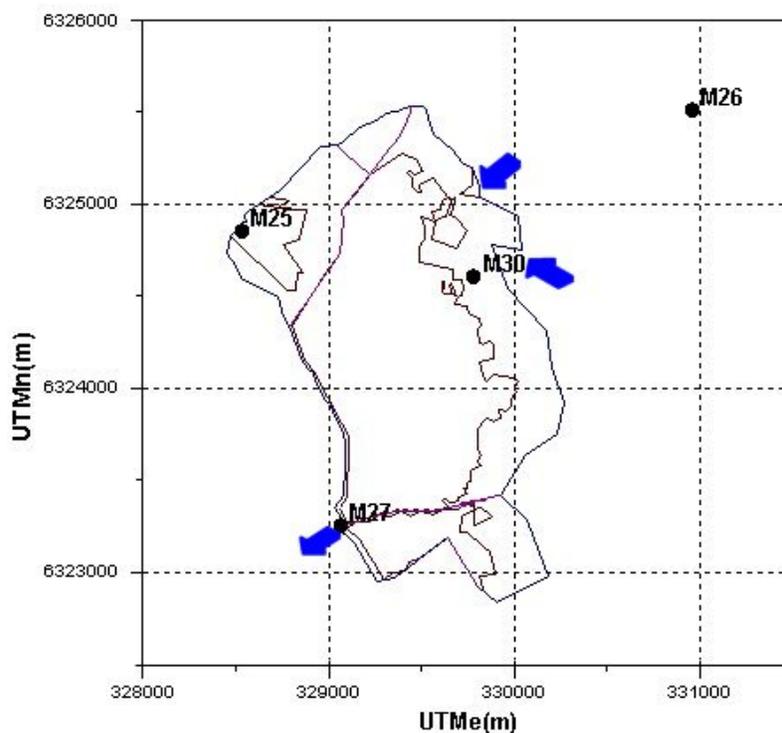
Las muestras para nutrientes, DBO y DQO se recolectaron el 5 de septiembre en 4 puntos del Humedal. Se midió en la Laguna Noroeste, en la Laguna Central y en el afluente y efluente principales.

Tabla F.6
Muestreo del estado tráfico en septiembre

Punto	M26	M27	M25	M30
UTMn(m)	6325509	6323246	6324847	6324599
UTMe (m)	330956	329062	328529	329782
Lugar	Afluente Humedal	Efluente Humedal	Laguna Noroeste	Laguna Central
T (°C)	14,3	15	19,2	18,1
Ph	7,76	7,64	7,73	7,95
CE (uS/cm)	1573	1924	2720	1349
Hora	12:03	14:54	16:15	14:49
N-NO3 (mg/l)	4,39	5,42	<0,1	2,02
N-NO2 (mg/l)	0,91	0,88	<0,05	0,39
N-NH3 (mg/l)	5,65	3,82	1,21	6,21
N Kjeldahl (mg/l)	7,55	8,45	5,39	8,07
N Orgánico ^(a) (mg/l)	1,9	4,63	4,18	1,86
N Total (mg/l)	12,9	14,8	5,39	10,5
P Total (mg/l)	3,75	5,66	3,14	6,6
DBO ₅ (mg/l)	17	6	4	4
DQO (mg/l)	37	13	9	9
DBO ₅ /DQO ^(a)	0,459	0,462	0,444	0,444

^(a) Parámetros calculados a partir de los otros valores.

Figura F.11
Distribución de las muestras de estado trófico en septiembre



Fuente: Elaboración propia.

Analizando los valores medidos en terreno, el pH no cambia demasiado entre las distintas muestras, tampoco lo hace la temperatura. Sin embargo existe una diferencia mayor a 1000 uS/cm entre las conductividades de algunas muestras. La muestra ubicada en la Laguna Noroeste exhibe un alto valor de este parámetro. Esto puede significar que existe una calidad distinta en esta Laguna.

Los nutrientes denotan un aumento a través de la Laguna. El nitrógeno aumenta debido a un aporte de nitrógeno orgánico de parte de las plantas. El fósforo seguramente por un aporte mineral. Existe una clara transformación del nitrógeno amoniacal en nitrato a lo largo de la Laguna. Puede haber también desnitrificación en la Laguna Noroeste, aunque las bajas concentraciones se pueden explicar debido a un bajo aporte de nitrógeno. El punto medido en la Laguna Central no muestra un valor medio entre el afluente y efluente principal, esto puede deberse a la influencia del afluente A2. En cuanto a las concentraciones de DBO₅ y DQO estas son en general parecidas entre las distintas muestras, existiendo como era de esperar, concentraciones mayores en el afluente. A su vez, las relaciones de orgánico/inorgánico son altas en toda la Laguna.

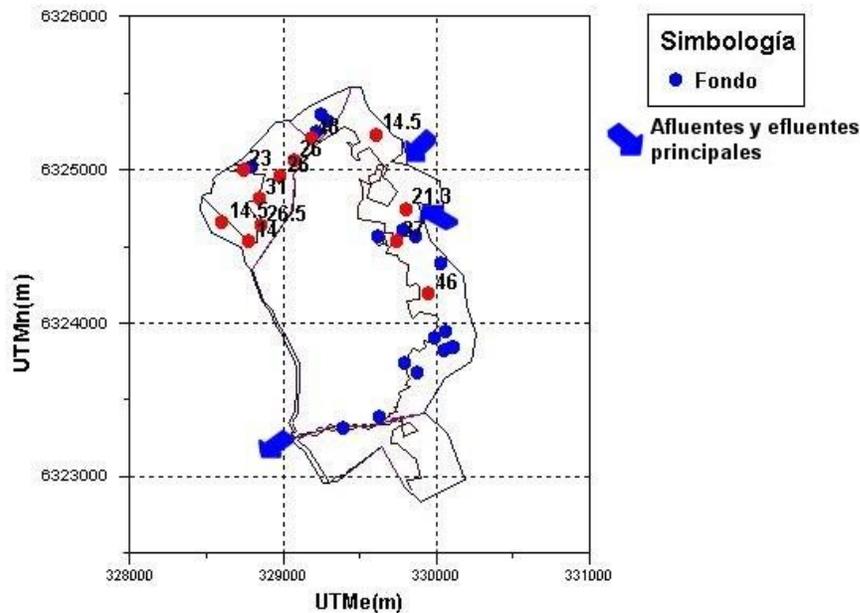
Al igual que lo que paso en abril en la Tabla F.7 se puede ver que la Laguna de Batuco tiene valores de nutrientes muy por encima de la normativa a excepción de lo que pasa con las guías de BC para nitrato, nitrito y nitrógeno amoniacal. Asimismo, se encuentra en un estado eutrófico-hipertrófico según la OCDE. Esta vez si se vio eutroficación pero solamente en la Laguna Norte (Figura 5.4). Los valores altos de nutrientes deben provenir de aportes de aguas servidas y de agricultura o de vegetación en decaimiento.

Tabla F.7
Comparación de nutrientes en septiembre con normativa internacional

	M26 (mg/l)	M27 (mg/l)	M25 (mg/l)	M30 (mg/l)	Australia y Nueva Zelanda (ug/l)	OCDE (ug/l)		BC (mg/l)
					South-west Australia	Eutrófico	Hipertrófico	Límites
N-NO3	4,39	5,42	<0,1	2,02	100	-	-	100 200
N-NO2	0,91	0,88	<0,05	0,39	100	-	-	0,06 10
N-NH3	5,65	3,82	1,21	6,21	40	-	-	0,681 28,3
N Total	12,9	14,8	5,39	10,5	1500	393-6100	-	5-10
P Total	3,75	5,66	3,14	6,6	60	16,2-386	750-1200	0,005 0,015

Algo que también tiene relación con el estado trófico de un cuerpo de agua son las mediciones de disco Secchi y clorofila a. En la Figura F.12 se pueden ver las profundidades hasta donde se pudo ver el disco Secchi.

Figura F.12
Profundidades en que fue visible el disco Secchi (cm) en septiembre



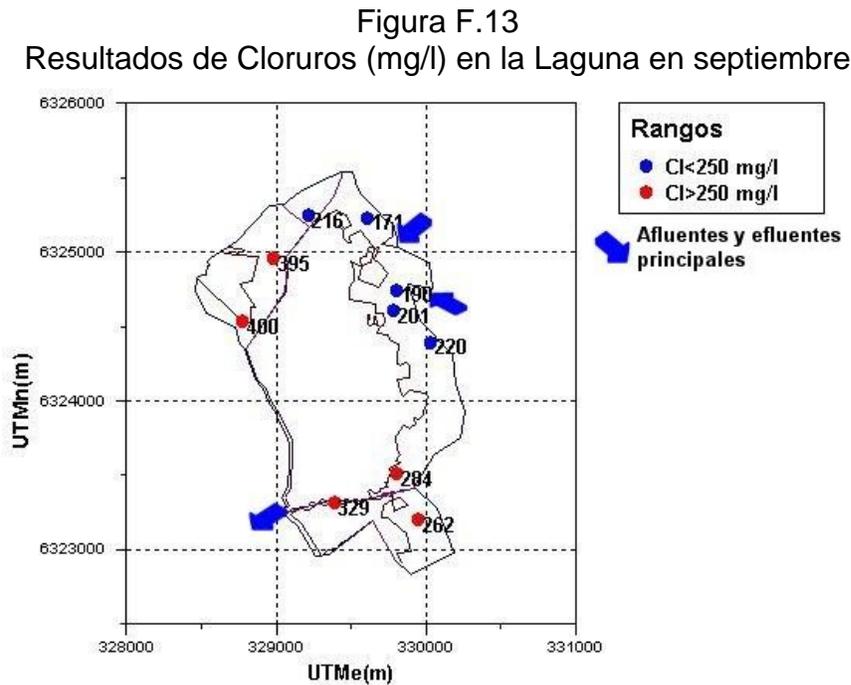
Fuente: Elaboración propia.

Según esta distribución de profundidades se ven claramente dos fenómenos que coinciden perfectamente con las turbiedades medidas en este mismo terreno. En la Laguna Noroeste y en la orilla nororiente de la Laguna Central la transparencia es menor. En cambio, en la Laguna Norte y al sur de la Central se observa que casi siempre se podía ver el disco hasta el fondo.

Con respecto a la clorofila a, los análisis fueron realizados en 11 muestras. Los resultados mostraron que todos los valores excepto uno se encontraban bajo el límite de detección de 0,03 mg/l. La muestra M17, al norte de la Laguna Central tenía 0,06 mg/l. Este es el mismo lugar donde se encontró el perfil estratificado P3. Los valores de alarma de Australia son 10 y 30 ug/l, por lo tanto, el segundo estándar la Laguna lo estaría cumpliendo en casi todos los puntos. Según la OECD debido a que el valor máximo de la Laguna esta entre 25 y 75 ug/l la Laguna sería eutrófica. Lamentablemente, la incertidumbre que se tiene sobre los otros parámetros no permite hacer un análisis por separado.

F.3.4 Cloruros

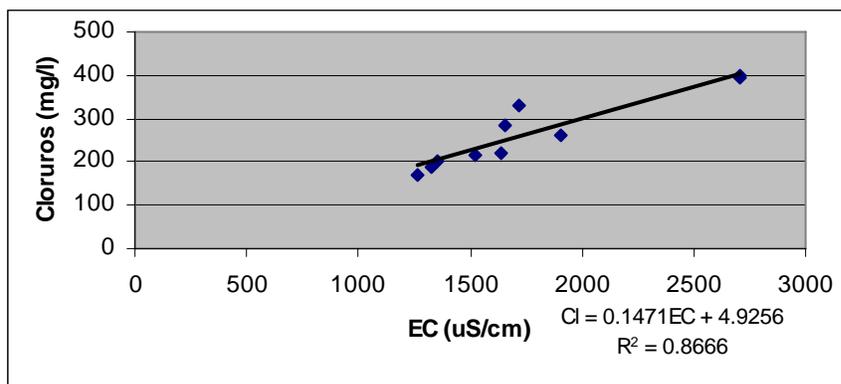
Los muestreos de cloruros fueron hechos en 10 lugares de la Laguna, todos los cuales coinciden con puntos en donde se midió clorofila a. Los resultados se aprecian en la Figura F.13.



Fuente: Elaboración propia.

Los mayores valores corresponden a los situados en la Laguna Noroeste, coincidiendo con la gran cantidad de sólidos disueltos en esta agua. Todas estas concentraciones están por debajo de la norma canadiense (600 mg/l), pero en las Lagunas Noroeste, sur de la Central y Sur, están por sobre la Norma Chilena 1333 para el uso en riego (250 mg/l) y por sobre los estándares crónicos del estado de Minnesota para vida salvaje (230 mg/l). Debido a las características algo salobres de la Laguna, es normal que la conductividad eléctrica tenga una alta correlación con los cloruros. De hecho, esto es lo que se puede ver en la Figura F.14.

Figura F.14
Relación entre cloruros y conductividad eléctrica



Fuente: Elaboración propia.