



**Universidad de Chile  
Facultad de Arquitectura y Urbanismo  
Escuela de Geografía**

---

# **“ANÁLISIS DEL NIVEL HÍDRICO Y LAS CONDICIONES DEL HUMEDAL DE LA LAGUNA DE BATUCO”**

Memoria para optar al Título Profesional de Geógrafo

**SERGIO LUIGI BARRERA BRASSESCO**

Profesor Guía: Rodrigo Vargas Rona

---

Santiago, Chile  
2011

## **Agradecimientos**

Quiero agradecer a mi familia y amigos por el apoyo y confianza a lo largo de todos estos años en la universidad. Junto con ésto agradezco a cada uno de los profesores y ayudantes de los cuales aprendí algo tanto en el colegio como en la U.

Agradezco, en particular, al profesor Rodrigo Vargas por su apoyo, consejos y buena onda durante el desarrollo de todo el proceso de la memoria. También a las personas que me ayudaron a realizar este trabajo, especialmente a Ana María Cortez de la Municipalidad de Lampa y a Pedro Muñoz geógrafo de CIREN. Además de agradecer la ayuda especial de mi amigo Matías Glasner (Mato) y de mi hermano Paolo (PitA).

También saludo a todas las personas con las que compartí durante todos los años al interior de la U, especialmente a la generación que entro el año 2004, a las tías de la biblioteca y a los funcionarios de la FAU, particularmente a Rubén y Sergio Parra, Adolfo y al Chango.

Por último, quiero saludar a mis amigos Ricardo, Manu, Carlitos, Sergio, Nora, Marcelo (Panda) y Magdalena, gracias por los momentos compartidos.

## **Resumen**

Uno de los ecosistemas naturales más amenazados del planeta son los humedales, que a pesar de su reconocida importancia por albergar una gran cantidad de especies y ser uno de los ambientes más productivos del planeta, son poco valorados, lo que cobra mayor relevancia en Chile donde existe muy poca información sobre este tipo de entornos. En este sentido la presente memoria busca contribuir en el avance de un mayor conocimiento de áreas ambientalmente relevantes, enfocándose esta en uno de los humedales más importantes de la Región Metropolitana de Santiago, la Laguna de Batuco.

El objetivo principal de esta investigación es analizar el nivel y las condiciones actuales del humedal de la Laguna de Batuco, considerando su variabilidad en el tiempo. Para alcanzar dicho objetivo, primero que todo, se realizó una caracterización físico-natural de la zona donde se ubica la laguna y se identificaron los principales factores antrópicos con incidencia en el humedal. Dicha información sirvió como punto de partida para posteriormente poder analizar las condiciones de la laguna a través del tiempo.

El nivel y las condiciones de la Laguna de Batuco se establecieron mediante la utilización de una serie de imágenes satelitales LANSAT 5 TM. Esto se realizó tanto para el año hidrológico 2009-2010, como para una buena cantidad de años anteriores dentro del intervalo 1986-2007, lo que permitió observar una dinámica al interior de la laguna con 2 períodos diferenciables. Por un lado, la década de 1986-1996, caracterizada por un comportamiento errático, y la década que va del año 2000 al 2010, donde se produce una estabilización en cuanto al área que conforma el cuerpo de agua de la laguna.

Por último, con la información de cada una de estas imágenes, se logró delimitar las zonas de retroceso y aumento del nivel del humedal a través de los años trabajados y, finalmente, proyectar tendencias según la información generada. Estas últimas orientadas al análisis de las pautas de comportamiento de cada uno de los períodos considerados.

## **Abstract**

Wetlands are one of the most threatened natural ecosystems of the planet. In spite of their paramount importance regarding the variety of species that harbor in those areas as well as their productivity, they are not valued as such, which makes this problem more relevant, since there is little information available concerning this type of environment. Therefore, the present dissertation's aim is to make a contribution towards about the environmentally significant areas in Región Metropolitana de Santiago. For this reason, the study focused in one of the most important wetlands near Santiago, the Batuco Lake.

The main objective of this research is to analyze the level and current conditions of the wetland of the Batuco Lake, taking into consideration its variability over time. In order to fulfill such objective, firstly, a physical-natural description of the lake's area was made. Then, the major anthropic factors influencing on the wetland were identified. Subsequently, all these pieces of information served as starting points to articulate an analysis of the lake situation over time.

The level and conditions of the Batuco Lake were established by means of a number of satellite images LANSAT 5 TM. These were used for the hydrological year 2009-2010's account as well as for a great number of previous years between the period 1986-2007, which allowed the development of a particular dynamic within the lake to be observed as two differentiated periods. On the one hand, we have the decade stretching from the year 1986 to 1996, which was characterized by an erratic behavior, while on the other hand there is the period concerning the decade 2000-2010. It is in this last phase when stabilization occurs within the radius of the lake's total water area.

Lastly, with the data gathered from each of these images, it was possible to limit the decreasing and increasing areas of the wetland's level in the aforementioned years to end with general tendencies according to the results drawn from the research. These last tendencies are oriented towards the analysis of each considered period's behavioral guidelines.

## **Índice de contenidos**

<b>I.- Introducción</b> .....	12
<b>II.- Planteamiento del problema</b> .....	14
<b>III.- Área de estudio</b> .....	17
<b>IV.- Objetivos</b> .....	19
4.1.- <b>Objetivo general</b> .....	19
4.2.- <b>Objetivos específicos</b> .....	19
<b>V.- Hipótesis</b> .....	19
<b>VI.- Marco teórico</b> .....	20
6.1.- <b>Introducción a los humedales</b> .....	20
6.1.1.- Ecosistema.....	20
6.1.2.- Ciclo hidrológico.....	21
6.1.3.- Balance hídrico.....	24
6.2.- <b>Los humedales y su medio</b> .....	27
6.2.1.- Definición.....	27
6.2.2.- Tipos y clasificación de humedales.....	30
6.2.3.- Características y beneficios.....	33
6.2.4.- Factores que controlan la ecología de los humedales.....	35
6.2.4.1.- Hidrología.....	35
6.2.4.2.- Fertilidad.....	36
6.2.4.3.- Sedimentos.....	38
6.2.4.4.- Biota.....	39
6.2.4.5.- Perturbaciones.....	40
<b>VII.- Metodología</b> .....	43
<b>VIII.- Resultados</b> .....	52
8.1.- <b>Caracterización físico-natural del humedal Laguna de Batuco</b> .....	52
8.1.1.- Clima.....	52
8.1.2.- Geología y geomorfología.....	54
8.1.3.- Hidrología e hidrogeología.....	58
8.1.4.- Suelos.....	66
8.1.5.- Formaciones vegetales y flora.....	71
8.1.6.- Fauna.....	76
8.2.- <b>Factores antrópicos con incidencia en la Laguna de Batuco y sus alrededores</b> .....	79

8.2.1.- Antecedentes sociales, económicos y demográficos.....	79
8.2.2.- Normativas legales actualmente vigentes.....	81
8.2.3.- Principales actores y actividades alrededor de la Laguna de Batuco.....	83
8.2.4.- Amenazas derivadas de la intervención antrópica.....	88
<b>8.3.- Características físicas y comportamiento de la Laguna de Batuco.....</b>	<b>97</b>
8.3.1.- Generalidades y subdivisiones de la laguna.....	97
8.3.1.1.- Laguna norte.....	100
8.3.1.2.- Laguna noroeste.....	101
8.3.1.3.- Laguna central.....	102
8.3.1.4.- Laguna sur.....	104
8.3.2.- Análisis del comportamiento de la laguna durante el año hidrológico 2009-10... 106	
8.3.2.1.- Junio 2009.....	106
8.3.2.2.- Octubre 2009.....	110
8.3.2.3.- Enero 2010.....	114
8.3.2.4.- Marzo 2010.....	119
8.3.2.5.- Batimetría octubre 2009.....	123
8.3.2.6.- Análisis comparativo de la laguna durante el año hidrológico 2009-10.....	125
8.3.3.- Análisis del comportamiento de la laguna períodos 1986-2007.....	130
8.3.3.1.- Enero de 1986.....	130
8.3.3.2.- Agosto de 1990 y febrero de 1991.....	131
8.3.3.3.- Enero y agosto de 1993.....	134
8.3.3.4.- Marzo y septiembre de 1996.....	136
8.3.3.5.- Septiembre de 2000 y abril 2001.....	138
8.3.3.6.- Marzo y septiembre de 2004.....	140
8.3.3.7.- Marzo y septiembre de 2007.....	141
8.3.4.- Análisis de las zonas de aumento y retroceso del humedal.....	146
8.3.4.1.- Comparaciones directas períodos de superávit hídrico.....	146
8.3.4.2.- Comparaciones directas períodos de déficit hídrico.....	153
8.3.4.3.- Comparaciones correlativas períodos de superávit hídrico.....	159
8.3.4.4.- Comparaciones correlativas períodos de déficit hídrico.....	165
<b>8.4.- Futuras tendencias.....</b>	<b>172</b>
<b>IX.- Discusión.....</b>	<b>182</b>
<b>X.- Conclusiones y recomendaciones.....</b>	<b>189</b>
<b>10.1.- Conclusiones.....</b>	<b>189</b>

10.2.- <b>Recomendaciones</b> .....	193
<b>XI.- Bibliografía</b> .....	194
<b>XII.- Anexos</b> .....	200
<b>Anexo A.-</b> Instrumentos de planificación ambiental, nacionales e internacionales.....	200
A.1.- Tratados internaciones relativos a los humedales suscritos por el país.....	200
A.2.- Instrumentos nacionales y regionales de planificación.....	202
<b>Anexo B.-</b> Organismos nacionales vinculados con la conservación de humedales.....	205
<b>Anexo C.-</b> Red de drenaje principal con incidencia en el área de estudio.....	207
<b>Anexo D.-</b> Conceptos de teledetección, Sig e imágenes satelitales Landsat 5.....	208
D.1.- Teledetección.....	208
D.2.- Sistemas de información geográfica.....	208
D.3.- Imágenes satelitales Landsat 5.....	210

### Índice de figuras

<i>Figura N°1:</i> Vista panorámica del humedal de la Laguna de Batuco.....	16
<i>Figura N°2:</i> Área de estudio.....	18
<i>Figura N°3:</i> Estructura general de un ecosistema.....	21
<i>Figura N°4:</i> Esquema del ciclo hidrológico.....	22
<i>Figura N°5:</i> Volumen de control para la aplicación de la ecuación fundamental de la hidrología...24	
<i>Figura N°6:</i> Modelo de sistema hidrológico simple.....	25
<i>Figura N°7:</i> Humedales como ecosistemas intermedios.....	28
<i>Figura N°8:</i> Efectos directos e indirectos de la hidrología en los humedales.....	37
<i>Figura N°9:</i> 2 maneras de delimitar una cobertura determinada.....	47
<i>Figura N°10:</i> Diferencias entre cuerpo de agua descubierto y cubierto por vegetación.....	48
<i>Figura N°11:</i> Temperaturas medias mensuales promedio 1994-2005.....	53
<i>Figura N°12:</i> Precipitaciones mensuales promedio 2000-2006.....	54
<i>Figura N°13:</i> Carta geológica ambiental de la cuenca de Batuco.....	57
<i>Figura N°14:</i> Hidrografía principal Provincia de Chacabuco.....	60
<i>Figura N°15:</i> Esquema de entradas y salidas de la Laguna de Batuco y red hídrica.....	63
<i>Figura N°16:</i> Cartografía series de suelo cuenca de Batuco.....	70
<i>Figura N°17:</i> Fotos de algunas especies vegetales que habitan en la Laguna de Batuco.....	75
<i>Figura N°18:</i> Porcentaje de animales vertebrados terrestres en la Laguna de Batuco.....	76
<i>Figura N°19:</i> Fotos de algunas especies animales que habitan en la Laguna de Batuco.....	78

<b>Figura N°20:</b> Señalización Decreto Supremo N°23 Exento y Resolución Exenta N°184.....	82
<b>Figura N°21:</b> Principales actividades alrededor de la Laguna de Batuco.....	84
<b>Figura N°22:</b> Charco de agua contaminada por petcoke.....	87
<b>Figura N°23:</b> Zona de extracción de material sólido.....	92
<b>Figura N°24:</b> Problemas de residuos sólidos en el área de estudio.....	94
<b>Figura N°25:</b> Quema de materiales y evidencia de quema de vegetación en el área de estudio.....	96
<b>Figura N°26:</b> Subdivisiones de la Laguna de Batuco.....	99
<b>Figura N°27:</b> Entradas y salidas de agua de la laguna norte.....	100
<b>Figura N°28:</b> Entradas y salidas de agua de la laguna noroeste.....	102
<b>Figura N°29:</b> Entradas y salidas de agua de la laguna central.....	104
<b>Figura N°30:</b> Entradas y salidas de agua de la laguna sur.....	105
<b>Figura N°31:</b> Cuerpo de agua Laguna de Batuco por sub-lagunas junio 2009.....	108
<b>Figura N°32:</b> Porcentaje cuerpo de agua descubierto y cubierto por vegetación por sub-lagunas para junio del año 2009.....	109
<b>Figura N°33:</b> Cuerpo de agua Laguna de Batuco por sub-lagunas octubre 2009.....	113
<b>Figura N°34:</b> Porcentaje cuerpo de agua descubierto y cubierto por vegetación por sub-lagunas para octubre del año 2009.....	114
<b>Figura N°35:</b> Cuerpo de agua Laguna de Batuco por sub-lagunas enero 2010.....	118
<b>Figura N°36:</b> Porcentaje cuerpo de agua descubierto y cubierto por vegetación por sub-lagunas para enero del año 2010.....	119
<b>Figura N°37:</b> Cuerpo de agua Laguna de Batuco por sub-lagunas marzo 2010.....	122
<b>Figura N°38:</b> Porcentaje cuerpo de agua descubierto y cubierto por vegetación por sub-lagunas para enero del año 2010.....	123
<b>Figura N°39:</b> Batimetría Laguna de Batuco en octubre 2009.....	125
<b>Figura N°40:</b> Límites del cuerpo de agua para los 4 períodos trabajados.....	128
<b>Figura N°41:</b> Cuerpo de agua de la Laguna de Batuco enero de 1986.....	131
<b>Figura N°42:</b> Cuerpo de agua de la Laguna de Batuco agosto de 1990 y febrero de 1991.....	133
<b>Figura N°43:</b> Cuerpo de agua de la Laguna de Batuco enero y agosto de 1993.....	136
<b>Figura N°44:</b> Cuerpo de agua de la Laguna de Batuco marzo y septiembre de 1996.....	137
<b>Figura N°45:</b> Cuerpo de agua de la Laguna de Batuco septiembre de 2000 y abril 2001.....	139
<b>Figura N°46:</b> Cuerpo de agua de la Laguna de Batuco marzo y septiembre de 2004.....	140
<b>Figura N°47:</b> Cuerpo de agua de la Laguna de Batuco marzo y septiembre de 2007.....	142
<b>Figura N°48:</b> Zonas de aumento y retroceso agosto 1990 - junio 2009 y agosto 1993 - octubre 2009.....	148

<b>Figura N°49:</b> Zonas de aumento y retroceso septiembre 1996 - octubre 2009 y septiembre 2000 - octubre 2009.....	150
<b>Figura N°50:</b> Zonas de aumento y retroceso septiembre 2004 - octubre 2009 y septiembre 2007 - octubre 2009.....	152
<b>Figura N°51:</b> Magnitud del cambio del cuerpo de agua comparaciones directas períodos de superávit hídrico.....	153
<b>Figura N°52:</b> Zonas de aumento y retroceso enero 1993 - enero 2010 y abril 2001 - marzo 2010.....	155
<b>Figura N°53:</b> Zonas de aumento y retroceso marzo 2004 - marzo 2010 y marzo 2007 - marzo 2010.....	157
<b>Figura N°54:</b> Magnitud del cambio del cuerpo de agua comparaciones directas períodos de déficit hídrico.....	158
<b>Figura N°55:</b> Zonas de aumento y retroceso agosto 1990 - agosto 1993 y agosto 1993 - septiembre 1996.....	161
<b>Figura N°56:</b> Zonas de aumento y retroceso septiembre 1996 - septiembre 2000 y septiembre 2000 - septiembre 2004.....	162
<b>Figura N°57:</b> Zonas de aumento y retroceso septiembre 2004 - septiembre 2007 y septiembre 2007 - octubre 2009.....	164
<b>Figura N°58:</b> Magnitud del cambio del cuerpo de agua comparaciones correlativas períodos de superávit hídrico.....	165
<b>Figura N°59:</b> Zonas de aumento y retroceso enero 1993 - abril 2001 y abril 2001 - marzo 2004.....	166
<b>Figura N°60:</b> Zonas de aumento y retroceso marzo 2004 - marzo 2007 y marzo 2007 - marzo 2010.....	168
<b>Figura N°61:</b> Magnitud del cambio del cuerpo de agua comparaciones correlativas períodos de déficit hídrico.....	169
<b>Figura N°62:</b> Histograma períodos totales.....	174
<b>Figura N°63:</b> Histogramas períodos de superávit y déficit hídrico.....	174
<b>Figura N°64:</b> Curvas de función de densidad de probabilidad en una distribución normal para los períodos de superávit hídrico, déficit hídrico y totales.....	178
<b>Figura N°65:</b> Área total del cuerpo de agua de la Laguna de Batuco enero 1986 - septiembre 1996.....	179
<b>Figura N°66:</b> Área total del cuerpo de agua de la Laguna de Batuco septiembre 2000 - marzo 2010.....	180

**Figura N°67:** Progreso del cuerpo de agua de la Laguna de Batuco durante los períodos  
invernales.....182

**Figura N°68:** Progreso del cuerpo de agua de la Laguna de Batuco durante los períodos  
estivales.....183

**Figura N°69:** Progreso del cuerpo de agua de la Laguna de Batuco enero 1986 y marzo  
2010.....184

### Índice de tablas

**Tabla N°1:** Sistemas, subsistemas y clases de la clasificación de humedales de Cowardin.....31

**Tabla N°2:** Propuesta de clasificación de los tipos de humedales naturales chilenos.....32

**Tabla N°3:** Principales beneficios que presentan los humedales.....34

**Tabla N°4:** Fechas de captura de todas las imágenes satelitales utilizadas.....43

**Tabla N°5:** Descripción y visualización de las distintas combinaciones de bandas utilizadas.....46

**Tabla N°6:** Caudales de los afluentes 1, 2, y del efluente de junio 2007 a septiembre 2008.....64

**Tabla N°7:** Valores promedio de parámetros de calidad de agua junio 2007 a junio 2009.....65

**Tabla N°8:** Perfil de suelo serie Batuco.....68

**Tabla N°9:** Resumen series de suelo cuenca de Batuco.....69

**Tabla N°10:** Porcentaje de especies autóctonas y alóctonas de la Laguna de Batuco.....74

**Tabla N°11:** Superficie y porcentaje aportado por cada sub-laguna en junio de 2009.....106

**Tabla N°12:** Superficie y porcentaje que representa el cuerpo de agua descubierto y cubierto por  
vegetación por sub-laguna para junio de 2009.....107

**Tabla N°13:** Superficie y porcentaje aportado por cada sub-laguna en octubre de 2009.....110

**Tabla N°14:** Superficie y porcentaje que representa el cuerpo de agua descubierto y cubierto por  
vegetación por sub-laguna para octubre de 2009.....111

**Tabla N°15:** Superficie y porcentaje aportado por cada sub-laguna en enero de 2010.....115

**Tabla N°16:** Superficie y porcentaje que representa el cuerpo de agua descubierto y cubierto por  
vegetación por sub-laguna para enero de 2010.....116

**Tabla N°17:** Superficie y porcentaje aportado por cada sub-laguna en marzo de 2010.....120

**Tabla N°18:** Superficie y porcentaje que representa el cuerpo de agua descubierto y cubierto por  
vegetación por sub-laguna para marzo de 2010.....120

**Tabla N°19:** Profundidad, superficie y volumen de agua almacenada por sub-lagunas octubre  
2009.....124

**Tabla N°20:** Superficie y porcentaje que representan por sub-laguna para todos los períodos.....127

<b>Tabla N°21:</b> Resumen áreas totales para los períodos entre 1986-2007 y sus respectivos porcentajes de diferencia.....	144
<b>Tabla N°22:</b> Resumen zonas de aumento y retroceso agosto 1990 - junio 2009 y agosto 1993 - octubre 2009.....	147
<b>Tabla N°23:</b> Resumen zonas de aumento y retroceso septiembre 1996 - octubre 2009 y septiembre 2000 - octubre 2009.....	149
<b>Tabla N°24:</b> Resumen zonas de aumento y retroceso septiembre 2004 - octubre 2009 y septiembre 2007 - octubre 2009.....	151
<b>Tabla N°25:</b> Resumen zonas de aumento y retroceso enero 1993 - enero 2010 y abril 2001 - marzo 2010.....	154
<b>Tabla N°26:</b> Resumen zonas de aumento y retroceso marzo 2004 - marzo 2010 y marzo 2007 - marzo 2010.....	156
<b>Tabla N°27:</b> Resumen zonas de aumento y retroceso para todas las comparaciones directas.....	158
<b>Tabla N°28:</b> Resumen zonas de aumento y retroceso agosto 1990 - agosto 1993 y agosto 1993 - septiembre 1996.....	160
<b>Tabla N°29:</b> Resumen zonas de aumento y retroceso septiembre 1996 - septiembre 2000 y septiembre 2000 - septiembre 2004.....	162
<b>Tabla N°30:</b> Resumen zonas de aumento y retroceso septiembre 2004 - septiembre 2007 y septiembre 2007 - octubre 2009.....	163
<b>Tabla N°31:</b> Resumen zonas de aumento y retroceso enero 1993 - abril 2001 y abril 2001 - marzo 2004.....	167
<b>Tabla N°32:</b> Resumen zonas de aumento y retroceso marzo 2004 - marzo 2007 y marzo 2007 - marzo 2010.....	168
<b>Tabla N°33:</b> Resumen zonas de aumento y retroceso para todas las comparaciones correlativas.....	170
<b>Tabla N°34:</b> Área total del cuerpo de agua de todos los períodos trabajados.....	172
<b>Tabla N°35:</b> Medidas de tendencia central y desviación estándar para las muestras de superávit hídrico, déficit hídrico y totales.....	177
<b>Tabla A-1:</b> Sitios Ramsar en Chile.....	201
<b>Tabla A-2:</b> Sitios Prioritarios para la Conservación de la Biodiversidad en la Región Metropolitana de Santiago.....	204
<b>Tabla A-3:</b> Organismos vinculados con la conservación de humedales en Chile.....	205
<b>Tabla A-4:</b> Descripción de los diferentes acuíferos con incidencia en la Laguna de Bатуco.....	207

## **I.- Introducción**

El hecho que las civilizaciones humanas se hayan concentrado y desarrollado durante más de 6.000 años en los valles fluviales y sus llanuras inundables plenas de humedales no es en absoluto casual. Simplemente refleja la importancia que el agua y los humedales han desempeñado siempre en la historia de la humanidad y de la vida humana. Actualmente nuestra tecnología y modo de vida pueden dar la impresión de suplantar el papel de la naturaleza, pero desastres ambientales recientes, como grandes inundaciones, deslizamientos de tierras y tormentas, agravadas en muchos casos por prácticas no sostenibles de uso del suelo, demuestran lo contrario.

En realidad, seguimos dependiendo de los ecosistemas naturales para nuestra seguridad y sustento. En este sentido, toda la naturaleza es un sistema unificado de variables interdependientes, donde cada una de ellas es una causa y un efecto que existe sólo como una unidad concentrada, demostrando que dentro de la naturaleza no existe la autonomía.

En nuestro planeta existen aproximadamente 5.6 millones de kilómetros cuadrados de zonas húmedas, una gran cantidad de estas zonas están seriamente amenazadas y se encuentran sufriendo importantes pérdidas y alteraciones, las cuales son el resultado de la degradación generada por diversas actividades que incluyen el drenaje del suelo para fomentar las actividades agrícolas, el relleno de vastas zonas para aumentar áreas urbanas, la invasión de especies alóctonas y los impactos directos o indirectos generados por contaminantes. Esto ha comprometido los importantes beneficios que proporcionan los humedales para el desarrollo de la sociedad, por lo que preservarlos y restaurarlos es esencial para mejorar no sólo la salud ambiental de los sistemas acuáticos, que incorporan entre otras clases a las aves, sino que también la calidad de vida de las poblaciones que viven en sus alrededores.

Los humedales se caracterizan principalmente por albergar una gran diversidad de especies. Pese a que los ecosistemas de agua dulce sólo cubren el 1% de la superficie de la Tierra, alojan a más del 40% de las especies del mundo. La biodiversidad de los humedales es

valiosa también como reservorio de genes con un potencial económico apreciable para la industria farmacéutica y para plantas cultivadas con fines comerciales, como, por ejemplo, el arroz.

Con mayor precisión, la Convención Ramsar<sup>1</sup> (1971), de la cual Chile es signatario, señala que “la protección de los ecosistemas de humedales y sus beneficios/servicios son esenciales para asegurar la sostenibilidad de la utilización de recursos hídricos en provecho de los seres humanos”.

Considerando todo lo anterior, el presente trabajo pretende contribuir en el conocimiento del estado actual y la evolución del humedal de la Laguna de Batuco, uno de los humedales naturales más importantes de la Región Metropolitana de Santiago, entregando información lo más actual posible, referente a sus características físico-naturales y el impacto de las actividades humanas que se desarrollan en torno a él. Junto con esto, se espera entregar una delimitación clara del área que presenta la Laguna de Batuco, tanto antes como después del principal período de lluvias en la región y comparar dicha área con la superficie que tenía el humedal a lo largo de los distintos períodos de tiempo trabajados.

De esta forma, se podrá entregar un diagnóstico general de lo que ocurre y ha estado ocurriendo en la zona aledaña al humedal de la Laguna de Batuco, pero aun más importante, esta información permitiría proyectar futuras tendencias de lo que puede ocurrir con este humedal en el futuro.

En las páginas siguientes, en primer lugar y a modo de presentación, se expone el planteamiento del problema, el área de estudio, los objetivos generales y específicos y la hipótesis de trabajo. Luego, se entrega una revisión de los conceptos más importantes que se deben tener en consideración a la hora de abordar la presente memoria de título y la metodología de trabajo utilizada para su realización. Finalmente, se presentan los resultados que cumplen los objetivos propuestos, se plantea un tema de discusión y se entregan conclusiones y recomendaciones acordes con los resultados obtenidos.

---

<sup>1</sup> Tratado intergubernamental relativo a los humedales aprobado en 1971 en la localidad iraní de Ramsar.

## **II.- Planteamiento del problema**

Actualmente la protección y el cuidado del medio ambiente es uno de los temas principales en la agenda de muchos países a nivel mundial. Chile no es la excepción y en este sentido a partir del año 2002 el Estado ha venido consolidando una política asociada a la protección y conservación del medio ambiente y los recursos naturales. A saber: el año 2003 se aprueba la Estrategia Nacional de Biodiversidad, posteriormente en 2005 se aprueba la Estrategia Nacional de Humedales de Chile, la Política de Áreas Protegidas Terrestres y Acuáticas y la Política de Especies. Actualmente, se encuentra en funcionamiento el reglamento de especies que permite realizar la clasificación de especies animales y vegetales del país, y de su estado de conservación.

En el año 2007 se crea la Estrategia Nacional de Gestión Integrada de Cuencas Hidrográficas, la que tiene como objetivo principal proteger el recurso hídrico, tanto en calidad como en cantidad, para resguardar el consumo humano y armonizar objetivos de conservación de los ecosistemas con el aprovechamiento sustentable del recurso, por parte de las actividades económicas.

Posteriormente, el país se obliga a diseñar el plan de acción de dichas estrategias y su implementación. Es así como a la fecha está en proceso de implementación el Plan de Acción de la Estrategia de Humedales, bajo la supervisión del Comité Nacional de Humedales, organismo conformado por diversas instituciones públicas<sup>2</sup>. Chile, asimismo cumple un compromiso internacional, toda vez que el país aprobó por ley de la República, en 1980, la Convención Ramsar; Convenio que promueve la conservación y uso sustentable de los humedales a través del desarrollo de políticas y estrategias nacionales, con apego a lineamientos emanados desde la Secretaría Ramsar.

---

<sup>2</sup> Estas instituciones son CONAMA, CONAF, Ministerio de Relaciones Exteriores, Ministerio de Minería, Ministerio de Bienes Nacionales, Subsecretaría de Marina, Subsecretaría de Pesca, Comité Oceanográfico Nacional, Servicio Nacional de Pesca, Servicio Agrícola y Ganadero, Dirección General de Aguas, Dirección de Obras Hidráulicas, Museo de Historia Natural, CONICYT, DIRECTEMAR y Comisión Nacional de Riego.

La necesidad de estudios que proporcionen nuevos y mayores conocimientos sobre áreas ambientalmente relevantes, como es el caso de los humedales, son de gran importancia para promover que dichas zonas sean utilizadas en la forma más correcta posible y asegurar su preservación a través del tiempo.

En este sentido, el buen manejo de un humedal representa una importante oportunidad de desarrollo y mejoramiento en la calidad de vida de la población local, ya que éste es un espacio ecosistemicamente muy relevante, debido no sólo a las funciones que desarrolla a nivel ecológico y a su rica biodiversidad, sino también porque provee de funciones de apoyo y productos esenciales para las comunidades humanas, tales como control de inundaciones, vida silvestre, pesquería, recursos forestales y regulaciones en variables meteorológicas tales como temperatura y humedad.

Este manejo mencionado anteriormente se basa principalmente en conocer el comportamiento del humedal en cuestión. Es decir, en tener información de años anteriores, como también información actualizada, para de esta forma poder proyectar futuras tendencias. El nivel y tamaño del humedal en determinados períodos del año, como también su variación a través de los distintos años, constituye un indicador relevante a la hora de tomar decisiones en función de dichas tendencias, y de esta forma poner de manifiesto la necesidad o no de un manejo del mismo.

El humedal de la Laguna de Batuco (figura N°1) es uno de los principales humedales de la Región Metropolitana, además de ser considerado en la Estrategia para la Conservación de la Biodiversidad como sitio prioritario. Esto le proporciona al humedal un marco oficial importante para su conservación. Por otra parte, su cercanía a la ciudad de Santiago lo convierte en un espacio propenso a experimentar una fuerte intervención antrópica.

Finalmente, el humedal está inserto en una región que ha venido advirtiendo algunos síntomas de cambio climático en las últimas décadas, fortaleciéndose la presencia de un clima cada vez más árido. Todos estos factores afectarán tanto al humedal en sí como a otros fenómenos que se relacionan directamente con él, por lo que es relevante tener

información de su comportamiento y luego comparar dicho comportamiento con aquél ocurrido en el pasado.

***Figura N°1:*** Vista panorámica del humedal de la Laguna de Batuco.



***Fuente:*** COREMA RMS, 2005.

Es importante destacar que para fines prácticos de esta investigación el límite del humedal fue definido como el límite del cuerpo de agua, dejando a un lado las áreas ribereñas asociadas a éste. Lo anterior debido fundamentalmente a la complejidad que el concepto de humedal conlleva y la dificultad que suponía trabajar en la delimitación de un tipo de ecosistema tan dinámico como lo es un humedal. En relación con aquello, es el cuerpo de agua de un humedal el que le brinda la posibilidad de ser uno de los ecosistemas más productivos del mundo, albergar una gran cantidad de especies y entregar la mayoría de los beneficios que los humedales presentan. Por ello, el cuerpo de agua en un humedal puede considerarse como su núcleo.

### **III.- Área de estudio**

El área de estudio del presente trabajo (figura N°2) corresponde a la Laguna de Batuco<sup>3</sup> y sus alrededores, los cuales se ubican dentro de lo que es el humedal de Batuco o lo que se conoce como el Sitio Prioritario para la Conservación de la Biodiversidad Humedal de Batuco. Se localiza casi en su totalidad en la comuna de Lampa, Provincia de Chacabuco a unos 30 km al norte de la ciudad de Santiago, en la subcuenca de Batuco.

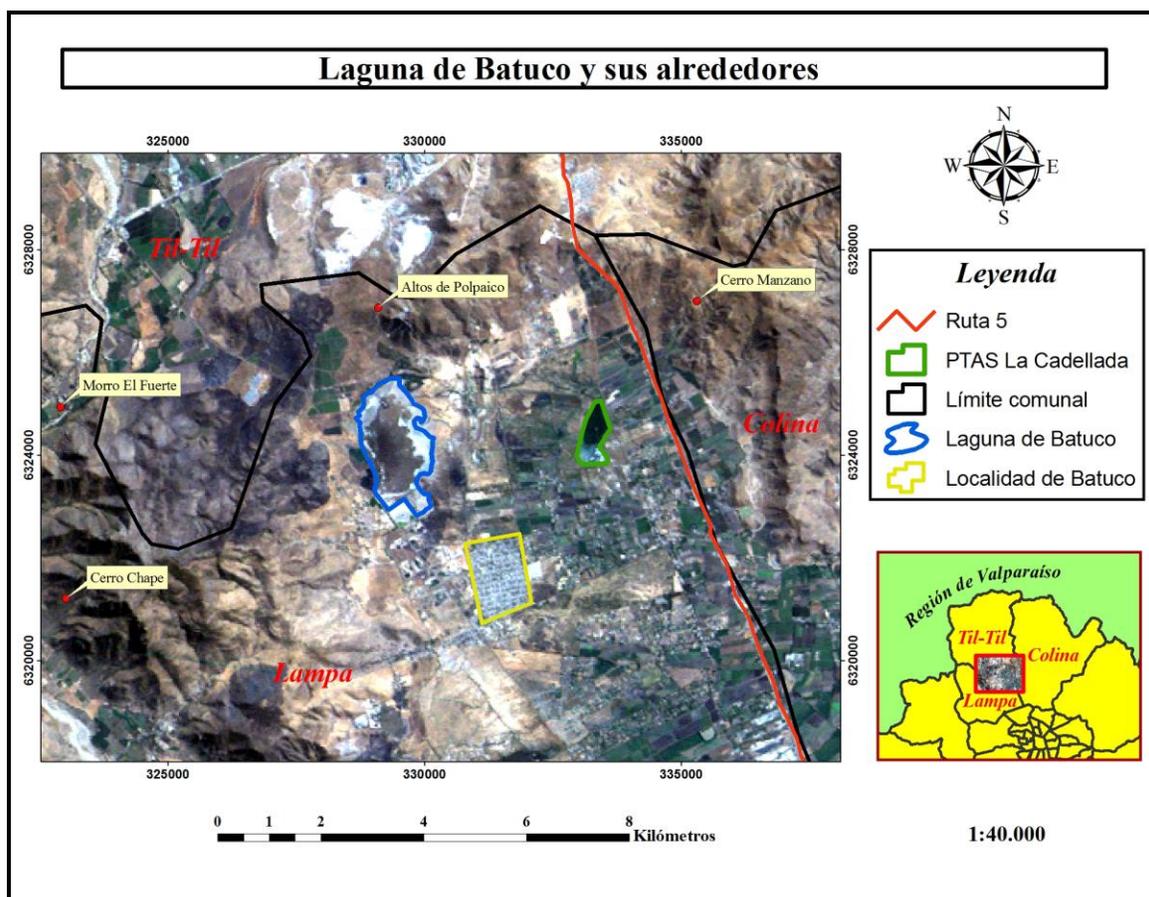
Geográficamente, el área de estudio está ubicada aproximadamente a los 33° 12' 37" latitud Sur y 70° 49' 29" longitud Oeste. Esta queda delimitada al norte por el cerro Altos de Polpaico, al este por el cerro Manzano y la Ruta 5 norte, al oeste por el cerro Chape y al sur por el límite inferior del área urbana de la localidad de Batuco. La altitud media del área de estudio es de 480 m.s.n.m.

La superficie total del Humedal (sitio prioritario N°6) definida por la Estrategia para la Conservación de la Biodiversidad de la Región Metropolitana abarca alrededor de 14.788 hectáreas (COREMA RMS, 2005). Específicamente para la zona de la laguna, se tiene que ésta ocupa alrededor de 250 y 350 hectáreas (Del Campo, 2000).

---

<sup>3</sup> Batuco: Agua de la Totorá en Mapudungun.

Figura N°2: Área de estudio.



Fuente: Elaboración propia, 2009.

Cerca del 95% del área total de la Laguna de Batuco se encuentra dentro del sector conocido como “Fundo La Laguna”, sitio privado que pertenece a una sociedad de la cual el señor Joaquín Achurra es la cara más visible. La situación actual de dicha sociedad no es muy clara, ya que el fundo habría sido comprado recientemente. El 5% restante, zona sur de la laguna, es propiedad de la empresa Cerámicas Santiago S.A.

#### IV.- Objetivos

- **4.1.- Objetivo general**

Analizar el nivel hídrico y las condiciones actuales del humedal de la Laguna de Batuco, considerando su variabilidad en el tiempo.

- **4.2.- Objetivos específicos**

1. Caracterizar desde el punto de vista físico-natural el humedal de la Laguna de Batuco.
2. Identificar posibles factores antrópicos que afecten el nivel hídrico y las condiciones del humedal.
3. Establecer y analizar las variaciones del nivel hídrico del humedal durante un año hidrológico reciente y a través de una serie de períodos comprendidos entre 1986 y 2007.
4. Delimitar las zonas de retroceso y aumento del nivel del humedal a través de los años trabajados.
5. Proyectar probables tendencias según la información generada durante la investigación.

#### V.- Hipótesis de trabajo

En las últimas décadas se ha experimentado un importante cambio climático a nivel global, durante el cual muchas regiones han presentado cambios sustanciales y algunos fenómenos habituales, como el derretimiento de los glaciares, se han acrecentado. Estos cambios han ocurrido también, en alguna medida, en la zona central del país, tornando el clima de ésta cada vez más árido. Este cambio afecta en distinta forma a todos los cuerpos de agua de la región, no siendo el humedal de la Laguna de Batuco la excepción. *Por consiguiente, la hipótesis de trabajo es que el humedal de la Laguna de Batuco ha estado experimentando una disminución progresiva de su cantidad de agua en los últimos años, la cual se acentúa en los meses de verano.*

## **VI.- Marco teórico**

### **6.1.- Introducción a los humedales: concepto de ecosistema, ciclo hidrológico y balance hídrico**

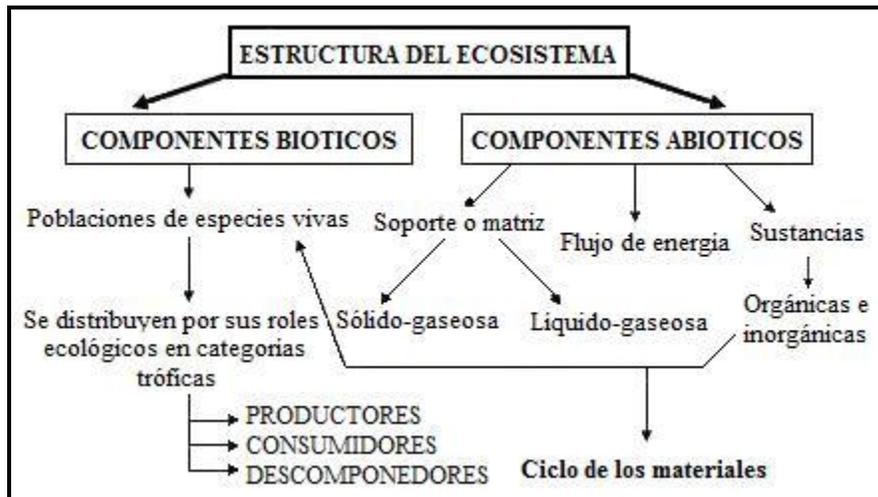
#### **6.1.1.- Ecosistema**

Un ecosistema es un sistema natural vivo que está formado por un conjunto de organismos vivos y el medio físico en el cual se relacionan, biotopo. Un ecosistema es una unidad compuesta de organismos interdependientes que comparten el mismo hábitat. En el planeta existen dos tipos principales, los ecosistemas terrestres y acuáticos, además de los intermedios entre ambos, los cuales están determinados por el medio en el que se desarrollan los seres vivos que en ellos habitan.

Alrededor de la década del '50 se elaboró la noción científica actual del concepto de ecosistema, definiéndolo como la unidad de estudio de la ecología. De acuerdo con tal definición, el ecosistema es una unidad delimitada espacial y temporalmente, integrada por los organismos vivos y el medio en que éstos se desarrollan, y por las interacciones de los organismos entre sí y con el medio. En otras palabras, el ecosistema es una unidad formada por factores bióticos (organismos vivos como los vegetales y los animales) y abióticos (componentes que carecen de vida, o que la manifiestan de otra manera, como el agua y los minerales), en la que existen interacciones vitales de energía y materia. La estructura principal de un ecosistema se presenta de forma sintetizada en la figura N°3.

Un ecosistema es una red dinámica de interacciones biológicas, químicas y físicas que sustentan una comunidad, y le permiten responder a cambios en las condiciones ambientales. El tamaño de un ecosistema es arbitrario y se define en términos de lo que desea estudiarse en tal sistema. Todos los ecosistemas de la tierra constituyen en conjunto la ecósfera.

**Figura N°3:** Estructura general de un ecosistema.



*Fuente:* Elaboración propia, 2009.

Existen 2 conceptos que tienen una estrecha relación con el de ecosistema. Por un lado se tiene el concepto de hábitat que es el espacio geográfico que reúne las condiciones naturales donde vive una especie y al cual se encuentra adaptada. Por otro lado, se tiene el concepto de nicho ecológico que es el modo en que un organismo se vincula con los factores bióticos y abióticos de su entorno. Incluye las condiciones físicas, químicas y biológicas que una especie necesita para vivir y reproducirse en un ecosistema.

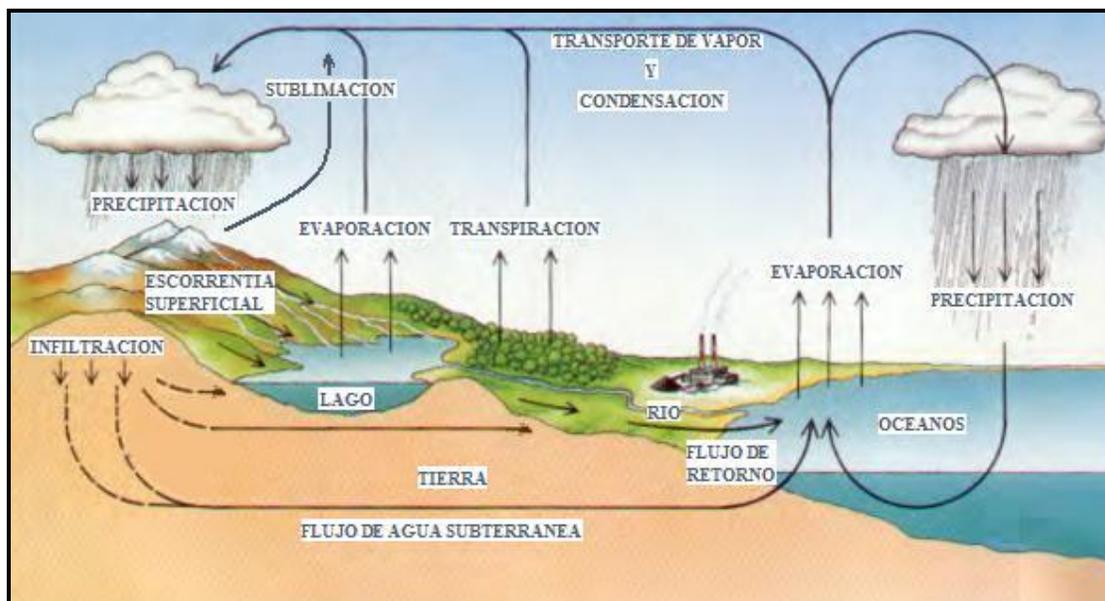
Finalmente, también es importante destacar el concepto de ecología de comunidades, que comprende al conjunto de los seres vivos que habitan en un determinado espacio y sus respectivas interacciones (Odum y Sarmiento, 1998).

### 6.1.2.- Ciclo hidrológico

En la tierra, el agua se encuentra en un espacio llamado hidrósfera. Ésta se extiende desde unos 15 kilómetros arriba en la atmósfera hasta 1 kilómetro por debajo de la litósfera o corteza terrestre. El agua circula en la hidrósfera a través de un laberinto de caminos que constituyen el ciclo hidrológico (Ven Te Chow, 1999).

El ciclo hidrológico no tiene principio ni fin y sus diversos procesos ocurren de forma continua. La figura N°4 muestra el esquema general y simplificado de cómo funciona el ciclo hidrológico considerando sus procesos principales, evaporación, transporte de vapor, condensación, sublimación, precipitación, escorrentía superficial, infiltración, transpiración, flujo de agua subterránea y flujo de retorno.

**Figura N°4:** Esquema del ciclo hidrológico.



**Fuente:** Modificado de CONAMA, 2006.

A pesar que el concepto de ciclo hidrológico es simple, el fenómeno es tremendamente complejo e intrincado. No es solo un gran ciclo, sino que está compuesto de muchos pequeños ciclos interrelacionados de extensión continental, regional y local. Aunque el volumen total de agua en el ciclo hidrológico global permanece esencialmente constante, la distribución de agua cambia continuamente en continentes, regiones y cuencas locales de drenaje.

Ahora, en relación con las entradas, salidas y cambios de almacenamiento de las aguas, se tiene la ecuación fundamental de la hidrología (Monsalve, 1999):

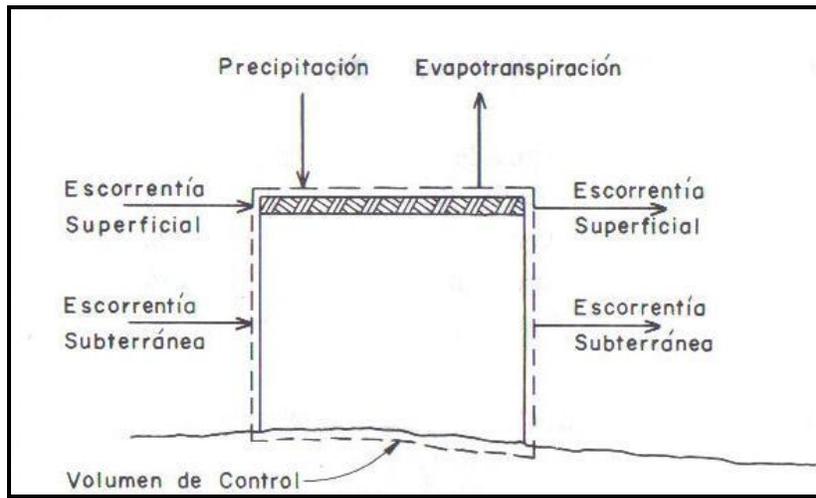
$$I - O = \Delta S / \Delta t$$

En otras palabras significa: “lo que entra menos lo que sale es igual al cambio de almacenamiento”. La ecuación se calcula para un determinado período de tiempo y para un volumen de control, como el que se presenta en la figura N°5.

Considerando una hoja hidrográfica se tiene:

- Entradas (*I*):
  - Precipitación.
  - Importaciones de agua.
  - Escorrentía superficial desde otras hoyas.
  - Aguas subterráneas desde otras hoyas.
  
- Salidas (*O*):
  - Evaporación.
  - Transpiración.
  - Escorrentía superficial hacia otras hoyas.
  - Exportaciones de aguas.
  - Aguas subterráneas hacia otras hoyas.
  - Infiltración-Percolación.
  
- Cambio de almacenamiento ( $\Delta S$ ):
  - Almacenamiento de aguas subterráneas.
  - Almacenamiento por cambio de humedad del suelo.

**Figura N°5:** Volumen de control para la aplicación de la ecuación fundamental de la hidrología.



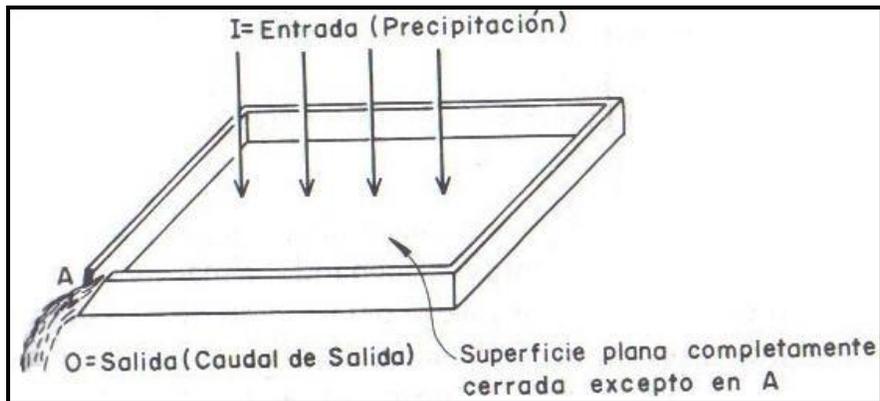
**Fuente:** Monsalve, 1999.

La hidrología de una región está determinada por sus patrones de clima, topografía, geología y vegetación. Pero a medida que la humanidad y su civilización progresan, sus actividades comienzan a invadir gradualmente el medio ambiente natural del agua, alterando el equilibrio dinámico del ciclo hidrológico e iniciando nuevos procesos y eventos. Por ejemplo, hay teorías que afirman que debido a la quema de combustibles fósiles, la cantidad de dióxido de carbono en la atmósfera se está incrementando. Esto puede llevar al calentamiento de la tierra y a tener efectos de largo alcance sobre la hidrología global (Ven Te Chow, 1999).

### 6.1.3.- Balance hídrico

La región hidrológica más importante es la hoya hidrográfica. Ésta es un área definida topográficamente, drenada por un curso de agua o un sistema conectado de cursos de agua, tal que todo el caudal efluente es descargado a través de una salida simple (Monsalve, 1999).

**Figura N°6:** Modelo de sistema hidrológico simple.



**Fuente:** Monsalve, 1999.

El concepto de balance hídrico se refiere a la cuantificación tanto de los parámetros involucrados en el ciclo hidrológico como de los consumos de agua de los diferentes sectores de usuarios en un espacio determinado, cuenca, y la interrelación entre ellos, dando como resultado un diagnóstico de las condiciones reales del recurso hídrico en cuanto a su oferta, demanda y disponibilidad. Dado que el balance hídrico presenta una aproximación de las condiciones reales del recurso hídrico en un área en particular, permite tomar medidas y establecer lineamientos y estrategias para su protección y utilización de una manera integrada, de tal forma que se garantice su disponibilidad tanto en cantidad como en calidad.

Es importante destacar que la realidad es muy diferente al sistema hidrológico simple presentado en la figura N°6, ya que ocurren diversas pérdidas durante todo el proceso. El proceso de evaporación se presenta desde que se inicia la precipitación. Por otro lado, la superficie del terreno no es tan plana como la del modelo ideal. Existen depresiones en el terreno donde el agua se acumula y puede ser evaporada o infiltrada. Además, cuando el agua llega a una corriente y se transforma en escorrentía, continúa sufriendo el proceso de evaporación, en cantidades que pueden no ser despreciables.

También en el proceso de infiltración, al penetrar en el suelo, el agua sigue diversos caminos, quedando almacenada temporalmente en dicho medio; de ahí, por medio del proceso de percolación, continúa a estratos más profundos, formando el nivel freático, o se

mueve lateralmente, como escorrentía subsuperficial o subterránea, y puede surgir superficialmente como fuente de escorrentía superficial o, según la localización de la divisoria del nivel freático, escurrir hacia otra hoya (Monsalve, 1999).

Las ecuaciones de balance hídrico más importante son (Monsalve, *op cit.*):

- a. Balance hídrico sobre la superficie.

$$P - R + R_g - E_s - T_s - I = S_s$$

- b. Balance hídrico debajo de la superficie.

$$I + G_1 - G_2 - R_g - E_g - T_g = S_g$$

- c. Balance hídrico en la hoya hidrográfica.

$$P - R - (E_s + E_g) - (T_s + T_g) + (G_1 - G_2) = (S_s + S_g)$$

En donde:

*P*: Precipitación.

*R*: Escorrentía superficial.

*E*: Evaporación.

*T*: Transpiración.

*I*: Infiltración.

*S*: Almacenamiento.

*G*<sub>1</sub>: Escorrentía subterránea entrante.

*G*<sub>2</sub>: Escorrentía subterránea saliente.

*R*<sub>g</sub>: Escorrentía subsuperficial que aparece como escorrentía superficial.

Los subíndices **s** y **g** significan el origen del vector, sobre y debajo de la superficie del suelo, respectivamente.

## **6.2.- Los humedales y su medio**

No hay ambientes más esenciales para nuestra vida que los humedales; pequeños, grandes, con más o menos biodiversidad, todos y cada uno de ellos nos proveen de importantes elementos para la vida tales como alimento, forraje, combustible, refugio para diversas especies, entre otras varias funciones, además de espacios de recreación y desarrollo para diversas comunidades, así como para el desarrollo de grandes actividades productivas, como la minería, agricultura, acuicultura, entre otras (CONAMA, 2008).

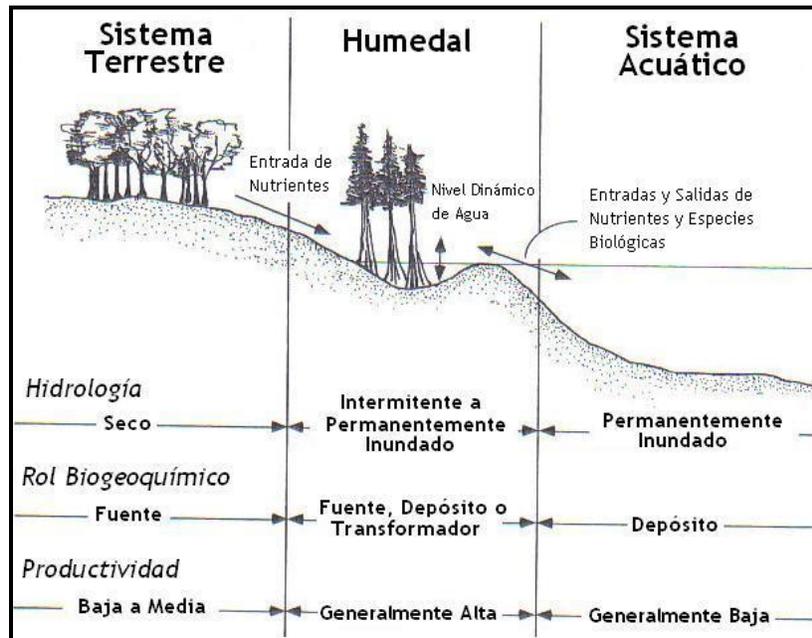
### **6.2.1.- Definición**

La diversidad biológica y el grado de complejidad ecológica no están distribuidas de forma homogénea a lo largo y ancho del planeta, sino que tienden a concentrarse en ciertos “puntos claves” (Tabilo-Valdivieso, 1997) que con frecuencia poseen una enorme importancia, y por lo tanto son altamente significativos, desde una perspectiva socioeconómica, cultural, educacional, estética y biológica.

Estos llamados “puntos claves” son los humedales, considerados como parte de los ecosistemas más productivos del mundo. Son de importancia vital no sólo para la biodiversidad y las funciones que desarrollan a nivel ecológico, sino porque proveen de funciones de apoyo y productos esenciales para las comunidades humanas en el mundo en desarrollo e industrializado (Tabilo-Valdivieso, 1997 En SERNAPESCA-Departamento de administración pesquera, 1999).

Los humedales en general, son sistemas intermedios entre ambientes normalmente secos y ambientes permanentemente inundados (ver figura N°7). Por lo tanto, estos ecosistemas pueden estar saturados de agua durante todo el año, durante ciertas estaciones, o durante parte del día.

**Figura N°7:** Humedales como ecosistemas intermedios.



**Fuente:** Elaboración propia, 2009 en base a Mitsch y Gosselink, 2000.

Estos ecosistemas muestran una enorme diversidad de acuerdo con su origen, ubicación geográfica, su régimen acuático y químico, vegetación dominante y características del suelo o sedimentos. Es importante destacar que puede existir una variación considerable en un mismo humedal y entre diferentes humedales próximos unos a otros, formando no sólo ecosistemas distintos, sino paisajes totalmente diferentes (Contreras, 2007).

En general, el término “humedal” comprende una gran variedad de ecosistemas, por lo que es complejo. No obstante, la más simple de las definiciones es la que considera como humedal a “todo ambiente que está permanente o parcialmente inundado por agua”. La explicación anterior es sin duda demasiado amplia y ambigua para lograr una buena y acabada comprensión acerca de lo que es e implica un humedal, pero de todas formas entrega ciertos aspectos que deben considerarse como inamovibles dentro de una definición.

Ahora bien, la definición de uso más común corresponde a la propuesta por la Convención Ramsar, 1971:...“Aquellas extensiones de marismas, pantanos y turberas, o superficies cubiertas de aguas, sean éstas de régimen natural o artificial, permanentes o temporales,

estancadas o corrientes, dulces, saladas o salobres, incluidas las extensiones de agua marina cuya profundidad en marea baja no exceda de 6 metros”.

Es importante destacar el hecho de que existen una serie de definiciones que tienen que ver con el ámbito en el que se esté trabajando, por lo que podemos distinguir claramente dos grupos. Por un lado, se tienen las que se relacionan con el área de las ciencias y la investigación, mientras que también están aquellas que se vinculan con el punto de vista legal.

Dentro de toda posible definición de humedal, al menos a nivel científico, existen 3 puntos que generalmente se abordan. Estos son: que un humedal se caracteriza por la presencia de agua, tanto a nivel superficial como subterráneo; que los humedales desarrollan condiciones únicas en sus suelos, difiriendo de las zonas que los rodean y que la flora y fauna presentes en un humedal normalmente se encuentra adaptada a condiciones particulares de humedad. Por todas las posibles combinaciones que pueden presentar los 3 puntos anteriores, es que resulta prácticamente imposible dar una definición única de humedal (Mellado, 2008).

Por el contrario, las definiciones desde el punto de vista legal intentan simplificar el concepto para generar los lineamientos necesarios para un adecuado manejo del ambiente. Si bien en ésta se pueden incluir los procesos que ocurren en los ecosistemas, éstos deben ser simplificados para que sean comprendidos por todos aquellos actores involucrados con el ambiente (Keddy, 2000 en Plan integral de gestión ambiental del río Cruces, 2006).

Otro problema a la hora de definir un humedal es diferenciarlo de un lago, ya que muchas veces ambos conceptos se utilizan como sinónimos, siendo que son ambientes similares pero tienen sus diferencias. En los lagos el ambiente pelágico<sup>4</sup> predomina sobre el ambiente litoral porque el fitoplancton es el productor primario del lago, mientras que en los humedales el ambiente litoral (la vegetación acuática) domina la producción primaria.

---

<sup>4</sup> El ambiente o dominio pelágico es el formado por las aguas libres que no están en contacto con el fondo.

En la misma línea de lo anterior, se tiene que no existe un consenso que permita diferenciar un humedal de un lago considerando su profundidad, teniendo en cuenta que la profundidad no es un parámetro estático, sino que, muy por el contrario, es bastante dinámico. Sin embargo, en la mayoría de los casos se denomina humedal a cuerpos de agua poco profundos. Es decir a aquellos permanentemente inundados y lo suficientemente poco profundos como para permitir la penetración de la luz solar hasta los sedimentos, y para que ésta garantice la ocurrencia de la fotosíntesis de todas las plantas acuáticas del lugar (Wetzel, 2001).

### **6.2.2.- Tipos y clasificación de humedales**

De la misma forma que ocurre en el caso de las definiciones, existen diversas clasificaciones para los distintos tipos de humedales y la variedad de éstos es tan grande que se dificulta su definición y posterior clasificación. Aunque, como se dijo anteriormente, existen diversos tipos de humedales. Todos poseen varias características ecológicas que los diferencian de los ecosistemas de tierras altas y otros ecosistemas acuáticos. Específicamente, los humedales están caracterizados por poseer condiciones únicas en su hidrología, características del suelo (sustrato) y condiciones bióticas (NOAA & EPA, 2003).

En primer término, la Convención Ramsar reconoce 5 tipos de humedales principales:

- Marinos (humedales costeros, inclusive lagunas costeras, costas rocosas y arrecifes de coral).
- Estuarinos (incluidos deltas, marismas de marea y manglares).
- Lacustres (humedales asociados con lagos).
- Ribereños (humedales adyacentes a ríos y arroyos).
- Palustres (es decir, “pantanosos”, marismas, pantanos, turberas y ciénagas).

Además, hay humedales artificiales, como estanques de cría de peces y camarones, estanques de granjas, depresiones inundadas salinas, tierras agrícolas de regadío, embalses, estanques de grava, piletas de aguas residuales y canales. En este sentido, la Convención Ramsar establece una clasificación que distingue 11 tipos de humedales costeros y otros 20

tipos, que corresponden a humedales continentales. Una de sus principales limitaciones es que, para su determinación, mezcla términos biológicos, geológicos y geográficos.

Por su parte Dungan, 1990 (en Ramírez *et al*, 2002) establece 3 grandes grupos de humedales: de agua dulce, de agua salada y artificial. La categoría usada en este caso no es la misma, ya que los dos primeros se diferencian por su salinidad, pero el tercero tiene que ver con el origen del humedal (Ramírez *et al*, *op cit.*).

Cowardin *et al*, 1992 (en Ramírez *et al*, 2002) clasifica los humedales en sistemas, subsistemas y clases (Tabla N° 1). Los dos primeros parecen bastante coherentes, aun cuando en los ribereños se incluyen ambientes afectados por mareas, que más bien serían estuarios. En la categoría clases la situación se complica mucho porque al igual que ocurre con la clasificación de la Convención Ramsar se mezclan conceptos de diversas índoles.

**Tabla N°1:** Sistemas, subsistemas y clases de la clasificación de humedales de Cowardin.

Sistemas	Subsistemas	Clases
Marino	Submareal	Fondo rocoso, fondo no consolidado, lecho de organismos acuáticos, arrecife.
	Intermareal	Lecho de organismos acuáticos, arrecife, costa rocosa, costa no consolidada.
Estuarino	Submareal	Fondo rocoso, fondo no consolidado, lecho de organismos acuáticos, arrecife.
	Intermareal	Lecho de organismos acuáticos, arrecife, costa rocosa, costa no consolidada, lecho de canales, humedal emergente, humedal arbustivo, humedal boscoso.
Ribereño (fluviales)	Afectado por mareas	Fondo rocoso, fondo no consolidado, lecho de organismos acuáticos, costa rocosa, costa no consolidada, humedal emergente
	Permanente de tierras bajas	Fondo rocoso, fondo no consolidado, lecho de organismos acuáticos, costa rocosa, costa no consolidada, humedal emergente.
	Permanente de tierras altas	Fondo rocoso, fondo no consolidado, lecho de organismos acuáticos, costa rocosa, costa no consolidada.
	Intermitentes	Lecho de canales.
Lacustre	Límnicos	Fondo rocoso, fondo no consolidado, lecho de organismos acuáticos.
	Litorales	Fondo rocoso, fondo no consolidado, lecho de organismos acuáticos, costa rocosa, costa no consolidada, humedal emergente.
Palustre		Fondo rocoso, fondo no consolidado, lecho de organismos acuáticos, humedal de musgos y líquenes, humedal emergente, humedal arbustivo, humedal boscoso.

**Fuente:** Elaboración propia, 2009 en base a Cowardin *et al*, 1992 en Ramírez *et al*, 2002.

Las clasificaciones de humedales actualmente en uso presentan un excesivo grado de complejidad al tratar de abarcar todos los tipos de humedales y al usar diferentes factores ambientales para su diferenciación. También se utilizan factores muy diversos, no comparables, para un mismo nivel de clasificación (Ramírez *et al*, 2002).

La tabla N°2 muestra la clasificación de humedales naturales que se proponen para Chile. En total se diferencian 15 tipos de humedales que se pueden agrupar en 5 salinos y en 10 dulceacuícolas. Los salinos a su vez se separan en marinos, estuarinos e interiores. Los 10 humedales dulceacuícolas se separan en 2 grupos: los ribereños asociados a cuerpos de agua lóticos (con corriente) o lénticos (sin corriente) y los anegadizos, que no están asociados a cuerpos de agua, sino a una napa freática alta o a horizontes impermeables.

**Tabla N°2:** Propuesta de clasificación de los tipos de humedales naturales chilenos.

<b>Salinos</b>	Marinos		Litorales
	Estuarinos		Estuarios
	Interiores		Marismas
<b>Dulceacuícolas</b>	Ribereños	Lóticos	Albúferas
			Lénticos
		Anegadizos	
		Bañados	
		Oasis	
		Lagos	
		Lagunas	
		Charcos	
		Pantanos	
	Turberas		
	Ñadis		

*Fuente:* Ramírez *et al*, 2002.

La principal ventaja de la clasificación presentada en la tabla N°2 es que se adecúa a la realidad chilena, simplificando los grupos y volviéndose así mucho más comprensible, ya que no se mezclan diferentes niveles ni conceptos de diferentes disciplinas.

### **6.2.3.- Características y beneficios**

Abordado el tema de su clasificación, es importante abocarse a las características y beneficios de los humedales. Se tiene que cada humedal está formado por una serie de componentes físicos, químicos y biológicos tales como suelos, agua, especies animales, vegetales y nutrientes, los cuales se combinan de tal forma de hacer que este ambiente sea único. Los procesos entre dichos componentes permiten que el humedal desempeñe funciones tales como el control de inundaciones y la protección contra tormentas y que se generen productos, como la vida silvestre, pesquería y recursos forestales.

A su vez, los humedales se sitúan, como lo señalan diversos autores, entre los ecosistemas más productivos, siendo significativas fuentes de diversidad biológica, debido principalmente a que son importantes reservorios de agua. Al mismo tiempo, son responsables de una gran cantidad de productividad primaria, que constituye la base de la cadena trófica sobre la cual se sostienen los organismos vivos.

En términos físicos los humedales pueden actuar como zonas de flujo de materia orgánica o de retención de materia inorgánica. Esto, sumado a su localización geográfica, determina que algunos humedales alberguen una alta biodiversidad, así como otros pueden ser muy productivos en términos de biomasa (Mitsch y Gosselink, 2000).

Por su parte, los beneficios de los humedales son conocidos como las funciones, usos, valores, atributos, bienes y servicios. Los beneficios pueden ser definidos por cualquiera de estos términos, según sean referidos a la comunidad, vida silvestre, sistemas o procesos naturales (Tabilo-Valdivieso, 1997 En SERNAPESCA-Departamento de Administración Pesquera, 1999). La tabla N°3 muestra los principales beneficios de los humedales.

**Tabla N°3:** Principales beneficios que presentan los humedales.

<b>Beneficios</b>	<b>Descripción</b>
Suministro de agua	Los humedales son utilizados con frecuencia como fuente de agua para varios usos. Los ríos, lagos o lagunas son intensamente utilizados por la sociedad humana rural y de las ciudades para extraer sus aguas.
Regulador de flujos	Los humedales pueden actuar como retenedores del exceso de agua, como una verdadera esponja, en las épocas de lluvias o crecidas de los ríos.
Prevención de intrusión de agua salada	Algunos humedales regulan el volumen de las aguas dulces costeras, para que éstas mantengan reguladas a las aguas saladas.
Protección contra las fuerzas de la naturaleza	Las características físicas de los humedales y su vegetación ayudan a prevenir o reducir la erosión de la línea de costa, estuarios y ríos.
Retención de sedimentos	Las propiedades físicas de los humedales permiten reducir el flujo del agua. Esto facilita que se deposite el sedimento que arrastra el agua.
Retención de nutrientes	Las propiedades físicas de algunos humedales tienden a reducir el flujo del agua facilitando la acumulación del sedimento. Los nutrientes están asociados al sedimento y con el tiempo se logra acumular en grandes cantidades.
Remoción de tóxicos	Algunos tóxicos en los ecosistemas acuáticos se encuentran ligados a la superficie de las partículas del sedimento. En algunos humedales, con flujos de aguas lentos, se facilita que gran cantidad de partículas con tóxicos decanten.
Fuente de productos naturales	Los humedales son una reserva de productos naturales, estos productos animales, vegetales y minerales pueden estar tanto dentro como fuera del área del humedal.
Producción de energía	Un humedal puede proveer energía de varias formas, siendo la más común la hidroeléctrica, la leña y la turba.
Transporte	En algunos humedales, el transporte acuático es la mejor forma de comunicación entre las comunidades para trasladar a las personas y los productos agrícolas e industriales provenientes de los humedales y sus alrededores.
Banco genético	Ya sea para la explotación comercial, en el cual el uso de genes de la vida silvestre para producir y mejorar a las especies comerciales es bien conocido; así como también para la mantención de la biodiversidad.
Significancia para la conservación	Los humedales representan un hábitat clave para el ciclo de la vida silvestre, esta categoría incluye hábitats que soportan directamente especies de flora y fauna.
Recreación y turismo	Aquí se incluyen los humedales que están siendo utilizados para la recreación o el turismo, o sitios que tienen alto potencial para ser utilizados con estos propósitos.
Significancia sociocultural	Humedales que presentan importancia paisajística y estética, sitios con un alto potencial para el desarrollo del ecoturismo, que tenga presencia de distintas actividades humanas y que presente importantes sitios históricos.
Significancia para la mantención de los ecosistemas	Los humedales mantienen los procesos ecológicos, geomorfológicos y geológicos, también pueden contener gran cantidad de materia orgánica no descompuesta, actuando como sumideros de CO <sub>2</sub> . Estos mantienen un microclima particular y actúan previniendo el desarrollo de suelos ácidos sulfatados.
Significancia para la investigación y educación	Los humedales son sitios particulares para la investigación científica y para la educación. También son denominados “sitios tipo”, ya que un humedal puede ser el sitio de la primera descripción de una especie, de un fósil encontrado, de un tipo de roca descrita o hábitat, etc.

**Fuente:** Elaboración propia, 2009 en base a SERNAPESCA-Depto.de Administración Pesquera, 1999.

Debido a todos los beneficios presentados en la tabla N°3, los humedales son ampliamente apreciados. Sin embargo, estos ecosistemas tienen características que aún permanecen como una incógnita para los científicos. Los humedales tienen propiedades únicas que no

pueden ser explicadas por los actuales paradigmas de la ecología ni por ninguno de sus campos como la limnología<sup>5</sup>, la ecología de los estuarios y la ecología terrestre (Mitsch y Gosselink, 2000).

#### **6.2.4.- Factores que controlan la ecología de los humedales**

Como cualquier cuerpo de agua, los humedales se ajustan al medio que los rodea, experimentando flujos de energía y materia entre sus componentes bióticas y abióticas. Si a ello se agrega la componente hidrológica y su alta variabilidad, los humedales son un reflejo de las condiciones geográficas o ambientales de la cuenca hidrográfica donde se localizan (Contreras, 2006). Ahora, en relación con los factores que controlan la ecología de los humedales, se tiene que éstos son principalmente la hidrología, la fertilidad, los sedimentos, la biota y las perturbaciones.

##### **6.2.4.1.- Hidrología**

El factor principal que controla la ecología de los humedales tiene que ver precisamente con el régimen hidrológico del lugar, el cual está determinado por la duración, flujo, cantidad y frecuencia de agua. Se considera que un sitio tiene una hidrología de humedal cuando permanece húmedo lo suficiente como para generar suelos que pueden mantener una vegetación hidrofítica. Es decir, permite la presencia de plantas adaptadas a ambientes inundados (NOAA & EPA, 2003).

Además de lo anterior, la componente hidrológica es la vía que permite el intercambio energético y de nutrientes desde y hacia el humedal a través de las precipitaciones, escorrentía superficial y subterránea y, en el caso de los humedales costeros, mediante las mareas. En otras palabras, la amplitud y frecuencia de las fluctuaciones en los niveles del agua controlan las características de un humedal. Lo anterior está muy relacionado con las características climáticas y geomorfológicas de la cuenca donde se ubica el humedal en

---

<sup>5</sup> La limnología es la rama de la ecología que estudia los ecosistemas acuáticos continentales (lagos, lagunas, ríos, charcas, marismas y estuarios), las interacciones entre los organismos acuáticos y su ambiente, que determinan su distribución y abundancia en dichos ecosistemas.

cuestión, puesto que éstos son los primeros factores que determinan las condiciones hidrológicas al interior del humedal. La figura N°8 muestra un modelo conceptual de los efectos directos e indirectos de la hidrología en los humedales.

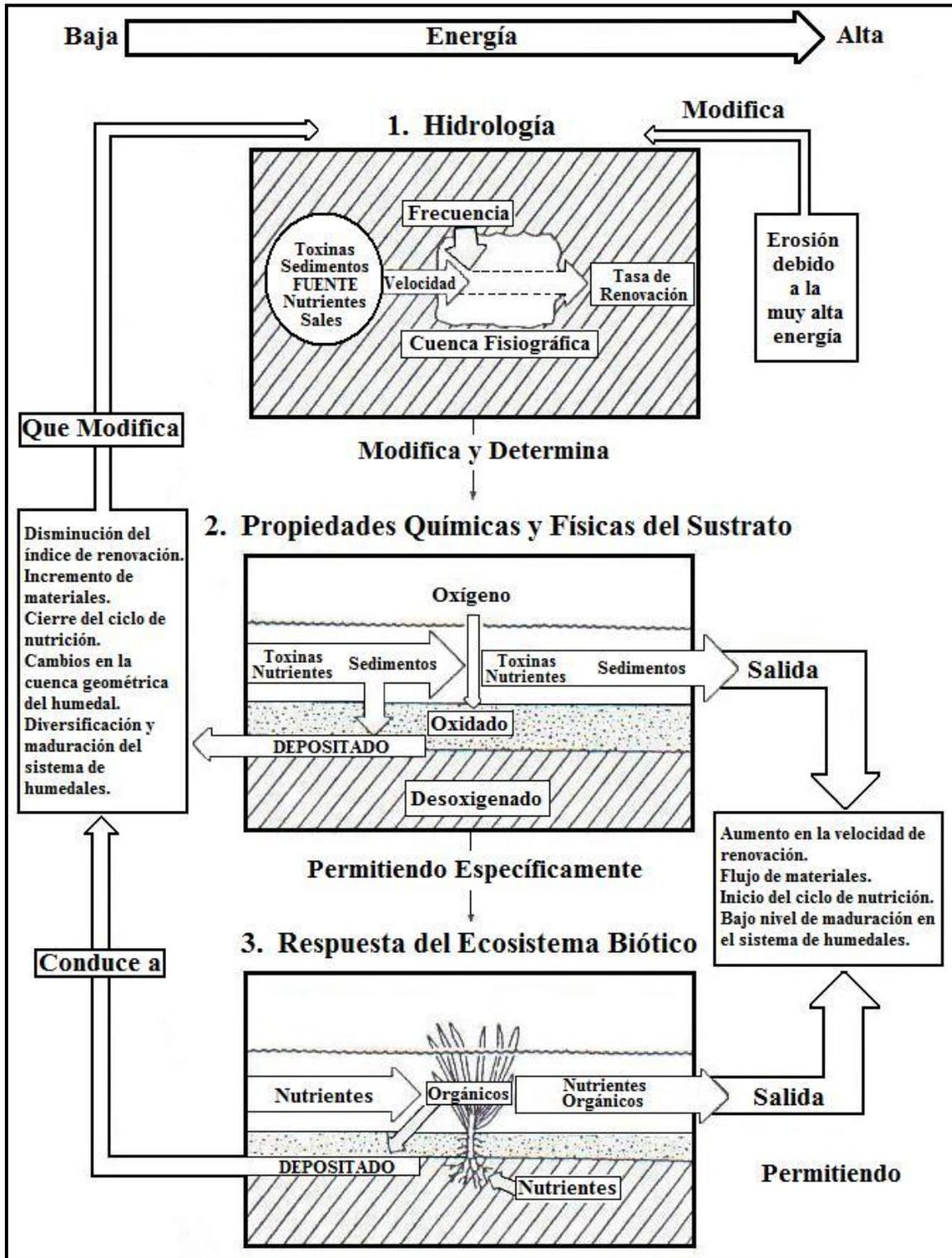
#### **6.2.4.2.- Fertilidad**

Todos los organismos necesitan más que agua para vivir, y si los nutrientes necesarios para cumplir dicho objetivo se encuentran en bajas cantidades el crecimiento y la reproducción pueden ser interrumpidos. Esto se relaciona directamente con la fertilidad, segundo factor relevante dentro de la ecología de los humedales.

Una de las características más interesantes en los humedales es su variación natural de la fertilidad, la cual se debe a la posibilidad de existencia de 2 tipos extremos de hábitats; aquellos que son considerados crónicamente infértiles y aquellos altamente fértiles. Muchos humedales están crónicamente limitados por los nutrientes. Esta infertilidad es una de las mayores fuerzas que afectan la evolución de la comunidad de plantas. Por el contrario, en los ambientes altamente productivos, los nutrientes no son limitantes, por lo que éstos se caracterizan por un crecimiento explosivo de ciertas especies y los elementos limitantes pasan a ser otros, como, por ejemplo, la luz.

La fertilidad, por lo tanto, puede ser usada para referirse a la disponibilidad de recursos necesarios para el crecimiento y la reproducción. Estos recursos incluyen nutrientes y minerales como el nitrógeno, fósforo y potasio, el dióxido de carbono en el caso de las plantas, y, en zonas inundadas, el oxígeno del suelo. Todos estos recursos pueden estar en concentraciones bajas y, por ende, pasan a ser un elemento limitante que afecta la fertilidad de un ambiente (Keddy, 2000 en Plan integral de gestión ambiental del río Cruces, 2006).

Figura N°8: Efectos directos e indirectos de la hidrología en los humedales.



Fuente: Elaboración propia, 2009 en base a Wicker *et al*, 1982 en Mitsch y Gosselink, 2000.

#### **6.2.4.3.- Sedimentos**

Otro de los factores de mayor relevancia dentro de la ecología de los humedales son los sedimentos, ya que sirven de soporte para los microorganismos, almacenan materia orgánica y contaminantes, son un espacio para la ocurrencia de reacciones químicas y biológicas y condicionan el movimiento del agua, debido a su permeabilidad.

Los sedimentos de naturaleza orgánica (ácidos) o mineral (básicos o neutros) normalmente se encuentran saturados de agua por un tiempo suficiente como para desarrollar condiciones de reducción, debido a las bajas tasas de difusión del oxígeno en soluciones acuosas. Ello implica que los sedimentos se encuentren en condiciones anaeróbicas (sin oxígeno disuelto), a excepción de una delgada capa superficial, la que permite la ocurrencia de reacciones químicas de oxidación (Mellado, 2008).

Los ciclos fisicoquímicos que ocurren dentro de los humedales son una combinación de transformaciones químicas y procesos de transporte únicos en la naturaleza. Estos ecosistemas 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 ocurren la mayor parte de los procesos fisicoquímicos de los humedales (Cox, 2007).

Los sedimentos son también el lugar donde ocurren la mayoría de las transformaciones en el ciclo del fósforo, elemento que tiene una proporción relativamente pequeña en la materia viva, pero que juega un papel vital para el desarrollo de ésta. Es por lo anterior que se reconoce a los humedales como grandes retenedores de fósforo debido a su porción en el particulado.

Finalmente, es importante destacar que la baja profundidad y la 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 (Cox, *op cit.*).

#### **6.2.4.4.- Biota**

Un cuarto factor dentro de la ecología de los humedales son los aspectos ecológicos propiamente tales llamados por algunos autores como la biota.

Los humedales albergan a una gran cantidad de especies animales como vegetales, las cuales son muy dependientes de lo que ocurra dentro de éstos, por lo cual los humedales son ambientes críticos para la supervivencia de una amplia biodiversidad de animales y plantas. Sin embargo, el ambiente de los humedales es, de muchas formas, severo. Los mayores estreses son la falta de oxígeno, 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 (Mitsch y Gosselink, 2000).

Las plantas y los animales presentes en estos ecosistemas han desarrollado una gran cantidad de adaptaciones debido a su complejidad y movilidad, las cuales les han permitido subsistir a pesar de esta situación. Un punto clave para dicha subsistencia es la acumulación de nutrientes por parte de los humedales, ya que la descomposición de la materia orgánica y la liberación de minerales y compuestos solubles fertilizan el humedal.

Las macrófitas<sup>6</sup> y las comunidades microbianas usualmente controlan la recarga de nutrientes en los humedales. El principal rol de las primeras es transportar oxígeno desde sus hojas hacia la cercanía de sus raíces, mientras que los microorganismos son fundamentales en la transformación de materias orgánicas e inorgánicas a formas más simples o inocuas. 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

---

<sup>6</sup> Las macrófitas son plantas superiores, cuyo crecimiento se debe al consumo de nutrientes básicos (nitrógeno y fósforo).

estratificación, los humedales resultan ser sistemas mucho más productivos que los lagos (Sánchez y Álvarez, 2000 en Cox, 2007). Por otra parte, el exceso de nutrientes puede traer consigo una serie de problemas, como por ejemplo forzar la salida de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) del agua hacia la atmósfera elevando el pH<sup>7</sup> hasta 9 o 10.

En este punto es importante referirse a la eutroficación dentro de los humedales, la cual es un proceso natural que afecta típicamente a lagos naturales o artificiales, desarrollándose de forma muy lenta. Consiste en el enriquecimiento de las aguas con nutrientes en una cantidad tal que no puede ser compensado de forma natural por el sistema. Ocurre debido a la muerte de las especies que viven en el epilimnio<sup>8</sup>, las cuales sedimentan hacia el hipolimnio<sup>9</sup> para ser degradadas, consumiendo el oxígeno disuelto disponible (Ryding y Rast, 1989 en Mellado, 2008). Es importante destacar que los cuerpos de agua poco profundos se encuentran más expuestos a eutrofización, debido a las pocas posibilidades de disolución de las concentraciones de entrada de nutrientes, respecto a un lago de gran profundidad, cuya capacidad de almacenar mayores volúmenes de agua es mayor.

#### **6.2.4.5.- Perturbaciones**

Finalmente, el último factor relevante que controla la ecología de los humedales son las perturbaciones, que son acontecimientos discretos, de origen natural o antrópico, que causan un cambio en las condiciones existentes en un sistema ecológico.

Para ser considerado como una perturbación, el evento debe ocurrir con una duración menor que el tiempo de vida de la especie dominante de una comunidad. Por ejemplo un incendio sí puede ser un disturbio, pero no lo son los efectos del cambio global. Por lo tanto, éste es un cambio que debe ser cuantificable mediante mediciones de biomasa, diversidad y composición de especies. Cuando no se registran cambios no se está en

---

<sup>7</sup> El pH es una medida de la acidez o basicidad de una solución.

<sup>8</sup> El epilimnio es la capa superficial del agua de un lago, en la cual la temperatura es más elevada en verano y más rica en organismos; se sitúa por encima del estrato de mayor discontinuidad térmica.

<sup>9</sup> El hipolimnio es la masa de agua profunda de un lago que se mantiene estancada, debajo del estrato de mayor discontinuidad térmica.

presencia de un disturbio (Cairos, 1980 en Plan integral de gestión ambiental del río Cruces, 2006).

Otros autores son más enfáticos y mencionan que cuando la resistencia estructural y la tolerancia fisiológica de la vegetación son excedidas y cuando la biomasa viva es repentinamente destruida, estamos en presencia de una perturbación. Las perturbaciones van a depender, por lo tanto, de la duración con la que el evento ocurre, la intensidad con que éste se manifiesta, su frecuencia (mientras más frecuente es un evento, los organismos tienen más resistencias a ellos) y el área donde éste ocurra. Estas perturbaciones pueden tener orígenes naturales y orígenes antrópicos, por lo que la fuerza con que se manifiestan pueden ser muy disímiles entre sí.

Los humedales son ecosistemas altamente dinámicos, sujetos a una amplia gama de factores naturales que determinan su modificación en el tiempo. Sus atributos físicos, principalmente hidrográficos, topográficos y edáficos son constantemente moldeados por procesos endógenos tales como la desecación y sedimentación y por fenómenos de carácter exógeno, tales como el deslizamiento de tierras, avalanchas, tormentas e inundaciones tanto estacionales como ocasionales.

Con respecto a los procesos de intervención y afectación humana en los humedales se tiene que no son independientes de la dinámica natural de estos sistemas. Ésta debe verse como una perturbación que actúa sobre la dinámica natural del sistema y cuyo efecto depende de la magnitud, intensidad y tasa de recurrencia de la misma (aspectos externos), como también del estado del sistema y de su capacidad de retornar al estado de pre-perturbación o resiliencia (aspectos internos). En este sentido, los conflictos entre las actividades humanas y la conservación o uso sustentable de humedales se presentan en varios órdenes de magnitud, jerárquicamente organizados (Wayne-Nelson y Sëller 1984 en Plan integral de gestión ambiental del río Cruces, *op cit.*).

Por consiguiente, las perturbaciones generalmente dan como resultado la degradación del ambiente, lo que conlleva a la pérdida de las condiciones ambientales normales.

Esto es, en síntesis, una visión generalizada de los principales componentes que modelan la estructura de un humedal, pero es evidente que, como ocurre en la mayoría de los ecosistemas, los humedales son en definitiva el resultado de la acción de múltiples factores que actúan simultáneamente sobre el ambiente.

Por último, junto a lo expuesto, los humedales forman parte del patrimonio cultural de la humanidad por su relación con cosmogonías y creencias religiosas que constituyen una fuente de inspiración estética, de refugio a especies silvestres y forman la base de importantes tradiciones locales (Smith, 2006).

## VII.- Metodología

Para la consecución de este trabajo se realizó, en primer término, una recopilación de antecedentes bibliográficos, cartográficos y de estudios referentes al clima, flora y fauna, hidrología, suelos, geomorfología y geología del área del humedal de la Laguna de Batuco para la caracterización de dicha zona y su posterior análisis. Además, se identificaron los principales actores con incidencia en el área del humedal, a través de una serie de visitas a terreno y recopilación de información primaria mediante reuniones con Ana María Cortez, ingeniera en recursos naturales renovables, y parte de la Dirección de Aseo, Ornato y Medio Ambiente de la Ilustre Municipalidad de Lampa.

Ahora bien, para establecer el nivel de la Laguna de Batuco durante el año hidrológico 2009-2010 y durante el período 1986-2007 se utilizaron 4 y 13 imágenes satelitales Landsat 5 TM, respectivamente, con una resolución espacial de 30 x 30 metros y una resolución espectral de 7 bandas. Las fechas de todas las imágenes utilizadas se presentan en la tabla N°4.

**Tabla N°4:** Fechas de captura de todas las imágenes satelitales utilizadas.

Período	Fecha		Período	Fecha	
	Día y mes	Año		Día y mes	Año
2009-2010	4 de junio	2009	1986-2007	28 de marzo	1996
	26 de octubre	2009		4 de septiembre	1996
	14 de enero	2010		15 de septiembre	2000
	19 de marzo	2010		27 de abril	2001
1986-2007	28 de enero	1986		18 de marzo	2004
	19 de agosto	1990		10 de septiembre	2004
	11 de febrero	1991		11 de marzo	2007
	31 de enero	1993		19 de septiembre	2007
	27 de agosto	1993			

*Fuente:* Elaboración propia, 2010.

Cabe señalar que cada una de estas imágenes satelitales fueron obtenidas de forma gratuita a través del sitio web del Instituto Nacional de Investigaciones Espaciales (INPE) perteneciente al Ministerio de Ciencia y Tecnología de Brasil.

Lo primero que se realizó para establecer el área de la laguna en cada uno de los períodos mostrados en la tabla N°4 fue una composición de bandas para poder generar una imagen en color real y 3 diferentes imágenes de falso color mediante la utilización del software Arc GIS 9 (ArcMap versión 9.2). Gracias a estas combinaciones con diferentes bandas se pudo resaltar las distintas variaciones de color, textura, tonalidad y diferenciar los distintos tipos de coberturas que existen en la superficie de la laguna y sus alrededores.

Para la creación de la imagen en color real se efectuó una composición que integró a las bandas 3, 2 y 1, es decir a las bandas que representan el espectro de luz visible (colores rojo, verde y azul). Para complementar la información que entregan las imágenes en color real se efectuaron 3 composiciones diferentes de bandas para crear imágenes en falso color que facilitan en gran medida la interpretación de lo que en cada uno de los distintos períodos se observa. Estas composiciones se seleccionaron en primer término mediante una revisión bibliográfica y posteriormente por presentar características que resultaron muy apropiadas para alcanzar los fines de este trabajo.

La primera de estas composiciones integró a las bandas 4 (infrarrojo cercano), 5 (infrarrojo medio) y 7 (infrarrojo medio); la segunda integró a las bandas 4, 3 y 2; y la tercera a las bandas 7, 4 y 1. Cada una de estas composiciones presentan las bandas 4 o 5 por ser consideradas ambas como bandas absorbentes, con las cuales es más fácil observar zonas con importante presencia de agua y zonas húmedas.

Luego de lo descrito en el párrafo anterior se procedió a cortar de cada una de las imágenes generadas el área específica con la cual se trabajó en esta investigación. Esta es de aproximadamente 13 x 18 kilómetros (234 km<sup>2</sup>). Esto se realizó mediante la herramienta de Arc GIS llamada Extraction, parte de las herramientas dentro del Analista Espacial. El tipo de Extraction que se realizó fue mediante la utilización de una máscara, que en este caso particular fue un polígono de 13 x 18 kilómetros con el cual se extrajo la parte requerida de la imagen principal generada.

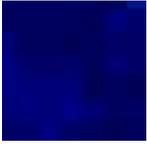
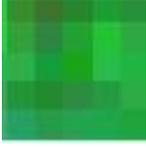
Posteriormente, se comenzó con el proceso de georreferenciación para cada uno de estos cortes generados de las imágenes principales. Antes de comenzar con dicho proceso se tuvo que definir la proyección con la cual estas imágenes serían proyectadas finalmente. En este sentido, la proyección utilizada en este trabajo fue el sistema coordinado WGS 1984 con el uso 19 sur (uso que se utiliza en la mayor parte del país). Con esto resuelto se definieron 8 puntos con los cuales realizar la georreferenciación.

La posición exacta de dichos puntos se obtuvo gracias a la utilización del programa Google Earth, de la empresa Google, el cual utiliza imágenes Quickbird y del que se obtienen fácilmente las coordenadas UTM de estos puntos.

El proceso de georeferenciación mismo se realizó mediante la extensión Georeferencing de Arc GIS con la cual fue posible rectificar y proyectar cada una de las imágenes anteriormente cortadas. Algunos de los conceptos anteriormente tratados se amplían en el anexo D.

Ya con todos los procesos previos listos se comenzó a trabajar en la interpretación de las imágenes para cada uno de los períodos antes mencionados. Para realizar dicha interpretación se consideró la información de la tabla N°5, en la que se puede apreciar la descripción de cada una de las combinaciones de las distintas bandas como también la visualización de las zonas más relevantes de éstas en cuanto a los objetivos de esta investigación.

**Tabla N°5:** Descripción y visualización de las distintas combinaciones de bandas utilizadas.

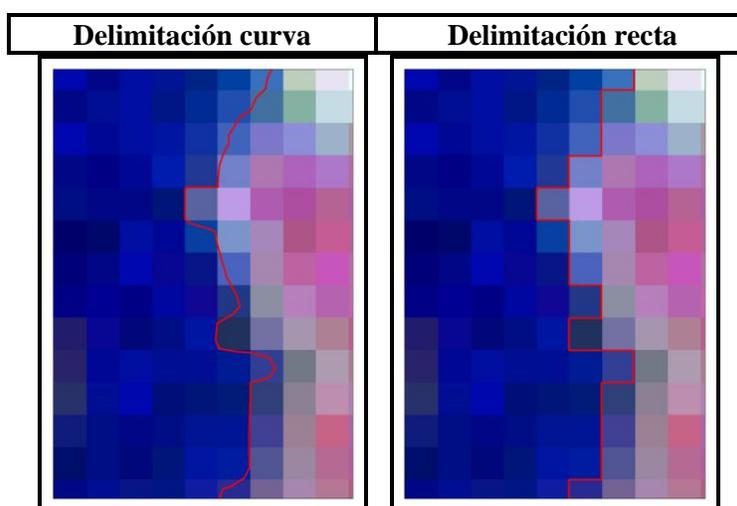
Combinaciones de bandas Landsat	Descripción	Visualización zonas con presencia de agua	Visualización zonas húmedas	Visualización zonas secas
<b>Imagen color real 3 – 2 – 1 (RGB)</b>	Es una imagen de color natural. Refleja el área tal como la observa el ojo humano en una fotografía aérea a color.			
<b>Imagen falso color 7 – 4 – 1 (RGB)</b>	Es una imagen de falso color. En esta las zonas cubiertas de agua se ven de colores azul claro a oscuro y las zonas húmedas se ven en tonos verdes.			
<b>Imagen falso color 4 – 5 – 7 (RGB)</b>	Es una imagen de falso color en la que las zonas cubiertas por agua se ven de colores que van de rojo claro a oscuro. Las zonas húmedas se ven en tonos naranjos.			
<b>Imagen falso color 4 – 3 – 2 (RGB)</b>	Es una imagen de falso color en la que las zonas cubiertas por agua se ven de colores que van de azul a negro. Las zonas húmedas se ven en tonos rojos.			

*Fuente:* Elaboración propia, 2010 en base a Chuvieco, 2002.

Para delimitar el cuerpo de agua de la laguna en cada uno de los períodos en cuestión se consideraron todos los píxeles que se visualizaran dentro del margen para ser considerados con presencia de agua. De esta forma se pudo establecer un área para la laguna en cada uno de los períodos trabajados. En relación con esto, es importante destacar que el área cubierta por un píxel representa un promedio de lo que en realidad hay en un lugar determinado y los límites de éstos no son necesariamente los límites reales de alguna cobertura específica. Esto se tuvo muy en cuenta a la hora de delimitar los límites de la laguna en todas las imágenes trabajadas.

La figura N°9 ilustra la situación descrita en el párrafo anterior (mediante la delimitación de una imagen de falso color 7- 4 -1), donde se pueden apreciar 2 formas diferentes de delimitar los límites del cuerpo de agua de la laguna, siendo una más precisa que la otra a la hora de ser un modelo más acorde a la realidad y al comportamiento natural de un cuerpo de agua. Una de estas formas es delimitar la totalidad de la superficie de los píxeles que se encuentran en el límite de una cobertura dada y la otra es considerar la información que entrega cada uno de estos píxeles y en función de ésta realizar la delimitación.

**Figura N°9:** 2 maneras de delimitar una cobertura determinada.



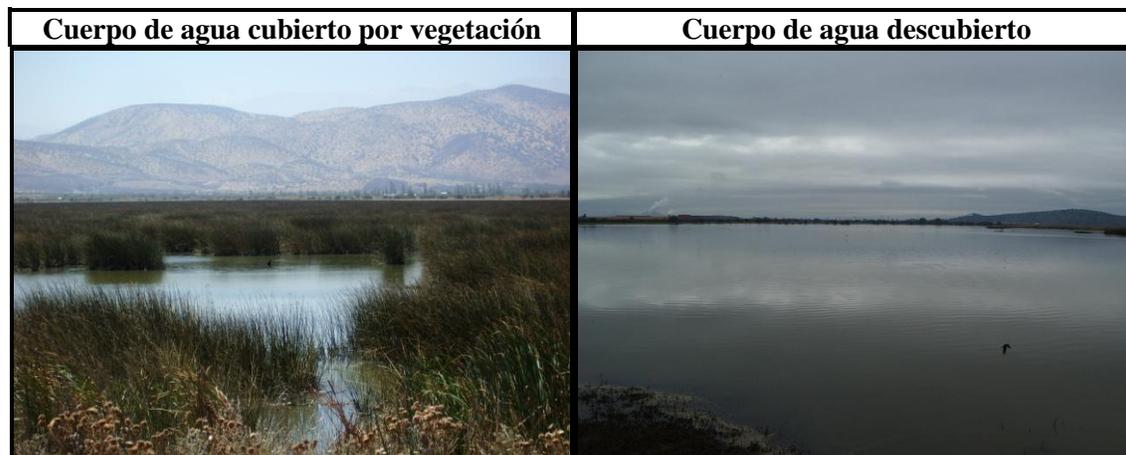
*Fuente:* Elaboración propia, 2010.

Para entender mejor la figura N°9 es necesario tener en cuenta que un píxel, de color azul claro en este caso, que se encuentra en los límites entre un área cubierta por agua y otra que no, representa una zona de transición entre ambas coberturas por lo que su intensidad de azul (entre más claro el píxel, menor porcentaje de agua dentro de él y entre más oscuro, mayor porcentaje) indicará si la superficie de dicho píxel esta mayoritariamente cubierta de agua o no. Por esta razón el límite del cuerpo de agua para todos los períodos trabajados se delimitó de una forma curva, dejando a un lado la forma recta que poseen los píxeles.

En los 4 períodos que corresponden al año hidrológico 2009-2010 se diferenciaron 2 tipos de coberturas de agua dentro de ésta: el cuerpo de agua descubierto y el cuerpo de agua cubierto por vegetación. Para realizar lo anterior, en primer término, fue necesario

establecer el área de cobertura vegetal, lo cual se logró gracias a la utilización de una serie de imágenes Quickbird con las cuales fue posible establecer una cobertura vegetal para los meses de invierno y verano. La figura N°10 muestra la diferencia de ambas coberturas dentro de la Laguna de Batuco.

**Figura N°10:** Diferencias entre cuerpo de agua descubierto y cubierto por vegetación.



**Fuente:** Archivo fotográfico I. Municipalidad de Lampa, 2009.

A propósito del párrafo anterior, la delimitación del cuerpo de agua en algunos períodos resultó ser bastante difícil debido a que los píxeles son en realidad promedios de lo que se encuentra en una determinada superficie y muchas veces éstos dejan a un lado algunas pequeñas coberturas que dentro de la zona que éstos cubren son insignificantes. Pero a la hora de aproximarse a la interpretación de dichas zonas estos espacios adquieren gran importancia.

En relación a lo anterior, la superficie del humedal en algunas áreas al estar cubierta principalmente por vegetación no considera los pequeños espacios con agua, perdiéndose en cierta forma la noción de dónde exactamente hay o no presencia de ésta, afectando de alguna manera la delimitación de la laguna. Esta situación resultó ser el mayor problema metodológico del presente trabajo.

Luego de tener identificadas estas 2 zonas se procedió a establecer el cuerpo de agua por sub-lagunas (ver figura N°26, página 99) para cada uno de los meses del intervalo 2009-2010 para tener un mayor detalle de la situación de este año hidrológico en particular.

Con cada uno de los límites establecidos se procedió a establecer las áreas de cada una de las superficies de la laguna, ya sean superficies parciales como la de las sub-lagunas del período 2009-2010 o superficies totales como la de los períodos que van de 1986 al año 2007. En ambos casos, el área se estableció utilizando el software Arc GIS 9, el cual mediante un simple algoritmo calcula automáticamente las áreas de todos los polígonos generados.

Para poder determinar la batimetría de la laguna a lo largo de toda su extensión, en el período de octubre 2009, se realizó una interpolación, que es un procedimiento matemático utilizado para predecir el valor de un atributo en una locación precisa a partir de valores del atributo obtenidos de puntos vecinos ubicados al interior de una misma región, en base a datos obtenidos en terreno por Mellado en septiembre de 2006. Dicha interpolación fue llevada a cabo gracias al programa Arc Gis 9, el cual permite escoger entre 3 tipos distintos.

El método de interpolación utilizado para determinar la batimetría de la laguna fue el denominado método Spline, puesto que éste es el más apropiado para variar con cuidado superficies como la elevación, alturas de superficie del agua o concentraciones de contaminación, entre otras.

El método Spline estima valores usando una función matemática que reduce al mínimo la curvatura superficial total, dando como resultado una superficie lisa que pasa exactamente a través de los puntos muestreados. Hay 2 tipos de métodos Spline, regularizado y tensión. El método regularizado fue el ocupado en esta oportunidad. Este método crea una superficie suave, de manera gradual cambiando la superficie con los valores que pueden estar fuera de la gama de datos de la muestra.

Para determinar el volumen de agua almacenado en el mes de octubre del año 2009 se realizó la siguiente operación:

$$V_T = A_T * h$$

Donde:

$V_T$ : es el volumen total de cada sub-laguna.

$A_T$ : es el área total de cada sub-laguna.

$h$  : es la profundidad promedio del cuerpo de agua en cada sub-laguna.

Adicionalmente, ya que el volumen de agua almacenado proviene tanto del almacenamiento de zonas cubiertas por vegetación como zonas de cuerpo de agua descubierto, se asume lo siguiente:

$$V_{\text{agua}} = \sum (V_T^{C/V} * f + V_T^{S/V})$$

Donde:

$V_{\text{agua}}$  : es el volumen de agua almacenada en la sub-laguna.

$V_T^{C/V}$  : es el volumen total comprendido en la zona con vegetación.

$V_T^{S/V}$  : es el volumen total comprendido en la zona sin vegetación.

$f$  : es el factor que establece el porcentaje de volumen que ocupa el agua en un sitio con vegetación. Para el caso de la Totorá (vegetación preponderante al interior de la laguna), asumiendo un diámetro de tallo de 2,5 cm, y una separación de 2 cm entre tallos, se obtiene que un 74% del volumen lo ocupa el agua, y un 26% la vegetación.

Finalmente, se sumaron todos los volúmenes de las 4 sub-lagunas y se estableció el volumen total de agua almacenada para el período de octubre de 2009.

Ahora bien, para delimitar las zonas de retroceso y aumento del humedal se compararon los períodos del año hidrológico 2009-2010 y los períodos entre 1986 y 2007 de 2 maneras diferentes. Por un lado se realizó una comparación de cada uno de los períodos del intervalo 1986-2007 con su par más indicado dentro de los 4 períodos del año hidrológico 2009-2010. Por ejemplo, agosto de 1990 - junio de 2009 o enero de 1993 - enero de 2010. Esta

comparación (directa) fue muy útil para observar las diferencias entre los distintos cuerpos de agua de la laguna durante los años de 1986-2007 frente al cuerpo de agua que posee la laguna en el período 2009-2010.

Para complementar lo anterior se realizó un segundo tipo de comparación (correlativa) que consistió en cotejar directamente períodos de superávit hídrico y déficit hídrico consecutivos. Por ejemplo, septiembre 2000 - septiembre 2004. De esta forma se pudieron establecer zonas de retroceso y aumento entre cada uno de los períodos trabajados.

Luego, se generó una serie de cartografías mediante la utilización del software Arc Gis 9 (ArcMap versión 9.2) para expresar gráficamente los resultados obtenidos. Todas estas cartografías a excepción de enero de 2010 fueron realizadas en base a la imagen de falso color 7- 4 -1, aunque todas las combinaciones mostradas en la tabla N°5 fueron utilizadas durante el trabajo. Esto se estableció, principalmente, por lo cercano a la realidad que son los colores de esta combinación de bandas (zonas cubiertas de agua en color azul y zonas húmedas en color verde). Cada una de estas cartografías representará un período distinto del humedal, con las cuales se puede tener una idea del comportamiento que éste ha presentado en los últimos 20 años.

Por último, para proyectar tendencias del comportamiento probable de la laguna en el futuro se analizaron los resultados obtenidos en cuanto a su superficie de agua, tanto en el año hidrológico 2009-2010 como en los períodos dentro del intervalo 1986-2007, mediante la utilización de diversos métodos estadísticos. La forma de organizar los datos en este caso fue utilizando, por un lado, las 17 áreas de la laguna establecidas (muestra total), y por otro las áreas de los períodos de déficit y superávit hídrico por separado (muestras parciales).

Los métodos estadísticos utilizados fueron el análisis de las medidas o valores de tendencia central, es decir la máxima, mínima, media, mediana y la moda. El uso de histogramas, en los cuales se agruparon los datos del área del cuerpo de agua en rangos de 50 hectáreas. Finalmente, se trabajó con la desviación estándar para conocer el grado de dispersión de los datos obtenidos con respecto a los valores promedios de cada una de las muestras.

## **VIII.- Resultados**

### **8.1.- Caracterización físico-natural del humedal Laguna de Batuco**

La caracterización físico-natural de la Laguna de Batuco consiste en entregar ciertas nociones básicas de los aspectos naturales más importantes del área de estudio, las cuales están dadas principalmente por el clima, la hidrología, sus características geológicas y geomorfológicas, el tipo de suelo y la flora y fauna. Todos estos rasgos configuran el tipo de humedal y paisaje que identifican a la Laguna de Batuco.

#### **8.1.1.- Clima**

Al clima de la zona Central de Chile se lo califica como de tipo mediterráneo, ya que las lluvias procedentes del frente polar activo se concentran en la estación fría (de mayo a septiembre), mientras que la estación cálida, que ocupa el resto del año, es de carácter seco. En relación con la caracterización bioclimática de Di Castri y Hajek (1976), se define a la Región Metropolitana como de clima de tipo mediterráneo, semiárido.

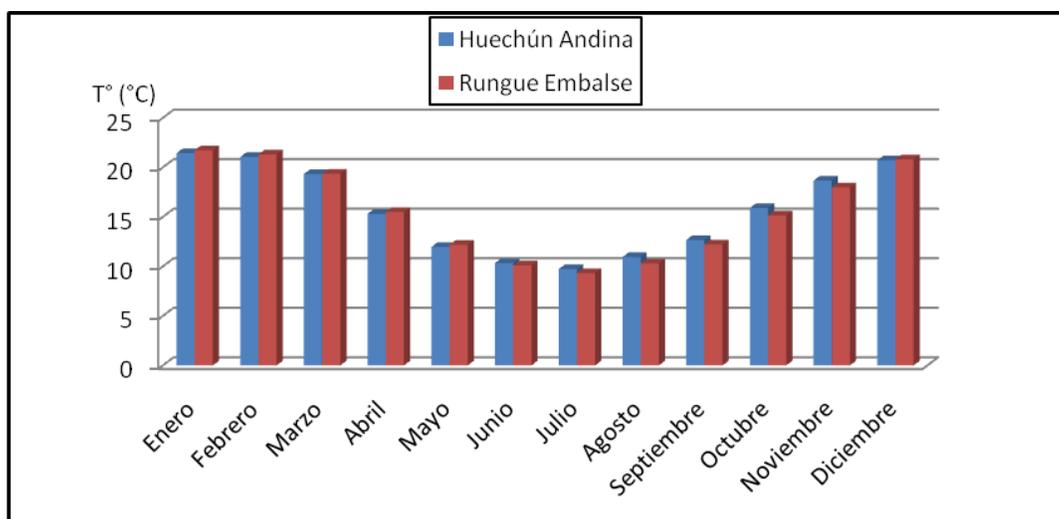
La comuna de Lampa se extiende aproximadamente entre los paralelos 33° 10' y 33° 25' de latitud sur, ocupando parte del sector noreste de la cuenca de Santiago. Por su parte, dicha cuenca ocupa una posición mediterránea acotada por los cordones montañosos que la rodean. Su ubicación geográfica explica un régimen hídrico particular, con veranos cálidos y secos e inviernos fríos y precipitaciones concentradas en 4 meses aproximadamente, lo que viene a reforzar la condición de semiaridez existente dentro de esta área de transición climática (Ferrando, 1999).

El sector de Batuco posee una temperatura máxima media en enero de 28°C y una temperatura media en Julio de 4°C; un período libre de heladas anuales de 230 días y 4 meses de receso vegetativo con temperaturas medias inferiores a 10°C (Del Campo, 2000). En relación con la pluviometría, existen datos de Santiago (312,5 mm), Pudahuel (261,6

mm), Tobalaba (347,2 mm), Colina (294,4 mm) y del embalse Rungue (364,3 mm) (Dirección Meteorológica de Chile).

Ahora bien, tomando en cuenta datos de temperatura de las estaciones Huechún Andina y Rungue Embalse (estaciones DGA) ubicadas al norte del área de estudio se tiene que la temperatura promedio a lo largo del año es de 15,6°C. Las temperaturas promedio más bajas se dan entre junio y agosto con valores entre 9 y 10°C, mientras que las temperaturas promedio más altas se dan entre los meses de diciembre y febrero con valores entre 20 y 21°C. El detalle de las temperaturas medias mensuales promedio de las estaciones antes mencionadas durante el período 1994-2005 se encuentra en la figura N°11.

**Figura N°11:** Temperaturas medias mensuales promedio 1994-2005.

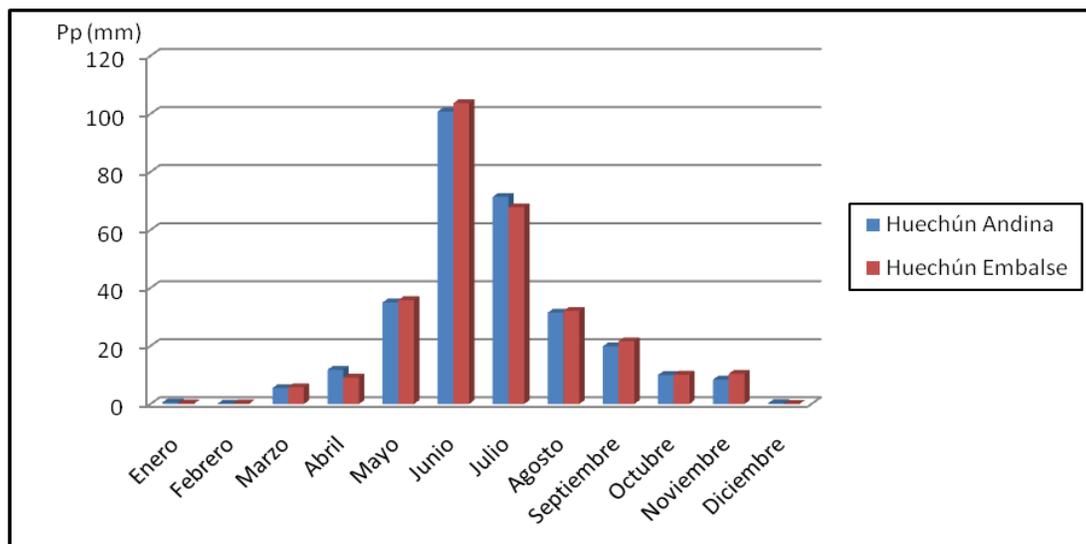


**Fuente:** Elaboración propia, 2009 en base a DGA, 2005.

En relación con datos de precipitación de las estaciones Huechún Andina y Huechún Embalse (estaciones DGA) se tiene que los meses en los cuales se concentra la precipitación son junio y julio con promedios de 100 mm y 65 mm, respectivamente. Los meses de menor precipitación corresponden al período estival, en los cuales las precipitaciones son prácticamente nulas. Las precipitaciones totales anuales de la estación Huechún Andina alcanzan los 295,21 mm mientras que las de la estación Huechún Embalse llegan hasta los 296,88 mm anuales. Según estas cifras en la Laguna de Batuco existen

precipitaciones medias anuales menores a 300 mm. La figura N°12 muestra la distribución mensual promedio de precipitaciones entre los años 2000 y 2006.

**Figura N°12:** Precipitaciones mensuales promedio 2000-2006.



**Fuente:** Elaboración propia, 2009 en base a DGA, 2006.

En la comuna de Lampa se suceden ciclos anuales extremadamente secos, seguidos de ciclos extremadamente lluviosos. Es durante estos últimos que se producen escurrimientos importantes y saturación de suelos que originan los fenómenos de inundación, que están muy ligados con el ascenso de las aguas en la Laguna de Batuco (Miranda y Dávila, 2005).

### 8.1.2.- Geología y geomorfología

El área de estudio se sitúa en una parte de la depresión intermedia caracterizada por el relleno de sedimentos fluviales provenientes de la red fluvial del estero Lampa. En general, en el entorno de la Laguna de Batuco predominan depósitos lacustres, aluviales y coluviales. Hacia los cerros predominan rocas volcánicas y sedimentarias de la formación Las Chilcas e intrusivos cretácicos (Wall *et al*, 1999).

La fosa de Batuco - Pudahuel se forma debido a movimientos tectónicos ocurridos durante el Cuaternario hasta el final del último período glacial (Wisconsin o Wurm) durante la transición Pleistoceno-Holoceno. Esta fosa no presenta ninguna colina producto del intenso

hundimiento del que fue objeto. La Laguna de Batuco se formó debido a que la velocidad de hundimiento fue mayor que la acumulación de manera que el escurrimiento se torna difícil, favoreciendo la formación de ciénagas y lagunas (Tricart y Michel, 1963).

Geomorfológicamente hablando, la cuenca de Batuco es una hoya semicerrada de muy baja pendiente. Ésta se manifiesta de forma suave hacia el sur y en dirección este-oeste. La fosa Batuco - Pudahuel es de carácter endorreico y es alimentada de materiales principalmente por las quebradas del sector oriente de la comuna de Lampa. Las principales unidades geomorfológicas que predominan en el entorno del humedal son depósitos asociados al abanico aluvial del estero Lampa por el costado noroeste y a los depósitos del estero Colina por el sureste.

En el área de la Laguna de Batuco el drenaje ha sido represado por la fase terminal del estero Colina, depositándose un volumen pequeño de materiales lacustres de muy baja permeabilidad. Esta situación se ha producido por deficiencia de sedimentación y represamiento de los conos de deyección circundantes (Castillo, Falcón, Valenzuela, 1970 en Mellado, 2008).

Dicho estero es el gran responsable del abanico aluvial que cubre el área de estudio. En este abanico, se pueden distinguir claramente 3 zonas: zona proximal, compuesta de gravas arenosas; zona intermedia, constituida de arenas; y zona distal, formada de limoarcillas. Siendo esta última la que rellena mayoritariamente la cuenca de Batuco.

En el caso del estero Lampa, sus depósitos están conformados principalmente por grava, arena con limo y arcilla en menor proporción, y los depósitos lacustres asociados a los segmentos terminales de estos abanicos.

Los principales depósitos que se encuentran en las inmediaciones de la Laguna de Batuco se describen a continuación (Mellado, *op cit.*):

- Depósitos aluviales (Qa)

Se trata de depósitos no consolidados, ubicados en zonas de llanura, comprendiendo depósitos provenientes de escurrimientos superficiales, intercalados con sedimentos gravitacionales, tales como flujo de barro y de detritos.

Su composición granulométrica comprende gravas, arenas, limos y arcillas, mientras que sus clastos mayores tienden a ser subangulosos a subredondeados.

- Depósitos coluviales (Qc)

Si bien ocupan una extensión bastante menor a la del resto de los depósitos, se les encuentra inmediatamente al oeste de los depósitos lacustres que dan forma a la Laguna de Batuco (a los pies del cerro Chape), además de estar presente en los faldeos de los cerros Altos de Polpaico y cerro El Manzano. Debido a su ubicación, estos depósitos tienen un origen gravitatorio, provenientes de flujos de remoción en masa. Por esta razón, su granulometría puede incluir desde bloques angulosos hasta arcillas.

- Depósitos de remoción en masa (Qrm)

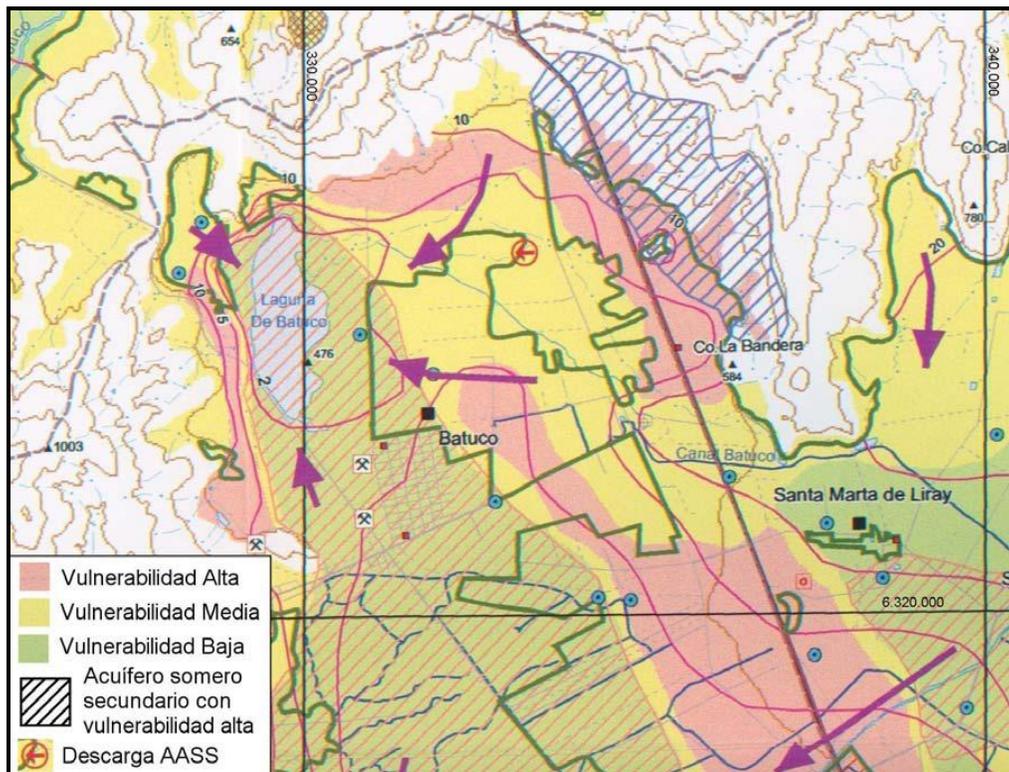
De edad similar a los depósitos coluviales, son los sedimentos de menor ocurrencia en el área de estudio. Corresponden a productos de movilización gravitacional (flujo de detritos), formados por bloques muy mal seleccionados. Su matriz granulométrica es heterogénea, albergando desde ripios hasta arcillas.

- Depósitos lacustres (QI)

Son aquellos sedimentos que rodean al cuerpo de agua Laguna de Batuco. Este tipo de depósitos son sedimentos de grano fino, no consolidados, y están formados por limos, arcillas y arenas limosas. Normalmente estos sedimentos se presentan finamente laminados o macizos y corresponden a depósitos formados en cuencas con circulación y drenaje de agua restringido.

Según la carta geológica de vulnerabilidad a la contaminación (figura N°13) de los acuíferos de la cuenca de Santiago (Iriarte, 2003 en Cox, 2007), en dicho sector predominan dos acuíferos, uno somero o secundario con alta vulnerabilidad y otro más profundo o principal de vulnerabilidad variable.

**Figura N°13:** Carta geológica ambiental de la cuenca de Batuco.



**Fuente:** Iriarte, 2003 en Cox, 2007.

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. Además, se debe evitar la utilización de canales de regadío con aguas servidas o con efluentes industriales.

### **8.1.3.- Hidrología e hidrogeología**

El nivel de terraplenamiento palustre de Batuco está inserto en lo que se ha llamado Fosa de Batuco, por ser éste un sector muy deprimido y prácticamente endorreico. Ello se traduce en ambientes lagunares, cuyos residuos han generado un área palustre muy planiforme y donde aún hay tendencia a la formación de lagunas someras siguiendo el ritmo de las precipitaciones. Como puede esperarse, la superficie está constituida por suelos sumamente hidromorfos, habiendo muchos restos de pantanos (Ferrando, 2005).

La Laguna de Batuco es de aguas someras y salinas (CONAMA, 1998 en Cortez, 2007) y de régimen temporal, secándose durante el verano. Esta recibía antiguamente los aportes de agua de los esteros Lampa y Colina (Falcón *et al*, 1970 en Del Campo *et al*, 2005). Hoy en día recibe aportes procedentes tanto del agua de lluvia como de las escorrentías superficiales de las laderas circundantes, además de los aportes hídricos superficiales directos del tranque San Rafael, ubicado unos pocos kilómetros al oriente de ésta. Las aguas de dicho tranque están contaminadas con desechos fecales humanos provenientes de la ciudad de Colina. Estos aportes hídricos llegan a los depósitos subterráneos por infiltración directa. El agua subterránea mantiene un nivel alto de saturación semi-permanente en el área, siendo el exceso descargado por evaporación directa desde la superficie y mediante absorción por la vegetación (Del Campo *et. al*, 2005).

La forma de la superficie freática es en general similar a la configuración topográfica de la superficie del terreno sin embargo, ambas superficies tienden a acercarse hacia el poniente de tal manera que en el área de estudio el nivel freático se encuentra muy superficial. En el área de la Laguna de Batuco, converge una parte del escurrimiento de agua subterránea que

proviene de Colina, la cual aflora y se evapora, manifestándose por un aumento de la salinidad.

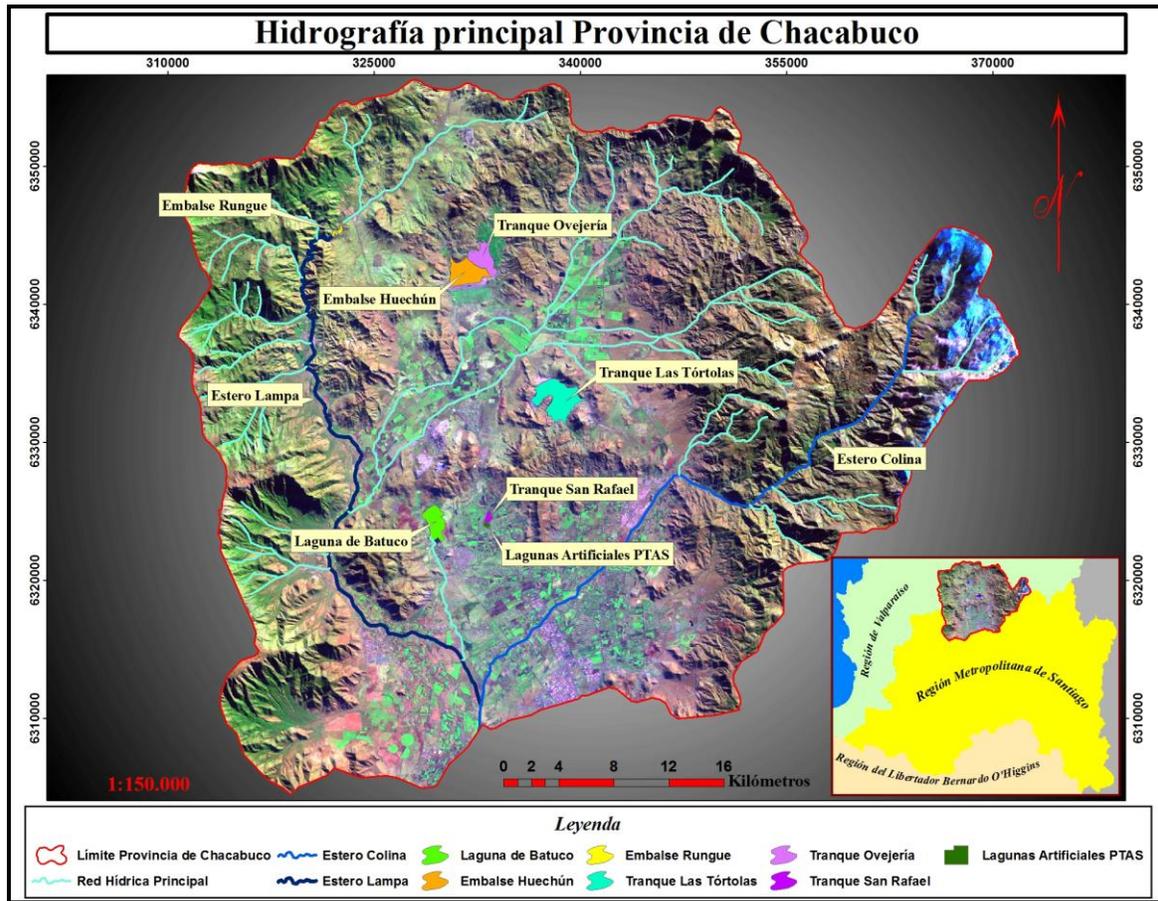
Los niveles de las aguas subterráneas en el acuífero libre son bastante someros, con valores medios de 1,5 a 2 metros de profundidad. Según Sotomayor (1964), en Mellado (2008), las profundidades de los niveles freáticos disminuyen de oriente a poniente, presentándose los niveles más someros a unos 15 metros al oeste de la Laguna de Batuco. A su vez, el agua subterránea mantiene un nivel alto de saturación en el área, aproximadamente constante.

El drenaje natural es prácticamente interior, pero se han realizado numerosos canales artificiales para drenar la laguna (Castillo y Falcón, 1961)

Los largos períodos de sequía y precipitaciones, muy por bajo el promedio en la Región Metropolitana en las últimas décadas, salvo ocasionales años "lluviosos", habrían conducido, además de la consecuente merma de caudales superficiales, a un descenso de la alimentación de las napas, por lo que el afloramiento de aguas subterráneas en los sectores deprimidos es cada vez menos frecuente (Ferrando, 2005).

Como se mencionó anteriormente, la Laguna de Batuco se encuentra inserta en la Provincia de Chacabuco (sector norte de la Región Metropolitana de Santiago), esta presenta, además de los cuerpos de agua del área de estudio, otros 4 acuíferos que, junto con los esteros Colina y Lampa que son los principales flujos superficiales, configuran la hidrología de la provincia. En este sentido, para completar los cuerpos de agua de la Provincia de Chacabuco es necesario sumarle a la Laguna de Batuco y al Tranque San Rafael los embalses Rungue y Huechún y los tranques Ovejería y Las Tórtolas, estos 2 últimos tranques de relaves mineros. La hidrografía principal de la Provincia de Chacabuco se presenta en la figura de la página siguiente.

Figura N°14: Hidrografía principal Provincia de Chacabuco.



Fuente: Elaboración propia, 2010.

En la actualidad, el Embalse Huechún contiene agua sólo en la temporada de lluvias, secándose completamente en primavera o a comienzos de verano, a diferencia del registro histórico que señala que permanecían pequeños cuerpos de agua durante el verano. Esta situación es de especial importancia, ya que dificulta en gran medida la reproducción y nidificación de gran parte de la avifauna migrante (Vargas, 2004).

Entre las causas del deterioro de este sitio, se indican como las más probables el uso indiscriminado del agua para riego agrícola y la interrupción de los flujos de aguas de escorrentía superficial y, principalmente, de escorrentía subsuperficial, por el tranque de relave Ovejera, situado, en un comienzo, a 2 km al norte del embalse Huechún, pero que en la actualidad se encuentran formando prácticamente tan sólo un gran cuerpo de agua.

Vargas (2004) indica que la desecación completa del Embalse Huechún comenzó a producirse en el año de habilitación del tranque de relave Ovejería. Es importante destacar que al sur de estos 2 cuerpos de agua se encuentra otra zona destinada a relave de cobre, el Tranque Las Tórtolas, propiedad de Minera Los Bronces (ex Disputada). Ambos tranques de relave plantean serias dudas sobre eventuales riesgos de contaminación de los suelos, aguas y, en definitiva, deterioro de la biodiversidad en las zonas aledañas a ellos.

Finalmente, en el límite noroeste de la Provincia de Chacabuco se encuentra el Embalse Rungue que se utiliza para riego agrícola. En el año 2004 residuos dispuestos en depósitos subterráneos de una planta recicladora de cobre ubicada al noroeste de Rungue que en la actualidad se encuentra cerrada, habrían rebosado, producto de la ocurrencia de un evento de elevada intensidad de las precipitaciones, situación que habría dado pie a la contaminación de las aguas del Embalse Rungue (Vargas, *op cit.*). Actualmente, el embalse se encuentra clausurado por estar contaminado con arsénico proveniente de relaves mineros cercanos.

Teniendo en cuenta el panorama de los cuerpos de agua de la Provincia de Chacabuco, es claro que la Laguna de Batuco adquiere en la actualidad una mayor importancia relativa en cuanto a fenómenos puntuales, como por ejemplo el circuito migratorio de la avifauna de la región y aspectos de carácter más general, como el soporte de la biodiversidad de la provincia.

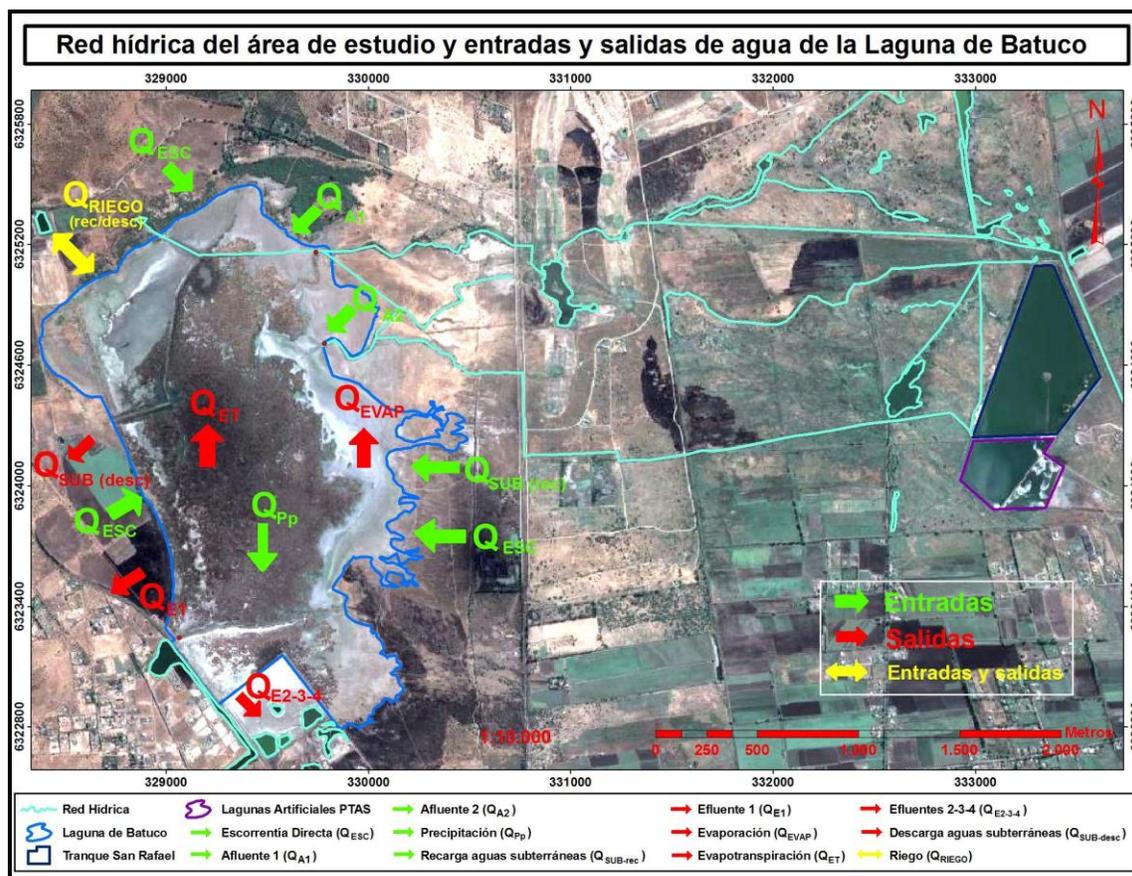
La red de drenaje principal, con incidencia directa en el área de estudio, está compuesta por el Estero Colina, Estero Lampa, Canal Batuco, la Laguna de Batuco y el tranque San Rafael. La descripción de cada uno de estos componentes se presenta en la tabla A-4 del anexo C. Además de dicha red de drenaje principal, existen otros canales menores y cursos naturales en la cuenca de Batuco. Estos cursos son alimentados principalmente por un canal proveniente de la cuenca del estero Colina, de aguas servidas tratadas por la planta de tratamiento de aguas servidas (PTAS) La Cadellada y de escurrimientos temporales que son producto de aguas lluvias. Estos flujos junto con las entradas y salidas de la laguna se pueden observar en la figura N°15.

En relación con las recargas de la Laguna de Batuco, se tiene que éstas se deben principalmente a los componentes del ciclo hidrológico, además de aportes artificiales producto de excesos de riego y el efluente de la PTAS La Cadellada. En cuanto a las descargas de la laguna, éstas son principalmente de carácter artificial, producidas por cambios en la cota del terreno y canalización de esta agua.

Es importante destacar que durante los meses de alta precipitación, la alimentación de la laguna proviene principalmente de esta fuente. Sin embargo, en los meses del año en los cuales no se produce esta situación, el mayor aporte de aguas a la laguna proviene de la descarga de la PTAS La Cadellada. Dadas las importantes cargas de nutrientes que aporta esta fuente, se constituye en uno de los afluentes más importantes dentro del funcionamiento actual de la laguna como humedal.

Las principales entradas de agua de la laguna corresponden a aportes puntuales superficiales (afluente 1 ( $Q_{A1}$ ) y afluente 2 ( $Q_{A2}$ )), aportes por precipitación ( $Q_{Pp}$ ) y escorrentía directa ( $Q_{ESC}$ ), y eventualmente aportes de aguas subterráneas ( $Q_{SUB (rec)}$ ). Además de esto, se tiene el aporte producido por el exceso de riego ( $Q_{RIEGO (rec)}$ ). En cuanto a las salidas de agua, éstas se producen principalmente por el efluente 1 ( $Q_{E1}$ ), efluentes 2,3 y 4 ( $Q_{E2-3-4}$ ), evaporación ( $Q_{EVAP}$ ), evapotranspiración ( $Q_{ET}$ ) y una posible descarga de aguas subterráneas ( $Q_{SUB (desc)}$ ). Finalmente, también se pierde agua por la utilización de ésta para riego ( $Q_{RIEGO (desc)}$ ).

**Figura N°15:** Esquema de entradas y salidas de la Laguna de Batuco y red hídrica.



*Fuente:* Elaboración propia, 2010.

La granulometría de los esteros Lampa y Colina determinan una diferencia importante en las interacciones río-acuífero que ambos establecen. Mientras los tamaños de sedimento del Estero Lampa son más bien pequeños, los del estero Colina son de mayor tamaño, lo que determina que este último sea fuente de recarga del acuífero. Por el contrario, en el caso del estero Lampa, sus aguas provienen en una magnitud importante desde la descarga de aguas subterráneas. Si bien la zona de estudio no interactúa directamente con los esteros Lampa y Colina, esta situación permite entender mejor las distintas interacciones entre aguas superficiales y subterráneas.

Continuando con el tema de las recargas de la laguna, se tiene que ésta presenta 2 afluentes principales (afluente 1 y 2), los cuales se encuentran en la parte norte de la laguna y recogen el agua proveniente de la escorrentía superficial, del efluente de la PTAS La

Cadellada y del exceso de riego. En relación con las entradas de caudal, la tabla N°6 permite apreciar que los meses de junio y julio muestran la mayor cantidad de ingreso a lo largo del año. El caudal del afluente 1 varía aproximadamente desde los 90 l/s a los 800 l/s, mientras que el caudal del afluente 2, en el mismo período de tiempo, no presenta curva de descarga para estimar caudal.

**Tabla N°6:** Caudales de los afluentes 1, 2, y del efluente de junio 2007 a septiembre 2008.

Fecha		Junio 2007	Septiembre 2007	Abril 2008	Mayo 2008	Junio 2008	Julio 2008	Septiembre 2008
Afluente 1	Nivel en punto medio (cm)	56,5	52,5	40	36	65	65	36
	Caudal Q(l/s)	480,03	361,25	130,57	90,25	830,85	830,85	90,25
Afluente 2	Nivel en punto medio (cm)	-	-	-	-	23	28	-
	Caudal Q(l/s) *	-	-	-	-	-	-	-
Efluente	Nivel en punto medio (cm)	9	44	25	22	53	55	45
	Caudal Q(l/s)	129,21	293,62	146,09	139,22	475,65	531,02	309,11

\*No presenta curva de descarga para estimar caudal.

**Fuente:** Elaboración propia, 2009 en base a datos de la I. Municipalidad de Lampa, 2009.

En relación a las salidas de caudal, el efluente de la laguna muestra un comportamiento, en general, similar con caudales que van desde los 130 l/s a 300 l/s aproximadamente, a excepción de los meses de junio y julio donde el caudal alcanza máximos de 475 l/s y 531 l/s, respectivamente.

Considerando la calidad de las aguas superficiales de la laguna, se tiene que el oxígeno disuelto (OD), el cual es indispensable para la vida acuática y depende de las condiciones ambientales, ya que su cantidad aumenta al disminuir la temperatura o aumentar la presión, presenta un promedio alrededor de los 4 mg/l.

La temperatura, que influye de forma muy significativa en las especies acuáticas determinando su metabolismo, productividad primaria, respiración y descomposición de materia orgánica, es muy dependiente dado el carácter somero de las aguas de la laguna de la temperatura del aire, y por lo tanto, varía considerablemente según la hora del día y estación del año. Los valores promedio de temperatura en la laguna están alrededor de los

20°C, lo que es una cifra relativamente alta, ya que a mayor temperatura disminuye la solubilidad del oxígeno, lo que afecta negativamente la calidad del agua.

En cuanto al pH, que afecta las reacciones fisiológicas de los organismos y se ve afectado de manera inversa por la temperatura, muestra un valor promedio que se encuentra alrededor de los 8,6, es decir ligeramente alcalino.

Por último, la conductividad eléctrica (EC), que es una expresión numérica de la capacidad de una solución para transportar una corriente eléctrica que depende de la presencia de iones, muestra valores muy distintos dentro de la Laguna de Batuco. Valores que van desde los 1,99 mS/cm en la laguna central a los 5,21 mS/cm de la laguna sur. La tabla N°7 muestra los valores promedio de OD, temperatura, pH y EC y para el período de junio de 2007 a junio de 2009.

**Tabla N°7:** Valores promedio de parámetros de calidad de agua período junio 2007 a junio 2009.

Parámetros de calidad de agua	Sub-lagunas que componen la Laguna de Batuco			
	Laguna norte	Laguna noroeste	Laguna central	Laguna sur
OD (mg/l)	3,41	4,43	4,12	2,69
T (°C)	17,87	18,82	19,8	17,7
pH	8,73	8,69	8,71	8,36
EC (mS/cm)	3,16	3,64	1,99	5,21

**Fuente:** Elaboración propia, 2009 en base a datos de la I. Municipalidad de Lampa, 2009.

Finalmente, se tiene que debido a la configuración de flujos de las aguas superficiales (escurrimiento preferentemente de este a oeste) y a las características del suelo y sustrato, la Laguna de Batuco sería una zona de descarga de aguas subterráneas donde el nivel freático se mantiene muy somero (Aguirre, 2005).

#### **8.1.4.- Suelos**

En los suelos de los humedales 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 (baja concentración de oxígeno disuelto) que se traducen en un ambiente reductor. Gracias a esta condición de saturación, los espacios de aire se llenan de agua dificultando el avance del oxígeno a través del suelo por lo que sólo una pequeña capa superficial se mantiene oxidada. Por lo tanto, estas dos capas componen un medio terrestre ideal para las transformaciones químicas tanto de oxidación como reducción.

Los suelos donde se ubica el humedal de la Laguna de Batuco son en su mayoría los denominados “Vertisoles”, los cuales tienen baja permeabilidad, textura arcillosa, alto contenido de sales y bajo de materia orgánica. Son muy ricos en arcillas expandibles, consecuencia de lo cual se agrietan fuertemente durante la estación seca la mayoría de los años. Además, poseen una alta densidad, una extrema plasticidad cuando están húmedos, agregados cuneiformes y otros caracteres estructurales que resultan de los desplazamientos (contracción y expansión interna).

El uso y manejo de estos Vertisoles está bastante condicionado por la riqueza y naturaleza de las arcillas y la consecuente baja permeabilidad cuando están húmedos. Sin embargo, las primeras lluvias después de los períodos de déficit hídrico llegan a infiltrar en el suelo a través de las grietas que se forman en los suelos secos.

Estos suelos corresponden a suelos aluviales muy evolucionados derivados de sedimentos aluviales del río Colina. En el horizonte superficial, poseen una textura pesada, haciéndose algo más liviana en profundidad. En todo el perfil hay una gran cantidad de sales solubles y carbonatos de calcio. Por otra parte, los suelos de la zona de Batuco poseen un pH de 7,2 a 9,5 (débilmente alcalino a alcalino) (Cortez, 2007).

La alcalinidad de estos suelos constituye una de las limitantes serias para un uso agrícola intensivo. La aptitud agrícola está restringida sólo para aquellos cultivos que presentan tolerancia a la salinidad. Son suelos con problemas de drenaje, debido a la presencia de estratos lentamente permeables y con niveles freáticos altos, ya sea en forma permanente o temporal. Tampoco presentan aptitud frutal, dada sus características negativas para este tipo de cultivos (Cortez, *op cit.*).

Las series de suelos que rodean la laguna son en su gran mayoría de familias finas, con un buen desarrollo de horizontes, con texturas arcillosas hasta los suelos francos. El suelo que rodea al humedal es, principalmente, de la serie Batuco (BTC), la cual presenta una textura típicamente arcillosa, con un alto grado de contracción y expansión y de un color oscuro, pero de bajo contenido en materia orgánica. Las características físicas y morfológicas del pedón de la serie Batuco están representadas en la tabla N°8.

Otras series de suelos que se encuentran dentro de la zona del humedal de la Laguna de Batuco son las de Lampa (LMP), Rungue (RNG), Urraca (URR), Chicolante (CLT) y Quilapilún (QLP).

La serie Lampa tiene suelos de origen aluvio-coluval, profundos en posición de plano ligeramente inclinado (piedmont) con pendientes dominantes de 1–2%. Los materiales estratificados presentan un horizonte Ap que es de color pardo muy oscuro en la superficie y pardo grisáceo muy oscuro en la profundidad, textura franco arenosa muy fina, estructura de bloques subangulares finos débiles, muy buen arraigamiento y porosidad. Desde los 30 o 35 cm se presenta un suelo enterrado, donde en los horizontes B2 se repite la secuencia ya establecida, el arraigamiento es sólo común. El horizonte B3 es de color pardo grisáceo oscuro, textura franco limosa o franco arcillo limosa; estructura de bloques subangulares medios moderados y de escaso arraigamiento. El horizonte II C1 se encuentra constituido por arenas graníticas, medias o gruesas, sin raíces. El horizonte III C2 por arenas finas, estratificadas, sin arraigamiento.

**Tabla N°8:** Perfil de suelo serie Batuco.

Horizontes	Características
2 – 0 cm.	Acumulación de restos orgánicos y raíces de espesor variable.
0 – 5 cm. A <sub>1</sub>	Vario, dominante pardo grisáceo en húmedo; franco arcillo limosa; muy plástico y muy adhesivo; extremadamente duro en seco, muy firme en húmedo; estructura laminar. Raíces finas abundantes; poros finos y medios comunes. Manchas de color negro pequeñas, abundantes; muy débil reacción al HCL <sup>10</sup> ; pH 7,9. Límite ondulado abrupto.
5 – 24 cm. C <sub>1</sub>	Pardo en seco, pardo oscuro en húmedo; arcillo limosa; extremadamente duro en seco, muy firme en húmedo; estructura prismática gruesa fuerte. Raíces finas y medias comunes, poros finos y medios comunes. Grava fina angular escasa. Reacción al HCL; pH 8,5. Límite ondulado claro.
24 – 51 cm. C <sub>2</sub>	Pardo a rojizo oscuro en seco, pardo a pardo rojizo oscuro en húmedo; arcillo limosa; muy plástico y muy adhesivo; muy firme en húmedo; estructura maciza. Raíces finas comunes; poros finos y medios comunes. Grava fina escasa; acumulación de carbonato en la mitad inferior de la estrata. Reacción al HCL 1/3; pH 9,2. Límite lineal difuso.
51 – 63 cm. C <sub>3</sub>	Pardo a pardo oscuro en húmedo; franco limosa a franco arcillo limosa; muy plástico y adhesivo; firme en húmedo; estructura de bloques subangulares medios y finos, débiles. Raíces finas y medias escasas; poros finos y medios abundantes. Grava sub-angular fina, común. Oxidaciones prominentes, medianas, comunes; manchas de carbonato de calcio comunes. Estrata que presenta características de fragipan <sup>11</sup> en su mitad inferior y fragmentos de duripan; pH 9,3. Límite ondulado, claro.
63 – 90 cm. C <sub>4</sub> Ca	Pardo en húmedo; arena media; no plástico y no adhesivo; blando en seco, muy friable en húmedo; estructura de grano simple; cementada por carbonato de calcio. Raíces finas escasas. Grava redondeada fina, abundante. Oxidaciones prominentes, abundantes. Concreciones de carbonato de calcio arriñonadas, hasta 3 cm., comunes. Límite lineal claro.
90 – 120 cm.	Pardo amarillento oscuro en húmedo; arenosa; no plástico y no adhesivo; blando en seco, muy friable en húmedo; estructura de grano simple. Raíces finas presentes; poros gruesos y medios muy abundantes. Oxidaciones abundantes. Concreciones de carbonato de calcio arriñonadas, hasta 3 cm.; pH 9,2. Límite lineal claro.
120 – 140 cm.	Pardo amarillento oscuro en húmedo; franco arcillo limosa; plástico y adhesivo; duro en seco, ligeramente firme en húmedo; estructura maciza. Grava fina escasa. Oxidaciones pequeñas, concreciones de carbonato de calcio de hasta 3 cm. de diámetro frecuentes.

**Fuente:** Elaboración propia, 2009 en base a descripciones de suelos, Proyecto Maipo, 1989.

<sup>10</sup> Acido clorhídrico.

<sup>11</sup> Es una alteración de las capas sub-superficiales del suelo que restringen el flujo del agua y penetración de las raíces.

La tabla N°9 muestra el resumen de las principales series de suelos dentro de la cuenca de Batuco, mientras que la figura N°16 entrega su distribución espacial.

**Tabla N°9:** Resumen series de suelo cuenca de Batuco.

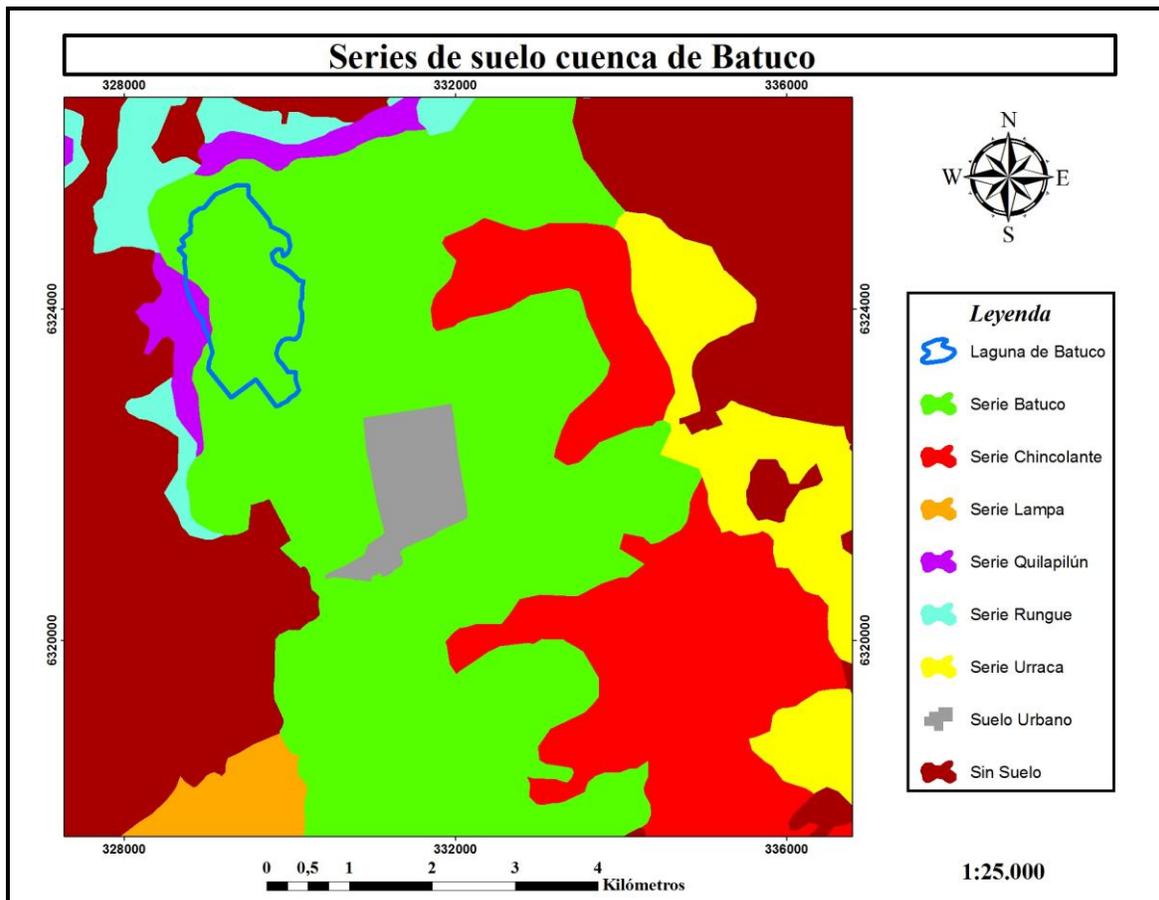
Serie de suelo	Nombre	Descripción	Drenaje interno	Permeabilidad	Nivel freático	Escorrimento superficial
LMP	Lampa	Franco arenoso de origen coluvial.	Bueno	Rápida	Sin información	Lento
CLT	Chincolante	Arcillo limoso sobre sustrato de carbonato de calcio de textura franco arcillosa, en plano de sedimentación lacustre.	Moderadamente bueno	De buena a lenta	Fluctuante entre 50 y 100 cm	Lento
QLP	Quilapilún	Franco con gravas escasas a comunes sobre sustrato de arenas, gravas y piedras bajo los 180 cm.	Bueno	Moderadamente rápida	Sin información	Lento
BTC	Batuco	Arcillo limoso a franco arcillo arenoso, con características vérticas en los primeros horizontes y alcalinidad alta.	Moderadamente bueno	Lenta a muy lenta	Sin información	Muy lento a moderado
RNG	Rungue	Arcilloso de origen aluvio-coluvial en posición de piedmont.	Bueno	Lenta	Sin información	Rápido
URR	Urraca	Franco arcillo limoso de origen lacustre.	Muy lento	Moderada	Fluctuante entre 70 y 100 cm	Muy lento

*Fuente:* Becerra *et al*, 2007.

Por su parte, los suelos de la serie Rungue se encuentran en una topografía plana a ligeramente inclinada (0 a 3% de pendiente) y poseen un origen aluvio-coluvial, siendo moderadamente profundos. Existen gravas angulares finas y fragmentos de gravas en todo el pedón, ellas son finas y fluctúan de escasas a comunes. No hay reacción al HCl, sólo se aprecian en sectores donde existen fragmentos de rocas calcáreas.

La serie Quilapilún también presenta suelos de origen aluvio-coluvial moderadamente profundos que se presentan en posición de plano inclinado (piedmont) y que descansan sobre un sustrato de arenas, gravas y piedras por debajo de los 180 cm. Este suelo es apto para todo cultivo bajo condiciones de riego.

**Figura N°16:** Cartografía series de suelo cuenca de Batuco.



**Fuente:** Elaboración propia, 2010 en base a CIREN-CORFO, 1996.

La serie de suelo Urraca presenta un suelo profundo de origen lacustre, en posición de cuenca, de color pardo oscuro y textura franco arcillo limosa en superficie y de color rojizo oscuro e igual textura en profundidad. Esta serie de suelo tiene aptitud agrícola, preferentemente hortícola y chacarera.

Por último, la serie de suelo CLT (Chincolante), serie que superficialmente puede confundirse con la serie Urraca, presenta buenas condiciones físicas para el movimiento del agua en sus primeros horizontes, además de tener una alta homogeneidad morfológica. Su textura varía de franco arcillo limosa a arcillosa. Al igual que la serie Urraca, ésta presenta una aptitud agrícola para plantaciones hortícolas y para las chacras.

El principal problema que presentan los suelos de este humedal es su drenaje para uso agrícola, lo cual a la vez puede generar deterioro del suelo por prácticas de plantación, siembra y riego inadecuados o por uso inadecuado de fertilizantes. Todo lo cual se ve reflejado en erosión y contaminación del suelo (Cerámicas Santiago, 2005).

#### **8.1.5.- Formaciones vegetales y flora**

El medio ambiente biótico es de vital importancia al momento de hacer estudios ambientales de algún lugar determinado. Como elemento fundamental de este medio, se encuentran las especies vegetales presentes en el lugar (flora) y la manera en que éstas se estructuran y asocian (vegetación). Su importancia radica en que son vitales para el establecimiento y desarrollo de otros organismos vivos, a la vez que son grandes indicadores biológicos del medio ambiente abiótico en el que se encuentran (Cortez, 2007).

En primer término, se tiene que el humedal de Batuco se encuentra en la gran Región del Matorral y del Bosque Esclerófilo. Esta región vegetacional se extiende a través de la zona central de Chile, cuya característica física dominante es la presencia de condiciones climáticas del tipo denominado mediterráneo, es decir, inviernos fríos y lluviosos con veranos cálidos y secos (Gajardo, 1994). En esta región predominan los arbustos altos de hojas esclerófilas, pero también se encuentran arbustos bajos xerófitos, arbustos espinosos, suculentas y árboles esclerófilos y, más restringidamente, laurifolios con gran desarrollo en altura.

Para Gajardo (1994), el predominio de una u otra forma de vida ha permitido la distinción de 3 sub-regiones: sub-región del matorral estepario, sub-región del matorral y del bosque espinoso y sub-región del bosque esclerófilo.

Según las 3 sub-regiones presentadas anteriormente, el humedal de Batuco caería dentro de la sub-región del matorral y del bosque espinoso, la cual se caracteriza por presentar como forma de vida dominante a los arbustos fuertemente espinosos, a menudo del tipo suculento y caducifolio de verano. Ésta también ha sido profundamente afectada por las actividades

humanas, tanto que las formaciones vegetales se presentan muy heterogéneas en su composición florística y en su estructura espacial. La delimitación de esta sub-región sigue en gran medida la distribución del espinoso (*Acacia caven*), del algarrobo (*Prosopis chilensis*) y de plantas suculentas como Bromeliaceae y Cactaceae (Gajardo, *op cit.*).

La riqueza florística de la Laguna de Batuco incluye 78 especies pertenecientes a 65 géneros y 28 familias. Dentro de las especies con mayor presencia están la Totorilla (*Typha angustifolia*) y el Batro o Totorilla (*Scirpus californicus*), las cuales son muy importantes para especies como el Coipo (*Myocastor coypus*), el Cisne de cuello negro (*Cygnus melancoryphus*) y para la fauna del lugar en general.

Ahondando más en la Laguna de Batuco y sus alrededores, se distinguen 7 asociaciones vegetales (Del Campo et. al, 2005):

- *Distichlis spicata* - *Frankenia salina*

Esta unidad está formada por 6 especies. *Frankenia salina* (Hierva del salitre) es la especie más abundante con un 31,64% de cobertura, seguida de *Distichlis spicata* (Gramma salada) con un 26,32%. Con respecto a la presencia, la especie con mayor frecuencia es *Distichlis spicata*, con un 100%, *Frankenia salina* la sigue, con un 81,82%. *Puccinellia glaucescens* está representada solamente en esta unidad.

- *Distichlis spicata*-*Hordeum murinum*

Esta unidad está formada por 8 especies. *Distichlis spicata* es la más abundante, con un 31,05%, seguida de *Frankenia salina* con 21,05%. Las especies con mayor presencia son *Distichlis spicata* y *Hordeum murinum* (Cebadilla), con un 100%, mientras que *Frankenia salina* las sigue, con un 73,68%. *Hordeum murinum* y *Medicago polymorpha* (Hualputra) presentan en esta unidad su mayor frecuencia. *Lilaea scilloides* se encuentra sólo en esta unidad.

- *Polypogon monspeliensis-Frankenia salina*

Esta unidad está formada por 10 especies. *Frankenia salina* es la más abundante, con un 26,67% de cobertura media, seguida de *Polypogon monspeliensis* (Rabo de zorro), con un 23%. Las especies con mayor frecuencia son *Polypogon monspeliensis*, *Eleocharis macrostachya* y *Cressa truxillensis*, con un 100%. *Cotula coronopifolia* (Botón de oro), planta predominantemente palustre, alcanza en esta unidad su máxima frecuencia.

- *Cressa truxillensis-Frankenia salina*

Está formada por 13 especies. *Frankenia salina* es la más abundante, con un 18,76% de cobertura media, seguida de *Cressa truxillensis* con un 11,49%. La especie con mayor presencia es *Cressa truxillensis*, con un 100%, mientras que *Frankenia salina* la sigue, con un 81,08%. *Erodium cicutarium* (Alfilerillo), *Juncus bufonius* y *Lythrum hyssopifolia*, si bien muestran bajas frecuencias, no se encuentran en otras unidades.

- *Chenopodium glaucum-Frankenia salina*

Está formada por 28 especies. *Frankenia salina* es la más abundante con un 33,8% de cobertura media, seguida por *Chenopodium glaucum* (Quinguilla) (12,8%) y *Phyla nodiflora*, con un 5,68%, que alcanza su mayor abundancia y frecuencia en esta unidad. La especie con mayor presencia es *Frankenia salina* con 85,6%, seguida por *Chenopodium glaucum* (56%), *Phyla nodiflora* (23,36%) y *Medicago polymorpha* (19,63%).

- *Typha angustifolia-Scirpus californicus*

Esta unidad está formada por 8 especies. *Typha angustifolia* (Totorá) es la más abundante con un 61% de cobertura media, seguida por *Scirpus californicus* (Batro o Totorilla) y *Frankenia salina* con un 10%. La especie con mayor presencia es *Typha angustifolia*, presentando un 100%, mientras que *Scirpus californicus* la sigue, con un 60%. *Typha*

*angustifolia* se encuentra de preferencia en esta unidad, donde alcanza los valores más altos de abundancia y frecuencia.

- *Scirpus californicus-Eleocharis macrostachya*

Esta unidad está conformada por 5 especies. *Scirpus californicus* es la más abundante, con un 44,11% de cobertura media, seguida por *Eleocharis macrostachya* con un 21,22%. Las especies con mayor presencia son *Eleocharis macrostachya*, *Chenopodium glaucum* y *Scirpus californicus* con un 100%. Si bien esta última está presente en otras unidades, es en ésta donde muestra la mayor abundancia y frecuencia.

Para complementar la información anterior, la tabla N°10 muestra el porcentaje de especies tanto autóctonas como alóctonas para cada una de las asociaciones vegetales.

**Tabla N°10:** Porcentaje de especies autóctonas y alóctonas de la Laguna de Batuco

Nombre de asociación vegetal	Cantidad de especies	% Especies autóctonas	% Especies alóctonas
<i>Distichlis spicata - Frankenia salina</i>	6	66,7% (4)	33,4% (2)
<i>Distichlis spicata-Hordeum murinum</i>	8	37,5% (3)	62,5% (5)
<i>Polypogon monspeliensis-Frankenia salina</i>	10	40% (4)	60% (6)
<i>Cressa truxillensis-Frankenia salina</i>	13	30,76% (4)	69,23% (9)
<i>Chenopodium glaucum-Frankenia salina</i>	28	35,72% (10)	64,28% (18)
<i>Typha angustifolia-Scirpus californicus</i>	8	62,5% (5)	37,5% (3)
<i>Scirpus californicus-Eleocharis macrostachya</i>	5	60% (3)	40% (2)

**Fuente:** Del Campo et. al, 2005.

En las 7 asociaciones descritas anteriormente, está presente la especie *Frankenia salina* (Hierva del salitre), la cual tiene la habilidad de liberar sal como forma de adaptación para subsistir en un medio salino, lo que denota un importante grado de halofitismo<sup>12</sup> en respuesta a las condiciones de salinidad del sustrato. Este carácter halófilo se puede detectar con facilidad en 5 de las 7 comunidades presentadas: *Distichlis-Frankenia*, *Distichlis-Hordeum*, *Polypogon-Frankenia*, *Cressa- Frankenia* y en un grado algo menor en *Frankenia-Chenopodium*. En este punto es importante destacar la salinidad que presenta el

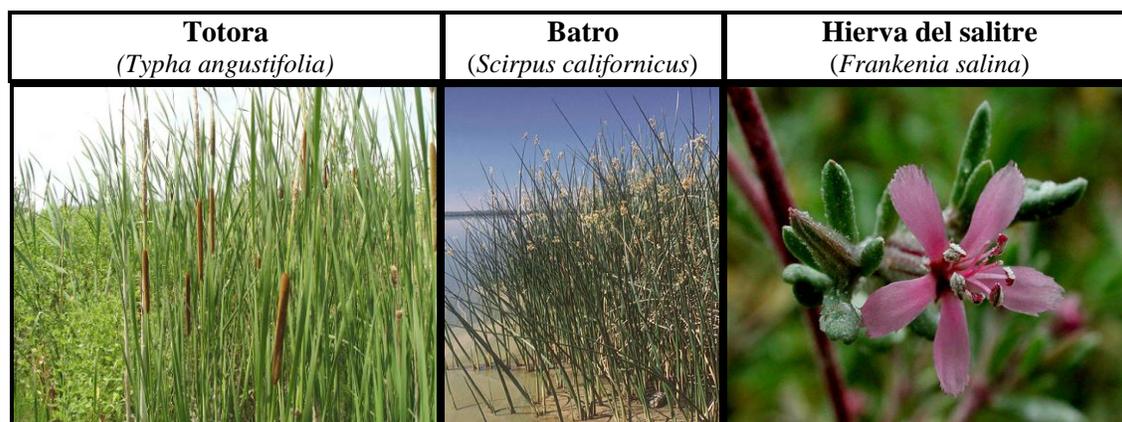
<sup>12</sup> Una halófito es un organismo que naturalmente crece en áreas afectadas por salinidad.

suelo de la Laguna de Batuco y sus alrededores, ya que esta condición, junto a la humedad del suelo, son los factores que más determinan la distribución de las comunidades dentro del humedal.

Finalmente, se tiene que las especies autóctonas son más frecuentes en las unidades situadas en los extremos de la gradiente de humedad edáfica en cambio, las alóctonas son más frecuentes en las unidades de los sectores intermedios. Es posible que ello se deba a una menor especialización de las alóctonas a condiciones edáficas extremas, lo que las hace tener un comportamiento más moderado en relación a la gradiente. A este respecto, existe además la posibilidad que las zonas intermedias sean las que presenten un mayor impacto antrópico por la agricultura y la ganadería que se practica en esos sectores (Del Campo et. al, 2005).

La figura N°17 muestra algunas de las especies vegetales más importantes que habitan en el humedal de la Laguna de Batuco.

**Figura N°17:** Fotos de algunas especies vegetales que habitan en la Laguna de Batuco.



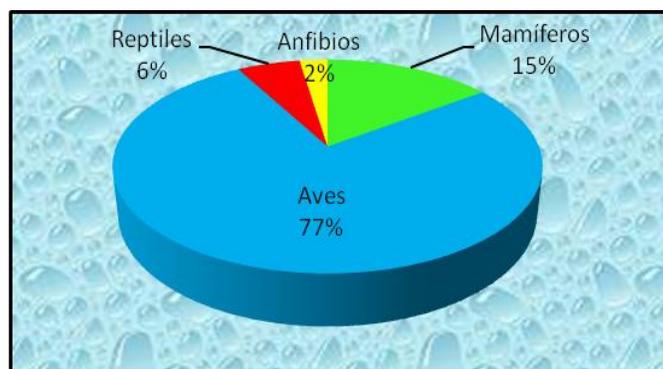
**Fuente:** Archivo fotográfico I. Municipalidad de Lampa, 2009.

### 8.1.6.- Fauna

En primer lugar, es importante señalar que del total de especies de vertebrados terrestres del país, 336 (48%) se encuentran en las regiones de Valparaíso y Metropolitana de Santiago. Entre éstas se cuentan el 57% de las aves de Chile, el 37% de los mamíferos, el 36% de los peces, el 28% de los reptiles y el 20% de los anfibios.

En el sector de la Laguna de Batuco se encuentra un total de 159 especies de vertebrados terrestres (figura N°18) en la zona libre de caza de Batuco<sup>13</sup>, de las cuales 4 son anfibios, 9 reptiles, 122 aves y 24 mamíferos (Acuña, 2005).

**Figura N°18:** Porcentaje de animales vertebrados terrestres en la Laguna de Batuco.



**Fuente:** Elaboración propia, 2009 en base a Acuña, 2005.

El detalle de cada una de las clases de vertebrados dentro del humedal se presenta a continuación (Acuña, 2005):

- Anfibios

3 de las especies de anfibios son endémicas (75%), éstas son el Sapo de rulo (*Bufo chilensis*), la Rana chilena (*Caudiverbera caudiverbera*), y el Sapito de 4 ojos (*Pleurodema thaul*).

<sup>13</sup> La Laguna de Batuco y sus alrededores es considerada como un área libre de caza, según el Decreto Exento N°23 de 1995.

- Reptiles

6 de los reptiles son endémicos (66,67%), éstos son la Culebra de cola larga (*Philodryas chamissonis*), la Culebra de cola corta (*Tachymenis chilensis*), Lagartija oscura (*Liolaemus fuscus*), Lagarto nítido (*Liolaemus nitidus*), Lagartija esbelta (*Liolaemus tenuis*), e Iguana Chilena (*Callopistes palluma*).

- Aves

De las aves, la Perdiz chilena (*Nothoprocta perdicaria*), la Tenca (*Mimus thenca*) y la Turca (*Pteroptochos megapodius*) son endémicas (2,4%). También se pueden encontrar aves como *Cygnus melancoryphus* (Cisne de cuello negro).

- Mamíferos

Entre los mamíferos presentes en el área de estudio, la Yaca (*Thylamys elegans*), el Cururo (*Spalacopus cyanus*) y el Degu (*Octodon degus*) son endémicos (12,5%). También es posible encontrar Coipo (*Myocastor coypus*), Ratón colilarga (*Oligoryzomys longicaudatus*), Ratoncito oliváceo (*Abrothrix olivaceus*) y Conejo europeo (*Oryctolagus cuniculus*).

Especies en peligro de extinción se tiene: Rana grande (*Caudiverbera caudiverbera*), Cisne coscoroba (*Coscoroba coscoroba*), Torcaza (*Columba araucana*), Colocolo (*Lynchailurus colocolo*), y Cururo (*Spalacopus cyanus*). En especies vulnerables se encuentran algunas como Sapo de rulo (*Bufo chilensis*), Sapito de 4 ojos (*Pleurodema thaul*), Culebra de cola larga (*Philodryas chamissonis*), Culebra de cola corta (*Tachymenis chilensis*), Cisne de cuello negro (*Cygnus melanocorypha*), Halcón peregrino (*Falco peregrinus*) y Coipo (*Myocastor coypus*).

Finalmente, se tiene a las especies que no están en peligro de extinción ni tampoco son vulnerables, pero que de igual forma están sujetas a cierto riesgo, grupo al cual pertenecen

especies como Garza cuca (*Ardea cocoi*), Pato rinconero (*Heteronetta atricapilla*) y Llaca (*Thylamys elegans*), entre otras.

Por su parte, la fauna acuática o ictiofauna<sup>14</sup> de Batuco se caracteriza por la presencia de 3 especies de peces, 2 introducidas, Carpa común (*Cyprinus carpio*) y Gambusia de 7 puntos (*Gambusia holbroki*) y una especie nativa, Pocha (*Cheirodon pisciculus*), siendo esta la más abundante al interior de la laguna (Becerra *et al*, 2007).

La figura que se presenta a continuación muestra algunas de las especies animales que se encuentran presentes en el humedal de la Laguna de Batuco.

**Figura N°19:** Fotos de algunas especies animales que habitan en la Laguna de Batuco.



**Fuente:** Becerra *et al*, 2007.

<sup>14</sup> Se llama ictiofauna al conjunto de especies de peces que existen en una determinada región biogeográfica.

## **8.2.- Factores antrópicos con incidencia en la Laguna de Batuco y sus alrededores**

Una de las características más importantes del área de estudio es, sin duda, su cercanía a la ciudad de Santiago (30 kilómetros aproximadamente), la cual condiciona fuertemente las actividades y el grado de intervención antrópica que ésta puede sufrir.

En las siguientes páginas se considerará a los principales actores y actividades que tienen un rol preponderante a la hora de afectar el nivel y las condiciones de la Laguna de Batuco y sus alrededores, pero no sin antes conocer algunos antecedentes básicos del área de estudio en cuestión. Finalmente, se considerarán las principales amenazas derivadas de la intervención antrópica, considerando las actividades y realidad local.

### **8.2.1.- Antecedentes sociales, económicos y demográficos**

La Laguna de Batuco se encuentra en la subcuenca de Batuco y administrativamente está ubicada dentro de la comuna de Lampa. Ésta posee una población de 40.228 habitantes (19.657 mujeres y 20.571 hombres) y acoge a un 0,66% de la población total de la región. Un 30,75% corresponde a población rural y 69,25% a población urbana (Datos Censales 2002). El índice de pobreza comunal según la encuesta CASEN realizada el año 2009 indica que el número de personas pobres no indigentes corresponden al 16,90%.

Las actividades económicas al interior de la comuna son mayoritariamente agrícolas, pero en los últimos años se ha impulsado un importante desarrollo industrial e inmobiliario, debido al crecimiento experimentado en la comuna vecina de Quilicura. El explosivo aumento de las parcelas de agrado ha provocado la pérdida de suelos productivos y muchos agricultores han tratado de integrarse al sector industrial (Espinosa *et al*, 2000 en Cortez, 2007). En Lampa se encuentran cerca de 140 industrias de varios tipos y tamaños.

La estructura del empleo ha venido experimentando un fuerte proceso de tercerización. En 1982, la mayoría de la población de Lampa trabajaba en el sector primario (56%), sólo el 10% trabajaba en el sector secundario, y un 34% en el sector terciario. Durante el proceso

de urbanización esto cambió y en 2002 sólo un 20% trabajaba en el sector primario, mientras que un 27% encontró empleo en el sector secundario, y en el sector terciario se encontraba trabajando la mayoría de la población (53%) (Unarte, 2006).

En términos de localidades urbanas, 6 son las concentraciones más importantes dentro de la comuna: Lampa, Batuco, Estación Colina, Sol de Septiembre, Valle Grande y Larapinta. Cerca del 70% de la población comunal reside en áreas urbanas 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.

Ahora bien, en relación a la localidad de Batuco, poblado más próximo al área de estudio, se tiene que nace junto con la instalación de la estación del ferrocarril que unía Santiago con Valparaíso. Al poco tiempo se convierte en un sector de relocalización de pobladores empobrecidos de la comuna de Lampa y de otros sectores de la región que, primero como allegados y luego mediante regularizaciones sucesivas, conformaron el poblado que actualmente existe. La morfología de éste es regular, su trama principal está constituida por manzanas rectangulares de estructura de damero de más o menos 100 metros por 140 metros (Miranda y Dávila, 2005).

La localidad de Batuco se caracteriza por ser un pueblo de escasos recursos, con un nivel educacional, en general, bajo. Con una población mayoritariamente adulta, debido a que las condiciones de vida no son las mejores los jóvenes optan por dirigirse a otro lugar en busca de mayores oportunidades.

En la misma línea de lo anterior, es importante destacar que la dotación de servicios en Batuco es escasa; sólo se cuenta con una posta rural, dos colegios de enseñanza básica, un retén de carabineros, una pequeña compañía de bomberos y comercio local a pequeña escala. La principal actividad económica del poblado está relacionada con la cerámica.

### **8.2.2.- Normativas legales actualmente vigentes**

En primer término, es importante destacar que en el marco de la incorporación de la Provincia de Chacabuco al Plan Regulador Metropolitano de Santiago (PRMS) en el año 1997, el Gobierno Regional declaró el espejo de agua también conocido como la “Laguna de Batuco”, más los sitios aledaños a éste, como una zona de preservación ecológica y, de esta manera, como Área de Valor Natural<sup>15</sup> y Área Restringida o Excluida al Desarrollo Urbano.

Entre las normativas vigentes actualmente en el área de estudio se tienen algunas de carácter indicativo y otras más específicas, como lo es un plan de acción. De estas normativas es posible inferir en parte el uso de suelo actual y planificado.

- Normativas vigentes actualmente

-Decreto Supremo N°23 Exento (Ministerio de Agricultura): Zona de Prohibición de Caza. En mayo de 1995, mediante decreto del Ministerio de Agricultura, se estableció una Zona de Prohibición de Caza que incluye una extensa área del humedal de Batuco.

- Regulaciones con carácter indicativo

-Resolución N°39 (Gobierno Regional Metropolitano): Zona de Preservación Ecológica. En Diciembre de 1997, el Gobierno Regional declara la “Laguna de Batuco”, más los sitios aledaños a ésta, como una zona de preservación ecológica.

-Oficio N°515 (DGA): Cuerpo de Agua Lacustre. En abril del año 2005, la Dirección General de Aguas (DGA) declaró que el accidente geográfico “Laguna de Batuco” corresponde a un cuerpo de agua lacustre.

---

<sup>15</sup> Un Área de Valor corresponde a las áreas de preservación, protección o rehabilitación ecológica. Incluye aquellas áreas que serán mantenidas en estado natural y aquellas tendientes a su recuperación, para asegurar y contribuir al equilibrio y calidad del medio ambiente, como asimismo preservar el patrimonio paisajístico.

-Resolución Exenta N°184 (CONAMA): Sitio prioritario para la Conservación de la Biodiversidad. En octubre del año 2005 fue aprobada la “Estrategia para la Conservación de la Diversidad Biológica de la Región Metropolitana” (ver anexo A), que establece 23 sitios prioritarios a nivel regional, los cuales poseen una gran importancia natural que amerita una protección y conservación efectiva. El humedal de Batuco se encuentra considerado en la estrategia como sitio prioritario N°6.

La figura N°20 muestra la señalización del Decreto Supremo N°23 Exento y de la Resolución Exenta N°184 que nombra al humedal de Batuco como sitio prioritario N°6 a nivel regional.

**Figura N°20:** Señalización Decreto Supremo N°23 Exento y Resolución Exenta N°184.



**Fuente:** Archivo fotografico I. Municipalidad de Lampa, 2009.

- Instrumentos de Gestión Ambiental

-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.

Este documento recoge las diferentes iniciativas que los servicios públicos con competencia ambiental (ver tabla A-3 en anexo B) están impulsando para la conservación de la biodiversidad en el sitio prioritario N°6 humedal de Batuco.

### **8.2.3.- Principales actores y actividades alrededor de la Laguna de Batuco**

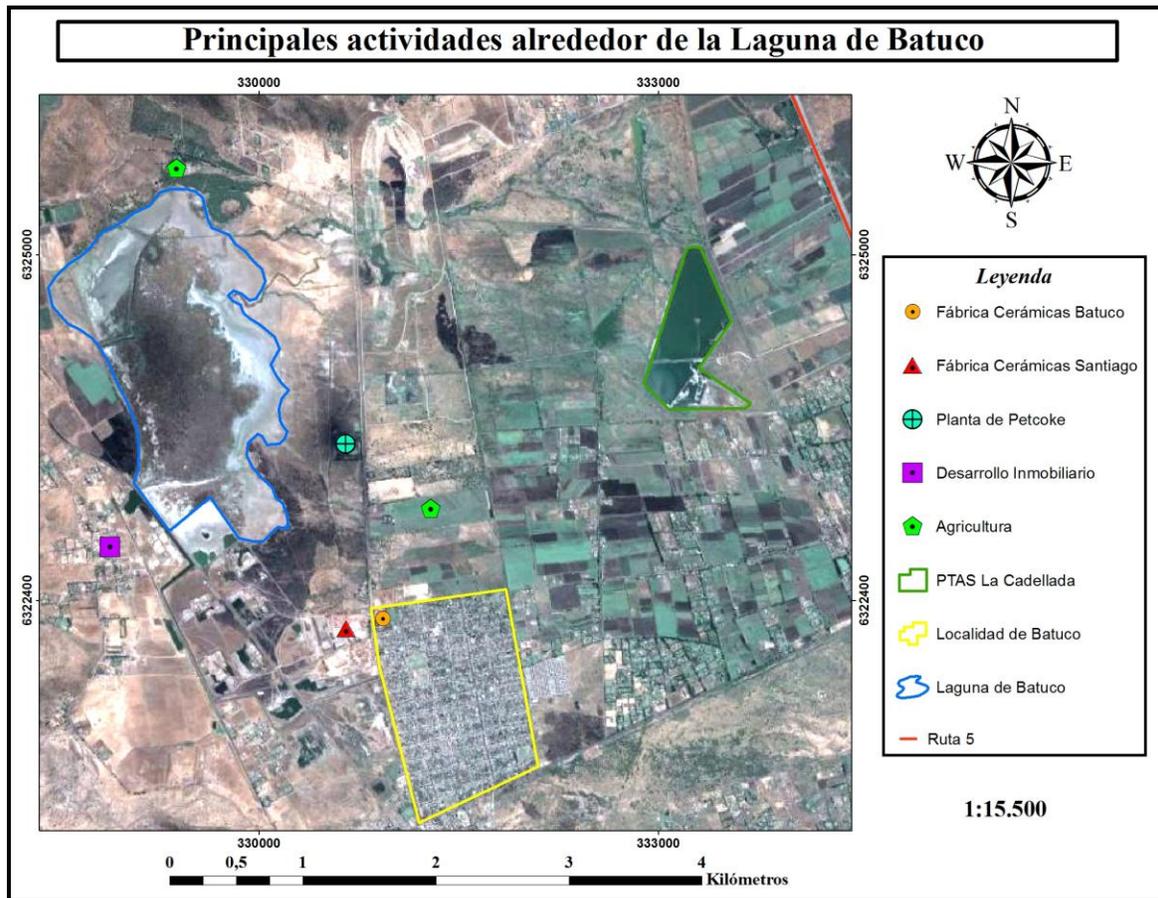
Alrededor de la Laguna de Batuco se realizan una serie de actividades que pueden afectar el nivel del humedal y, por lo tanto, modificar de cierta forma el ecosistema que depende en gran medida de lo que ocurra en él. Todas estas actividades que realiza el hombre generan un impacto en el humedal. La magnitud de éste es importante para determinar el grado de alteración antrópica que presenta un ecosistema dado.

Las principales actividades en la zona de la Laguna de Batuco (Figura N°21) son las siguientes:

- Planta de tratamiento de aguas servidas (PTAS) La Cadellada.
- Planta de almacenamiento de Petcoke.
- Fábrica Cerámicas Santiago S.A.
- Fábrica Cerámicas Batuco S.A.
- Desarrollo inmobiliario (sector sur de la laguna).
- Localidad de Batuco (actividades relacionadas).
- Agricultura.

Además de estas actividades, se tienen también otros factores que afectan al humedal de la Laguna de Batuco. Uno de estos factores es la forma de construcción vial que puede constituirse en una barrera artificial para especies de flora y fauna provocando la fragmentación de sus hábitats.

**Figura N°21:** Principales actividades alrededor de la Laguna de Batuco.



*Fuente:* Elaboración propia, 2010.

Por otra parte, se tienen ciertos usos agrícolas y ganaderos. El pastoreo y sobrepastoreo provocan en muchos casos erosión del suelo, asociada a compactación y destrucción de biomasa y un posible avance del proceso de desertificación, característico de la zona central del país. El pastoreo bovino alrededor del espejo de agua de la Laguna de Batuco produce una pérdida potencial de sitios de nidificación de avifauna y destrucción directa de nidos con huevos o crías en las praderas aledañas. También se reducen los hábitats disponibles para diferentes especies de aves, reptiles y micromamíferos (Unarte, 2006).

Es importante remarcar que la carga ganadera en el área de la laguna es baja y muy focalizada, por lo que el problema está enfocado a las prácticas de pastoreo, siendo el más utilizado el método tradicional de pastoreo extensivo. Desde el punto de vista de la

conservación de la diversidad biológica en estos sitios, este método es un riesgo importante en las laderas de los cerros en la zona poniente del área de estudio.

Por último, se tiene que algunas prácticas de agricultura tradicional se efectúan mediante uso de agroquímicos los que podrían acelerar la compactación y erosión del suelo, contaminando algunos cursos de agua y alteran la estructura del suelo.

La planta de tratamiento de aguas servidas La Cadellada pertenece a la empresa SERVICOMUNAL S.A. y suple las necesidades de la comuna de Colina y la localidad de Batuco. Dicha planta comenzó a operar el año 1985 por lo que este proyecto no entró al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (EIA).

La Cadellada se compone de un tratamiento preliminar estándar para sólidos gruesos, seguido de 3 lagunas en serie. Luego se tiene un estanque de regulación y almacenamiento, el cual fue agregado para soportar las posibles sobrecargas de caudal. Para finalizar el tratamiento, las aguas son cloradas y descargadas a un canal no revestido y de forma irregular, por lo que se producen pérdidas de agua a lo largo de todo su trayecto. El flujo procedente de dicho canal llega finalmente a la Laguna de Batuco, siendo uno de sus principales caudales afluentes, sobre todo en verano.

En el año 2005, la PTAS La Cadellada fue sindicada como la principal responsable del evento que provocó mortandad de fauna en la Laguna de Batuco y sus alrededores, principalmente en el curso del canal de descarga del efluente de la planta. La causa de estas muertes habría sido por una cepa de botulismo aviar<sup>16</sup>, la cual proliferó bajo ciertas condiciones muy particulares que se habrían ocasionado por problemas en el tratamiento de las aguas (Mellado, 2008).

En marzo del año 2007 se hace público el estudio (sujeto a EIA) para modificar el punto de descarga de la PTAS desde la Laguna de Batuco al Canal Lo Fontecilla. Dicha modificación es la solución que presenta la empresa frente a la exigencia de la autoridad

---

<sup>16</sup> El botulismo es una intoxicación aguda causada por una exotoxina, toxina secretada por un microbio.

competente para el cumplimiento del D.S. N° 90<sup>17</sup>, ya que la Laguna de Batuco presenta calidad de cuerpo lacustre. Una modificación de los procesos de tratamiento para cumplir con los parámetros fuera de norma, resulta demasiado costosa para la empresa (Mellado, *op cit.*).

Actualmente existe el proyecto para crear una nueva PTAS que se ubicaría al sur de la laguna, la cual trataría sólo las aguas de Batuco. Esta nueva planta vendría acompañada, además, del cierre de la PTAS La Cadellada por lo que dicha situación podría cambiar totalmente la fisionomía de la laguna en el futuro.

Con respecto al bodegaje de petcoke (perteneciente a industrias PROFAL S.A.), se tiene que ha presentado una variación de sus actividades en el tiempo, ya que antes de convertirse exclusivamente en un lugar de almacenamiento fue una industria de petcoke propiamente tal. En este sentido, el año 2003, y luego de haber cesado la producción de petcoke por un año y medio, la planta ubicada en Batuco comenzó a funcionar solamente como bodegaje de este hidrocarburo.

El petcoke es un sub-producto de la refinación del petróleo, que al mezclarse con carbón bituminoso, es utilizado como combustible. Uno de sus principales atractivos es el bajo costo que presenta en relación a otros combustibles menos contaminantes. Desde el punto de vista físico-químico, el petcoke es un sólido poroso de color negro o gris oscuro que contiene gran cantidad de azufre y metales pesados como el níquel y el vanadio. La figura N°22 muestra un charco de agua contaminada por petcoke cerca de los alrededores de la Laguna de Batuco.

La calidad y características de los productos actualmente trabajados en la bodega estarán directamente ligados a la calidad del yacimiento del que son originarios y a los procesos aplicados para la elaboración del carbón metalúrgico. Sin embargo, debido a los procesos

---

<sup>17</sup> Dicho D.S. establece la norma de emisión para la regulación de contaminantes asociados a las descargas de residuos líquidos a aguas marinas y continentales superficiales.

productivos que precedieron a los actuales, sería normal encontrar concentraciones de azufre significativas en el lugar (Mellado, *op cit.*).

**Figura N°22:** Charco de agua contaminada por petcoke.



**Fuente:** Cox, 2007.

La planta de Cerámicas Santiago funciona desde fines de 1981, dedicándose principalmente a la fabricación de productos cerámicos prensados al vacío (ladrillos, tejas, baldosines y enchapes). El proceso productivo incluye las etapas de obtención de las materias primas, maduración, pre-elaboración, depósito de materia prima procesada, elaboración, moldeado, secado, cocción y almacenamiento.

De las etapas anteriormente mencionadas, la que ha provocado un mayor impacto sobre el área de estudio es la extracción de materiales (arcilla), sobre todo la que se realiza desde el suelo contiguo por el sur de la Laguna de Batuco. Esta extracción sostenida en el tiempo ha dado origen a grandes socavaciones del terreno, de las cuales aflora la napa subterránea, siendo un posible punto de descarga artificial del acuífero, además de una nueva fuente de agua para evaporación (Mellado, *op cit.*).

Por su parte, la empresa Cerámicas Batuco, que se encuentra a un lado de la planta de Cerámicas Santiago, se dedica principalmente a la producción de cerámicas para pisos, aparentemente sin generación de residuos industriales líquidos (RILES).

De todas formas, según Mellado (2008), antecedentes del año 1999 señalan que la empresa tenía hornos de cocción, los cuales eran una importante fuente de contaminación del aire del sector. Actualmente se ignora si dicha situación continúa ocurriendo.

#### **8.2.4.- Amenazas derivadas de la intervención antrópica**

Universidad de Chile (2006) reconoce en base a CONAMA (2004) y Torres (2000) 3 grandes fuentes de amenazas (Universidad de Chile, 2007):

- Amenazas relacionadas con la alteración física del hábitat

Corresponde a la mayor amenaza a la diversidad biológica, expresándose en términos prácticos en la alteración del hábitat a través de 3 procesos:

-Conversión: cambio de uso de suelo de áreas naturales por terrenos agrícolas o áreas urbanas, usos industriales y pasivos ambientales.

-Fraccionamiento: reducción de áreas mínimas que requieren las especies para mantenerse y desarrollarse, y pérdida de conectividad entre ellas.

-Simplificación: reducción en la complejidad de los sistemas naturales y de las interacciones y flujos de energía y materiales que ocurren en ellos.

- Amenazas relacionadas con la contaminación

Son las que generan alteración de las características físicas, químicas o biológicas del medio ambiente y que son producidas artificialmente por el ser humano, constituyendo un impacto negativo a la diversidad biológica.

- Amenazas relacionadas con la administración y prácticas de manejo

La estrategia Regional para la Conservación de la Biodiversidad destaca que muchas de las amenazas a la biodiversidad de la región (y el país) obedecen al incipiente desarrollo de

políticas y normativas nacionales, regionales y locales, así como de incentivos para que privados implementen medidas para la conservación de la biodiversidad, lo que implica muchas veces intervenciones sesgadas en muchos temas que requieren una visión más integral y constante.

Ahora bien, en relación con las amenazas y las actividades que se realizan cerca de la Laguna de Batuco, existen una gran cantidad de ellas que ponen en riesgo la conservación de la biodiversidad y las condiciones naturales imperantes en el área.

- Expansión urbana y agrícola

En primer lugar, se tiene la expansión urbana y agrícola incontrolada que se puede generar en los alrededores de la laguna, debido principalmente al crecimiento demográfico sostenido que se ha producido en la periferia de la Región Metropolitana de Santiago como en las cercanías de la Laguna de Batuco. En muchos sectores del área de estudio, praderas y matorrales han sido sustituidos por suelos agrícolas y urbanos para poder satisfacer la demanda de la población.

Responsables de esta transformación son aspectos y procesos muy complejos que tienen rasgos demográficos, económicos, culturales y ecológicos. La dinámica general se articula en cifras que comprueban que todas las comunas del centro urbano, en el lapso de 1982-2002, perdieron población, mientras las comunas de la periferia, entre éstas Lampa, ganaron. En dicho proceso, la comuna de Lampa creció de 25.033 habitantes a 40.228, entre 1992 y 2002.

El principal fenómeno responsable de este proceso de “dispersión urbana” son las migraciones intraurbanas (por ende factores socio-culturales), lo que significa que el proceso continuará, aun cuando el crecimiento de la población en toda la Región Metropolitana se detuviera (Ortiz y Morales, 2002, en Unarte, 2006). Esto para la Laguna de Batuco y sus alrededores significa una presión urbana continua a través del tiempo.

Otro eje de crecimiento urbano con posible efecto en la conservación de la biodiversidad es la expansión propiamente tal de la localidad de Batuco, especialmente a través de la construcción de viviendas sociales (de bajo costo de construcción). En este sentido, en el año 2006 se construyeron 2 proyectos inmobiliarios que, en total, consistieron en 600 casas para cerca de 2.500 personas, la mayoría de estratos bajos de la sociedad, lo que aumentó la población de manera importante, tal como la densidad poblacional en la zona afectada.

En la actualidad no hay ningún proyecto inmobiliario importante en los alrededores de la laguna, considerando que todavía no existe la infraestructura adecuada para el manejo sanitario del incremento de la población. Tomando en cuenta lo anterior, se puede esperar con cualquier nuevo incremento poblacional el surgimiento de problemas ambientales que afectan negativamente a la biodiversidad. Eso no sólo a través de la alteración física del hábitat, sino también por la falta de alcantarillado y la contaminación con aguas servidas correspondientes.

Por último, se tienen las parcelas de agrado que se ubican principalmente alrededor de la localidad de Batuco y al lado poniente de la laguna. Aunque éstas son de baja densidad, de todas formas significan una fuerte perturbación antrópica del terreno rural con sus problemas ambientales e impactos correspondientes, como la potencial acumulación de basura y la falta de alcantarillado en zonas rurales.

- Drenaje de la laguna para fines inmobiliarios e industriales

Una segunda amenaza que puede afectar el nivel y las condiciones actuales del humedal es el drenaje de la laguna para fines inmobiliarios e industriales, actividad que se realiza actualmente al sur de la laguna.

Desde al menos 1998 existe mayor intervención en los sectores norponiente y nororiente de la laguna, mediante la construcción de pretilos, canales y la profundización del desagüe natural (Aguirre, 2005). En relación a lo anterior, existe una extensa red de canales alrededor de la laguna que resulta muy difícil de controlar. Aguirre (2005) destaca que

“empresas que usen arcilla como materia prima buscan drenar o disminuir la profundidad del agua subterránea para extraer materiales que sirven para la construcción de ladrillos y baldosas”. Además, otra razón para desaguar la laguna, destaca Aguirre, es la habilitación de nuevos sectores para el desarrollo inmobiliario. Si el proceso de drenaje continúa con la misma dinámica actual, se espera que en el futuro la laguna disminuya su cantidad de agua y, como consecuencia, disminuya el tamaño de hábitat para flora y fauna acuática.

En este contexto, se tiene que hace 10 años el espejo de agua y los terrenos de inundación relacionados con éste eran significativamente mayores que en la actualidad. Los impactos de cambios en la cantidad de agua, y en especial su disminución, son variados: alteración de comunidades vegetacionales, alteración de biotopos, posible deterioro de ecosistemas locales, etc.

- Extracción de material sólido

En tercer lugar, y relacionado con lo anterior, se tiene la extracción de material sólido de la laguna, principalmente para uso inmobiliario e industrial. Aguirre (2005) destaca el hecho que hay empresas y personas que extraen arcilla de la laguna, y menciona el caso de un particular que aumentó la superficie de la laguna con el objetivo de extraer material para elevar la superficie del terreno y, de esta forma, parcelar su propiedad.

De esta manera se dio lugar artificialmente a un “tranque de agua” que aumentó la superficie de evaporación del humedal, lo que puede causar el aumento en las pérdidas de agua y, además, alterar el sistema de flujo subterráneo. Si bien estos procesos son lentos, pueden tener consecuencias graves, desde estrés hídrico de la flora hasta, en caso extremo, la desaparición de plantas freatofitas<sup>18</sup> (Aguirre, *op cit.*).

La figura N°23 muestra una zona de extracción de material sólido al sur de la laguna.

---

<sup>18</sup> Son plantas que extienden sus raíces por debajo del nivel freático y extraen sus requerimientos de humedad directamente de la zona saturada.

- Residuos líquidos y sólidos

Una cuarta amenaza está dada por los residuos líquidos y sólidos que pueden ser vertidos en la zona del humedal de la Laguna de Batuco. Existen 2 formas de contaminación con residuos sólidos: la acumulación de escombros y la basura domiciliaria. La primera ocurre principalmente en predios abandonados, mientras que la segunda ocurre principalmente al borde de calles y caminos. Las causas para la alta presencia de basurales clandestinos e ilegales están relacionadas con el hecho que no toda la comuna de Lampa cuenta con un sistema de recolección de basura, sino que sólo el área urbana. La situación anterior queda representada en la figura N°24 que muestra los problemas de residuos sólidos (basura domiciliaria) en el área de estudio.

Los efectos peligrosos para la conservación de la biodiversidad consisten en la contaminación del agua superficial que alimenta la laguna. En contacto con los basurales, el agua podría cargarse con elementos tóxicos, y de esta manera contaminar la laguna u otros componentes del sistema hídrico.

***Figura N°23:*** Zona de extracción de material sólido.



***Fuente:*** Archivo fotografico I. Municipalidad de Lampa, 2009.

Con respecto a los residuos líquidos, estos pueden ser aguas servidas (AS) o residuos industriales (RILES), los cuales tienen especial importancia debido a que pueden contaminar las aguas superficiales y subterráneas.

La Municipalidad de Lampa destaca que sus 40.000 habitantes generan aprox. 6.000 m<sup>3</sup> de aguas servidas al día, y que casi la totalidad de estas aguas servidas se infiltran en el terreno, ya que la comuna dispone de una insuficiente red de alcantarillado (Unarte, 2006).

Al este de la Laguna de Batuco se tiene la planta de tratamiento de aguas servida La Cadellada, la que es de tecnología más bien antigua y es demasiado pequeña para la cantidad de agua que hay que tratar (Unarte, *op cit.*). Por otro lado, es importante recordar que la planta alimenta la laguna con un flujo de agua continuo y constante. Sin esta carga de agua la laguna no podría mantener el tamaño que tiene, especialmente en períodos secos del año es decir, disminuiría la cantidad de agua con posibles efectos negativos sobre la biodiversidad. En este sentido, mientras la calidad de agua de la laguna, en ciertas ocasiones, se ve amenazada por la planta de tratamiento, la cantidad de agua depende de ésta misma (Unarte, *op cit.*).

También es necesario referirse a las otras industrias que se encuentran en los alrededores de la laguna y pueden convertirse en un posible foco de contaminación. Éstas son las ya mencionadas empresas de cerámicas (Cerámicas Santiago y Cerámicas Batuco) y la planta de almacenamiento de petcoke.

**Figura N°24:** Problemas de residuos sólidos en el área de estudio.



**Fuente:** Archivo fotográfico I. Municipalidad de Lampa, 2009.

- Problemas asociados a la aplicación de instrumentos de planificación ambiental

Una quinta amenaza viene dada por los problemas asociados a la aplicación de instrumentos de planificación territorial y ambiental, especialmente con el Plan Regulador Metropolitano de Santiago (PRMS), el cual es catalogado por el presidente de la agrupación vecinal el Totoral como “uno de los grandes problemas de la laguna” (Unarte, *op cit.*).

En concreto, el PRMS aumenta la densidad de la zona del humedal de Batuco a través de la delimitación de varias zonas como Área Urbanizable Prioritaria y Zonas de Desarrollo Urbano Condicionado. Más allá del simple aumento de la densidad en el territorio, este proceso se encuentra criticado por no estar acompañado por el desarrollo de infraestructura apta para el manejo sanitario, es decir, un sistema de alcantarillado.

Por su parte, el Plan Regulador Intercomunal que norma el desarrollo urbano de las 3 comunas que componen la provincia de Chacabuco (Lampa, Til-Til y Colina), no pudo modificar la situación de estas comunas en relación con la subdivisión de parcelas de agrado, muchas de las cuales actualmente se encuentran descuidadas y están siendo utilizadas como vertederos, especialmente al lado este de la Laguna de Batuco, lo que

debido a la dirección del flujo superficial del agua trae consigo la amenaza de contaminación.

Por último, está la limitación que los Planes Reguladores Comunales se remiten exclusivamente a zonas urbanas, dejando de lado todas las áreas rurales de la comuna, lo que impide el manejo adecuado del territorio en su conjunto. Junto con este problema estructural, se tiene que el Plan Regulador Comunal de Lampa, que fue elaborado a partir del año 2000, fue rechazado en el año 2006, lo que significa que la comuna no cuenta con ningún instrumento de ordenamiento o planificación territorial a nivel local. El año 2009 se comenzó a trabajar en un nuevo Plan Regulador Comunal.

- Escaso control y fiscalización al interior de los predios privados

Esta situación dificulta la realización de gran cantidad de actividades preventivas, además de entorpecer la modificación de conductas que pudieran estar afectando negativamente el lugar. En este sentido, todo el borde de la Laguna de Batuco pertenece a Agrícola e Inversiones La Laguna de Batuco S.A., que tiene la merced de agua subterránea de ejercicio permanente y continua. Esto es bastante relevante, puesto que es un ejemplo de una zona de alto interés de conservación en manos exclusivamente privadas, con todo lo que esto conlleva. Sin hacer referencia a este caso específico, CONAMA RM destaca que la presencia de predios privados hace difícil la realización de proyectos y programas, debido a que siempre dependen de la buena voluntad de los propietarios, especialmente de los que tienen grandes terrenos (Unarte, *op cit.*).

- Falta de educación ambiental y conciencia del verdadero valor de la biodiversidad

Muchas de las situaciones que ocurren dentro del área de estudio se relacionan directamente con una baja valoración de la biodiversidad en el sitio. Entre otros factores, la falta de conocimiento se relaciona con la ausencia, en general, de materias ambientales en los medios de comunicación masiva, el difícil acceso a la información para gran parte de la población y la débil incorporación de la temática en los planes de educación. La quema de

distintos materiales y de la vegetación (figura N°25) son un ejemplo concreto de lo expresado en este párrafo.

De todas maneras se debe tener en cuenta que ciertas quemas de vegetación (desechos agrícolas) son actualmente permitidas bajo ciertos parámetros que establecen SAG (Servicio Agrícola y Ganadero) y CONAF (Corporación Nacional Forestal), y se realizan sólo en algunas fechas establecidas.

**Figura N°25:** Quema de materiales y evidencia de quema de vegetación en el área de estudio.



*Fuente:* Unarte, 2006.

Finalmente, se tienen situaciones de menor escala, pero igualmente importantes para la conservación de la biodiversidad en el área de estudio como la caza ilegal, que aunque se practica su intensidad ha bajado considerablemente desde que se estableció una Zona de Prohibición de Caza.

También existe una cantidad importante de perros vagos o ferales en la zona, los cuales son un peligro para la fauna que habita en los sectores aledaños de la Laguna de Batuco. Por último, se tiene la actividad de corte de Totorá, que se produce al interior de la zona de la laguna y la pesca, pero ambas actividades en un grado muy pequeño.

### **8.3.- Características físicas y comportamiento de la Laguna de Batuco**

#### **8.3.1.- Generalidades y subdivisiones de la laguna**

El humedal de la Laguna de Batuco es un cuerpo de agua lacustre que presenta una muy baja profundidad (45 cm promedio) a lo largo de toda su extensión, en el que se encuentran tanto zonas de aguas estancadas como zonas de aguas corrientes. Su área total, según fotointerpretación, es de aproximadamente 287 hectáreas (2,87 km<sup>2</sup>), de las cuales 148 hectáreas (1,48 km<sup>2</sup>) corresponden a zonas ocupadas regularmente por el espejo de agua descubierto, representando un 51,5% del total de la laguna, mientras que las 139 hectáreas (1,39 km<sup>2</sup>) restantes, son ocupadas por la vegetación (Totora en su mayoría) que representan un 48,5% del total.

Como se vio en el párrafo anterior, la vegetación cubre una porción importante de la Laguna de Batuco, situándose principalmente en su sector oeste y siendo una limitante para el paso del agua. De hecho, los suelos del totoral suelen estar saturados o cubiertos por una altura de agua considerable. Por estas limitantes y por la topografía del área es que los aumentos en extensión del espejo de agua se producen preferentemente hacia el este y hacia el norte de la laguna (Cox, 2007).

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. Ésto ha provocado un descenso en el nivel de la laguna. Una alteración importante ocurrió en un loteo ubicado en el sector de Lo Fontecilla, al sur poniente de la laguna, donde en 1998 se alteró el desagüe natural de la laguna mediante la ejecución de diversas obras, entre las cuales se cuenta la construcción de un canal de drenaje y un tranque artificial (único efluente de la laguna). Este hecho disminuyó significativamente el área de inundación de la laguna, como también su superficie de agua (Cox, *op cit.*).

La Laguna de Batuco está dividida en 4 sub-lagunas plenamente identificables (figura N°26), las cuales se encuentran separadas por 4 pretiles de tierra, los que fueron

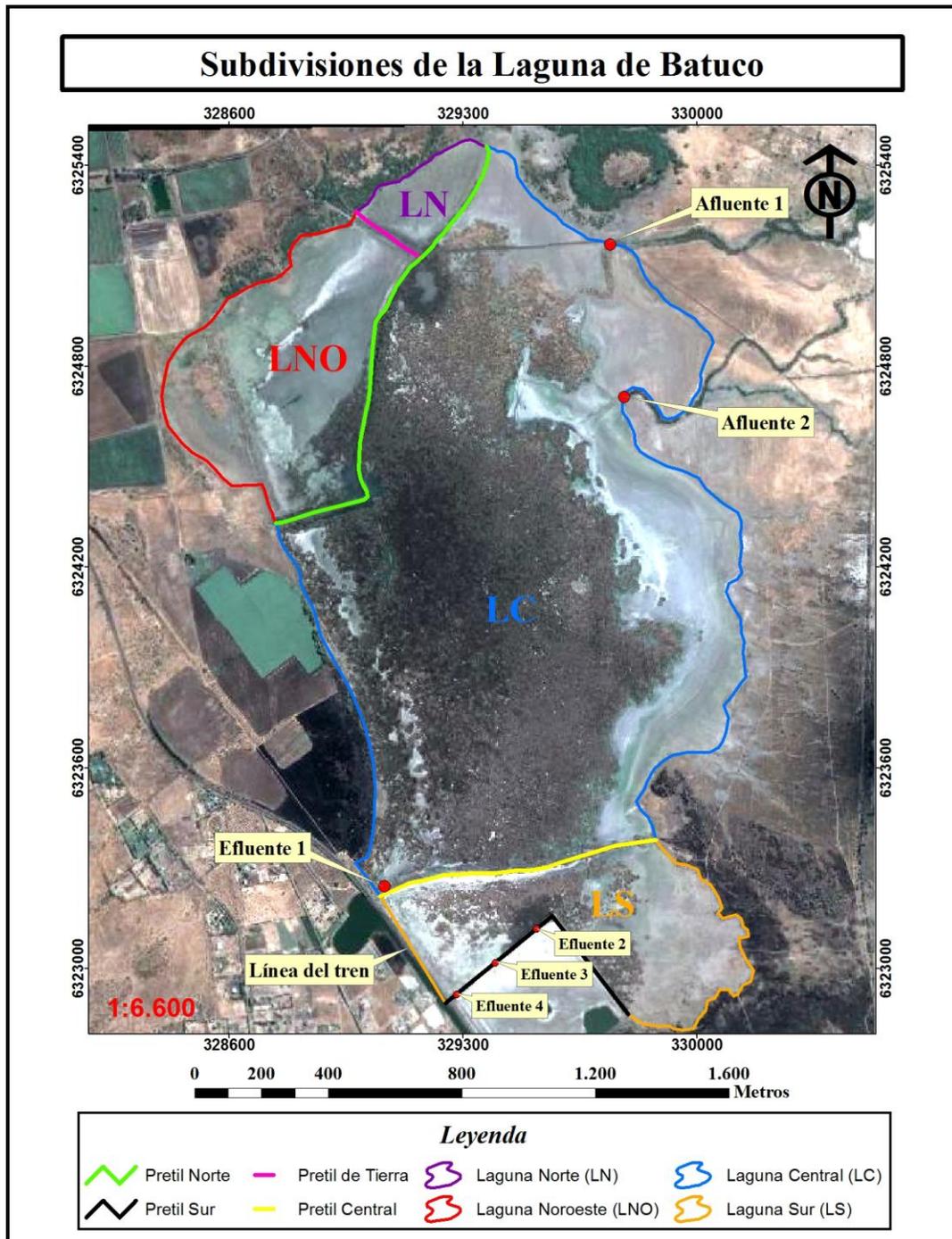
construidos con el objeto de limitar el espejo de agua y así utilizar esta área para la agricultura y el desarrollo inmobiliario e industrial. Según Sotomayor en Cox, 2007, ya en el año 1962 se había construido el pretil norte. Además de estos pretiles, se tiene la línea del tren que acota la laguna por el sur poniente. Las 4 sub-lagunas que forman la Laguna de Batuco son las siguientes:

- Laguna norte (LN)
- Laguna noroeste (LNO)
- Laguna central (LC)
- Laguna sur (LS)

La laguna norte es la única que no presenta conexión hidráulica superficial con las restantes sub-lagunas. La laguna noroeste aunque originalmente tampoco tenía conexión con la laguna central con el paso del tiempo el pretil norte se ha ido deteriorando, permitiendo el paso de agua superficial entre ambas sub-lagunas, situación que es especialmente importante en la parte sur del pretil norte. Por su parte, las sub-lagunas central y sur se conectan superficialmente mediante 3 zanjas observadas al este del pretil central. A su vez, el pretil sur ha sido alterado por la empresa Cerámicas Santiago con el fin de aprovechar el agua disponible en la laguna sur.

Es importante destacar que todos los pretiles de la laguna son más bien antiguos, por lo que en gran parte de su extensión presentan forados que, en mayor o menor medida, permiten el paso de agua de una sub-laguna a otra.

Figura N°26: Subdivisiones de la Laguna de Batuco.



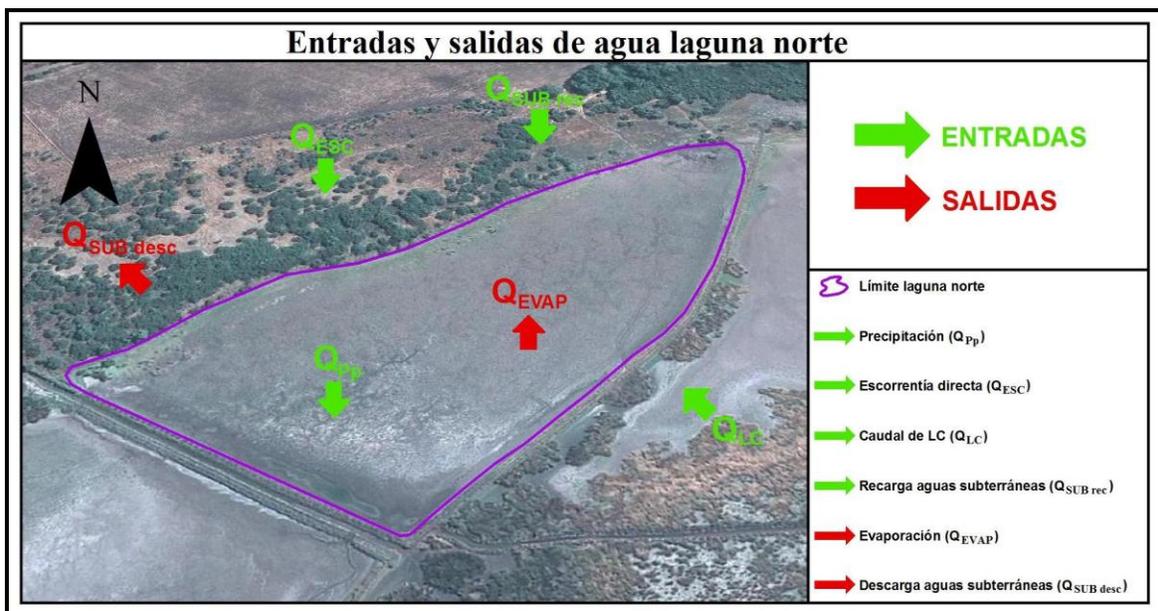
Fuente: Elaboración propia, 2010.

### 8.3.1.1.- Laguna norte

La laguna norte corresponde a la sub-laguna más pequeña, su extensión es de 6 hectáreas y representa el 2,1% del total de la laguna. Además, es la única de las 4 sub-lagunas que no presenta vegetación macrófita en su interior. El borde oriental de esta sub-laguna se encuentra libre para posibles aportes superficiales puntuales de agua. Sin embargo, no se aprecian dichos aportes. El borde occidental está acotado por un pretil de tierra perpendicular al pretil norte, que la separa de la laguna noroeste. Por el norte, la LN colinda con algunos cultivos vegetales del Fundo La Laguna, mientras que por el sur se encuentra acotada por el pretil norte que la separa de la laguna central.

Con respecto a las entradas y salidas de esta sub-laguna (figura N°27), se tiene que las principales entradas de caudal corresponden a precipitación ( $Q_{pp}$ ), escorrentía directa ( $Q_{ESC}$ ), aportes por rebalse desde la laguna central ( $Q_{LC}$ ) y posibles flujos subterráneos ( $Q_{SUB-rec}$ ). A su vez, sus principales salidas corresponden a evaporación desde el espejo de agua ( $Q_{EVAP}$ ) y posibles pérdidas por flujos subterráneos ( $Q_{SUB-desc}$ ).

**Figura N°27:** Entradas y salidas de agua de la laguna norte.



*Fuente:* Elaboración propia, 2010.

### **8.3.1.2.- Laguna noroeste**

Esta laguna representa la segunda mayor superficie de las 4 sub-lagunas que componen la gran laguna de Batuco con una extensión de 40 hectáreas (13,9% del total de la laguna), siendo ésta un área muy similar a la LS. De su superficie total, 7 hectáreas (17,5%) corresponden a cobertura vegetal, mientras que 33 hectáreas (82,5%) corresponden a zonas ocupadas regularmente por el espejo de agua descubierto.

El borde oriental de la laguna está limitado por un pretil de tierra perpendicular al pretil norte que separa a esta sub-laguna de la LC. Por el lado poniente y norte, su ribera se encuentra libre de posibles aportes superficiales de agua. Finalmente, por el lado sur se encuentra acotada por el pretil norte que la separa de la laguna central.

Es importante señalar que la laguna noroeste se encuentra próxima a un tranque artificial del Fundo La Laguna, el cual es bombeado constantemente para el riego de algunos cultivos pudiendo afectar su comportamiento normal.

Las principales entradas de caudal en esta sub-laguna corresponden a precipitación ( $Q_{Pp}$ ) y escorrentía directa ( $Q_{ESC}$ ), así como también posibles flujos subterráneos ( $Q_{SUB-rec}$ ) y aportes por exceso de riego que llegan desde el límite norte ( $Q_{RIEGO-rec}$ ). Además de aportes de agua desde la laguna central a través de espacios en el pretil norte ( $Q_{LC}$ ).

Por su parte, la evaporación desde el espejo de agua ( $Q_{EVAP}$ ) y evapotranspiración desde la vegetación ( $Q_{ET}$ ) serían sus principales descargas de agua. Un posible flujo subterráneo ( $Q_{SUB-desc}$ ), junto con los ya mencionados bombeos realizados desde el fundo vecino ( $Q_{RIEGO-desc}$ ), podrían acentuar la pérdida de agua por parte de esta sub-laguna. Las entradas y salidas de la laguna noroeste se presentan en la figura N°28.

**Figura N°28:** Entradas y salidas de agua de la laguna noroeste.



*Fuente:* Elaboración propia, 2010.

### 8.3.1.3.- Laguna central

La laguna central corresponde a la sub-laguna de mayor extensión, con un total de 207 hectáreas, lo cual representa un 72,1% del total de la laguna, de las cuales 122 hectáreas (58,9%) corresponden a cuerpo de agua cubierto por vegetación y 85 hectáreas (41,1%) corresponden a zonas ocupadas regularmente por el espejo de agua descubierto.

Por el borde oriental recibe los aportes de agua de los afluentes 1 y 2 (A1 y A2), mientras que por el poniente se encuentra acotada en casi el 50% de su extensión por la línea del tren, descargando sus aguas bajo ésta mediante el efluente 1 (E1). En este punto es importante destacar que el caudal del afluente 1 se debe fundamentalmente a los componentes del ciclo hidrológico, mientras que el caudal del afluente 2 proviene en su mayoría de la PTAS La Cadellada.

Por el norte la laguna central se encuentra delimitada por el pretil norte, el que lo separa de las sub-lagunas LN y LNO. Por el sur se encuentra acotada por un pretil de tierra (pretil central), el cual presenta 3 cortes que permiten conectar a la laguna central con la LS.

La laguna central es la sub-laguna de mayor dinamismo de toda la Laguna de Batuco, ya que recibe directa y continuamente aportes de agua superficial, además de nutrientes y otras sustancias. Adicionalmente, al encontrarse al centro de la laguna, las restantes sub-lagunas actuarían como atenuadores de potenciales eventos contaminantes provenientes del norte y sur de la cuenca (Mellado, 2008).

Sus principales entradas de caudal, como ya ha sido mencionado, corresponden a aportes puntuales de los afluentes A1 ( $Q_{A1}$ ) y A2 ( $Q_{A2}$ ), además de otros como la precipitación ( $Q_{Pp}$ ) y escorrentía directa ( $Q_{ESC}$ ), y, eventualmente, de aportes de aguas subterráneas ( $Q_{SUB-rec}$ ).

En cuanto a las descargas de agua por parte de esta sub-laguna, se cuenta un efluente de carácter permanente (E1) y salidas que se producen hacia las restantes sub-lagunas mediante cortes en el pretil central ( $Q_{LS}$ ) y norte ( $Q_{LNO}$ ). En el caso de la descarga de agua hacia la laguna norte ( $Q_{LN}$ ), ésta se produce por rebalse de una laguna a la otra. Otras descargas de agua se producen por la evaporación desde el espejo de agua ( $Q_{EVAP}$ ) y por la evapotranspiración desde la vegetación ( $Q_{ET}$ ), además de una posible descarga de aguas subterráneas ( $Q_{SUB-desc}$ ). Las entradas y salidas de agua de la laguna central se pueden apreciar en la figura que se encuentra a continuación.

**Figura N°29:** Entradas y salidas de agua de la laguna central.



*Fuente:* Elaboración propia, 2010.

#### 8.3.1.4.- Laguna sur

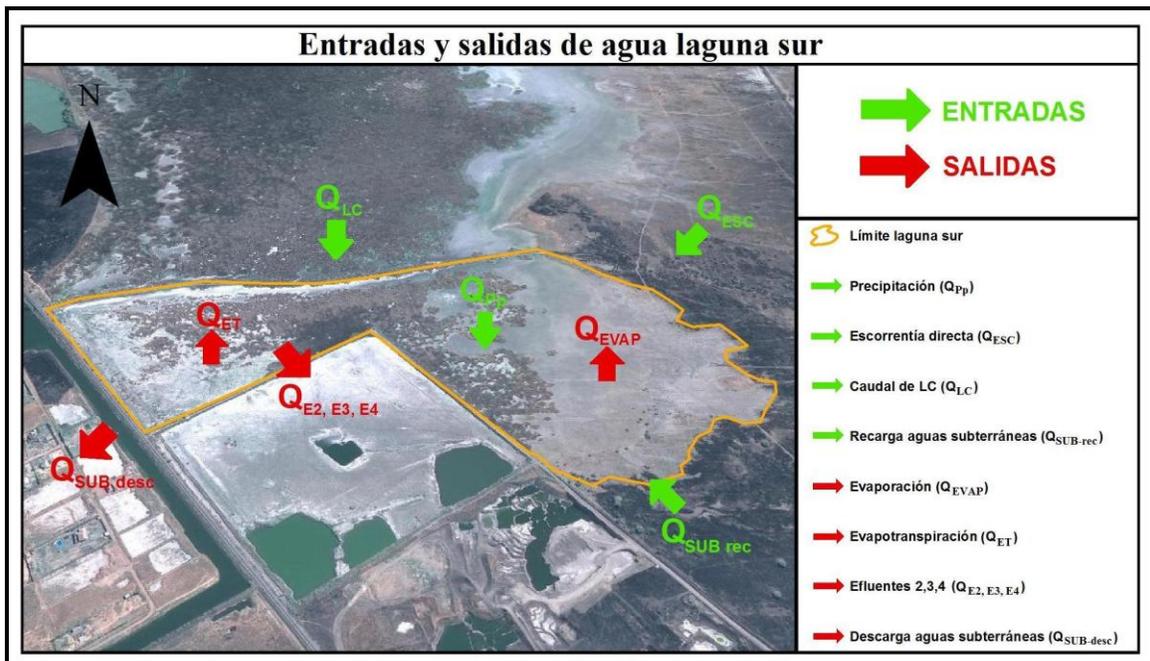
La laguna sur presenta una superficie de 34 hectáreas que representa el 11,9% del total de la laguna, de las cuales 24 hectáreas (70,5%) corresponden a zonas ocupadas regularmente por el espejo de agua descubierto y 10 hectáreas (29,5%) ocupadas por vegetación. El borde oriente de ésta está libre de posibles aportes superficiales, al contrario de lo que ocurre en el costado poniente, ya que por dicho borde se encuentra acotada por la línea del tren.

Por el norte limita con el pretil central, el cual, a través de 3 cortes, permite la conexión con la laguna central. Finalmente, por el sur la LS está acotada por el pretil sur, el que la separa de las fosas de extracción de áridos de Cerámicas Santiago.

Las principales entradas de caudal de esta sub-laguna corresponden a precipitación ( $Q_{PP}$ ) y escorrentía directa ( $Q_{ESC}$ ), así como probables flujos subterráneos ( $Q_{SUB-rec}$ ) y el aporte desde la LC ( $Q_{LC}$ ). Su principal descarga de agua corresponde a evaporación desde el

espejo de agua ( $Q_{EVAP}$ ) y evapotranspiración desde la vegetación ( $Q_{ET}$ ), así como un posible flujo subterráneo ( $Q_{SUB-desc}$ ) que se acentuaría por los bombeos realizados en el fundo vecino. Una descarga de agua de frecuencia y magnitud desconocida se realiza mediante 3 compuertas (Efluentes 2,3 y 4) instaladas por Cerámicas Santiago, ubicadas sobre el pretil sur. Las entradas y salidas de agua de la laguna sur se presentan en la figura N°30.

**Figura N°30:** Entradas y salidas de agua de la laguna sur.



*Fuente:* Elaboración propia, 2010.

### 8.3.2.-Análisis del comportamiento de la laguna durante el año hidrológico 2009-2010

El análisis de la laguna durante el año hidrológico 2009-2010 comprendió 4 períodos entre el año 2009 y 2010, particularmente junio y octubre de 2009; enero y marzo de 2010. Los meses de junio y octubre representan la etapa de mayor volumen de la laguna, debido fundamentalmente a las bajas temperaturas y a la ocurrencia de altas precipitaciones. A su vez, los meses de enero y marzo representan la etapa de menor volumen de la laguna, debido al severo estrés hídrico que durante estos meses afecta a la laguna por altas temperaturas y escasas precipitaciones.

#### 8.3.2.1.- Junio 2009

La Laguna de Batuco en junio de 2009 presenta un cuerpo de agua total de 227,71 hectáreas de las cuales un 39,1% corresponde a cuerpo de agua descubierto mientras que un 60,9% corresponde a cuerpo de agua cubierto por vegetación. En relación a la superficie de agua total aportada por cada sub-laguna (tabla N°11), se tiene que la laguna central es la que mayor cantidad de agua aporta, seguida por la laguna noroeste y la laguna sur. La laguna norte se encuentra seca en este período, por lo cual su aporte es nulo.

**Tabla N°11:** Superficie y porcentaje aportado por cada sub-laguna en junio de 2009.

<b>Junio 2009</b>	<b>Superficie de agua aportante (ha)</b>	<b>% de agua aportante</b>
Laguna norte	0	0%
Laguna noroeste	27,93	12,3%
Laguna central	175,69	77,1%
Laguna sur	24,09	10,6%

*Fuente:* Elaboración propia, 2010.

La cantidad de vegetación dentro del área de la laguna es de 143,5 hectáreas, pero sólo 138,6 se encuentran en la zona del cuerpo de agua. De las 4 sub-lagunas la laguna central es la que presenta mayor porcentaje de cuerpo de agua cubierto por vegetación en relación a su propio aporte de agua. Por su parte, las sub-lagunas noroeste y sur tienen un mayor porcentaje de cuerpo de agua descubierto en relación a su propio aporte de agua. La tabla N°12 muestra las superficies totales de cada sub-laguna en cuanto al cuerpo de agua

descubierto y al cuerpo de agua cubierto por vegetación, además de los porcentajes que representan cada uno de los valores para cada sub-laguna.

**Tabla N°12:** Superficie y porcentaje que representa el cuerpo de agua descubierto y cubierto por vegetación por sub-laguna para junio de 2009.

Sub-laguna		Laguna norte	Laguna noroeste	Laguna central	Laguna sur	Total	
Superficie (ha)	Junio 2009	C.A.D	-	21,78	53,61	13,71	89,1
		C.A.C.V	-	6,15	122,07	10,38	138,6
		Sub-total	-	27,93	175,69	24,09	<b>227,71</b>
		% C.A.D	-	78%	30%	57%	39,10%
		% C.A.C.V	-	22%	70%	43%	60,90%

*Fuente:* Elaboración propia, 2010.

\*C.A.D representa cuerpo de agua descubierto

\*C.A.C.V representa cuerpo de agua cubierto por vegetación.

El cuerpo de agua de la Laguna de Batuco en junio de 2009 (figura N°31) está compuesto en gran parte por el aporte que le brinda la laguna central con más de 170 hectáreas de agua, aunque de todas formas la zona de la laguna que se conecta directamente con los afluentes 1 y 2 se encuentra seca en este período.

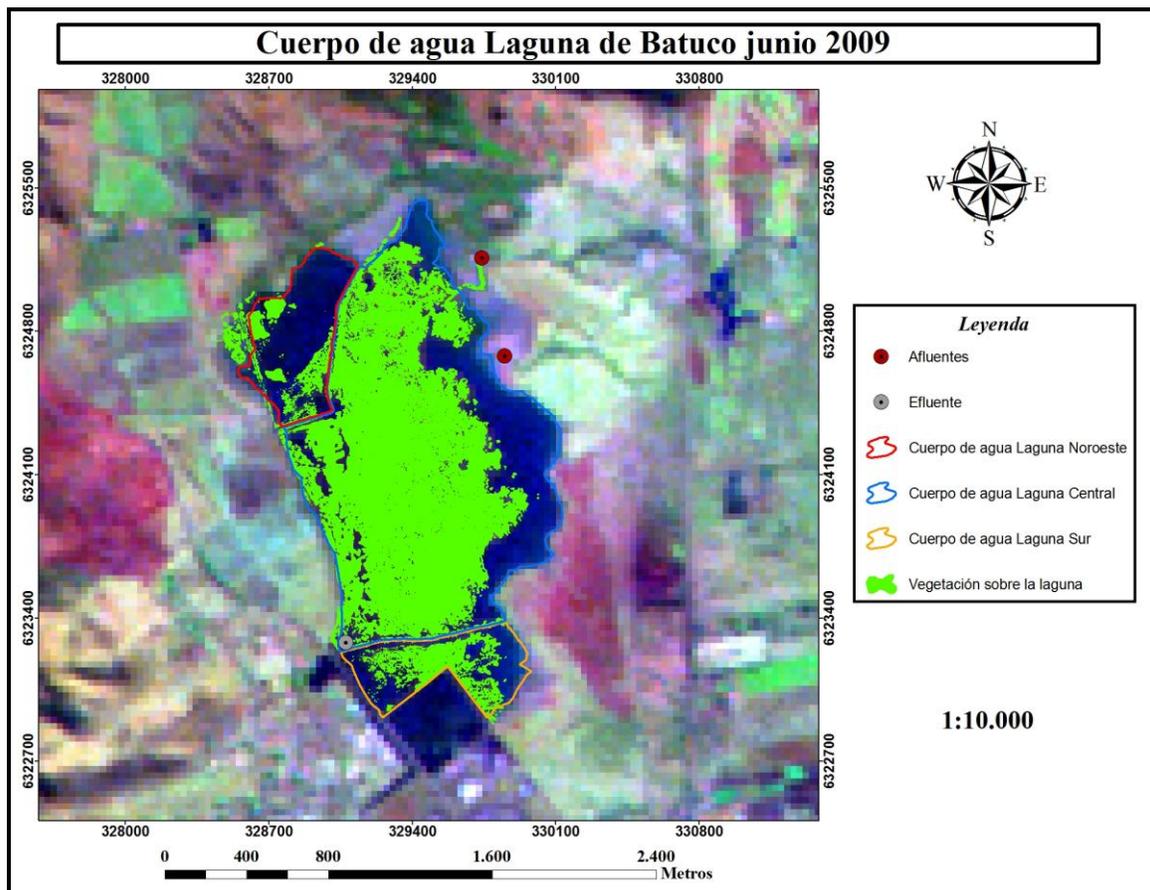
Como ya fue mencionado anteriormente, la laguna norte se encuentra seca y esto es debido fundamentalmente a que en junio la laguna central todavía no se encuentra cerca de su límite máximo, por lo que no rebalsa hacia la laguna norte. Dicha sub-laguna no tiene conexión superficial con ninguna de las otras sub-lagunas, por lo que la presencia de agua en ésta depende principalmente del aporte por rebalse de la laguna central y en menor medida de otros aportes como esorrentía superficial, precipitación directa y algún flujo subterráneo que pueda recibir.

La laguna sur ocupa casi toda su extensión, a excepción de la parte sureste donde ésta es limitada. Dicha sub-laguna colinda con la zona de extracción de agua de la empresa Cerámicas Santiago, la que en este período se encuentra inundada pero a pesar de esta situación, esta área no fue considerada en la delimitación del cuerpo de agua por no formar parte de la laguna misma. Esto fundamentalmente debido a que se pierde la noción de las

lagunas artificiales creadas por dicha empresa y la laguna sur propiamente tal, además por no saber con certeza la procedencia de dichas aguas.

La laguna noroeste presenta gran parte de su extensión total, excepto por una pequeña zona en su costado norponiente, el cual se encuentra rodeado por zonas húmedas. Estas zonas que se visualizan como lo muestra la tabla N°5 (página 46) se entienden como aquellas áreas en las cuales la cantidad de agua no fue suficiente para ser reconocidas como cuerpo de agua propiamente tal, pero sí poseen una cantidad de agua tal que les permite mostrar agua superficialmente y albergar algún grado de vegetación.

**Figura N°31:** Cuerpo de agua Laguna de Batuco por sub-lagunas junio 2009.



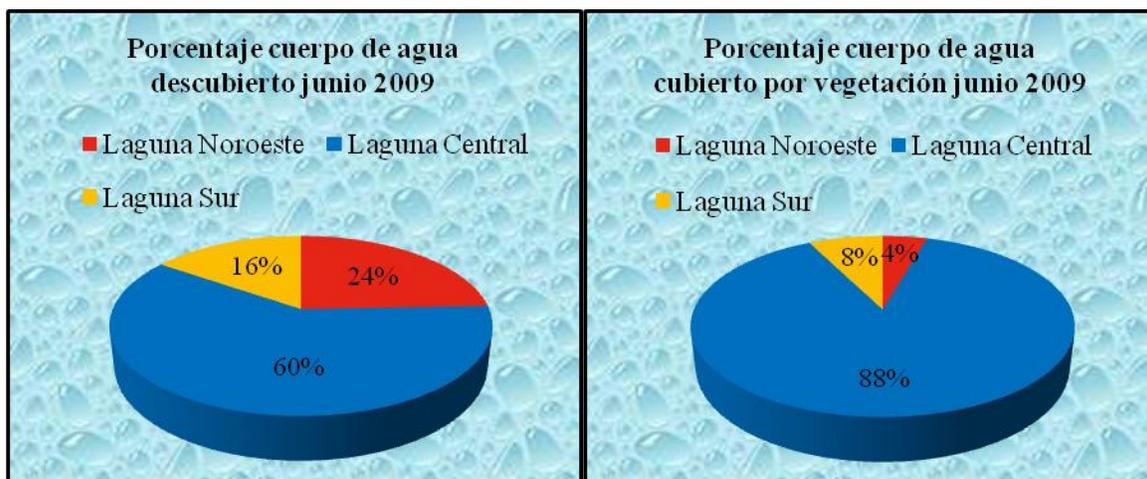
*Fuente:* Elaboración propia, 2010.

En general en este período la laguna presenta pocas zonas húmedas a su alrededor y éstas se localizan principalmente en la parte norte y en las zonas aledañas a los afluentes.

La figura N°32 muestra el porcentaje de cuerpo de agua descubierto y cuerpo de agua cubierto por vegetación que cada sub-laguna aporta dentro del total del cuerpo de agua para el período de junio 2009. En esta figura se puede apreciar que la laguna central, por su gran tamaño, aporta el mayor porcentaje para ambos tipos de cuerpos de agua, siendo casi el 90% del total para el cuerpo de agua cubierto por vegetación. Por su parte, las sub-lagunas noroeste y sur aportan cantidades similares tanto de cuerpo de agua descubierto como cubierto por vegetación.

Como se aprecia en la figura N°31, no toda la vegetación se encuentra sobre zonas cubiertas por agua, ya que se tiene un pequeño porcentaje de vegetación en zonas húmedas; dicha vegetación se encuentra principalmente en el límite de la laguna noroeste. También es importante destacar que la vegetación durante este período presenta una mayor presencia en el centro de la laguna, a diferencia de lo que ocurre en los meses con escasez de precipitaciones seleccionados (enero y marzo). Aunque los grandes vacíos vegetacionales del sector poniente de la laguna se mantienen en los 4 períodos.

**Figura N°32:** Porcentaje cuerpo de agua descubierto y cubierto por vegetación por sub-lagunas para junio del año 2009.



*Fuente:* Elaboración propia, 2010.

La Laguna de Batuco en junio de 2009 se presenta en general dentro de un período intermedio entre su máxima extensión, que regularmente se expresa alrededor del mes de

octubre, y el período de su mínima extensión. Lo anterior se explica también debido a que junio es tan sólo el primero de los 3 meses más lluviosos en la zona.

### 8.3.2.2.- Octubre 2009

La Laguna de Batuco en el período de octubre de 2009 presenta un cuerpo de agua total de 268,79 hectáreas de las cuales un 47,3% corresponden a cuerpo de agua descubierto y el restante 52,7% corresponde a cuerpo de agua cubierto por vegetación. Ahora, en relación a la superficie de agua total aportada por cada sub-laguna (tabla N°13), se tiene que ocurre una situación muy parecida al mes de junio, donde la sub-laguna que más agua aporta es la laguna central, seguida por la sub-laguna noroeste y sur con cerca del 13% y 11%, respectivamente. A diferencia del mes de junio en octubre de 2009 la laguna norte se encuentra con agua y, aunque su aporte es relativamente pequeño debido a su tamaño, su presencia revela parte de la dinámica de la laguna en los meses de mayor captación hídrica.

**Tabla N°13:** Superficie y porcentaje aportado por cada sub-laguna en octubre de 2009.

<b>Octubre 2009</b>	<b>Superficie de agua aportante (ha)</b>	<b>% de agua aportante</b>
Laguna norte	4,87	1,8%
Laguna noroeste	36,32	13,5%
Laguna central	196,22	73,0%
Laguna sur	31,38	11,7%

*Fuente:* Elaboración propia, 2010.

La cantidad de vegetación dentro del área de la laguna, al igual que en el mes de junio, es de 143,5 hectáreas, pero esta vez 141,6 hectáreas (casi el 100%) se encuentran en la zona del cuerpo de agua. De las 4 sub-lagunas, la que presenta mayor porcentaje de cuerpo de agua cubierto por vegetación en relación a su superficie total es la laguna central con un 62,5%, seguida de la laguna sur y la noroeste con un 33,7% y 22,7%, respectivamente. Por su parte, la laguna norte en este período es la que presenta mayor porcentaje de cuerpo de agua descubierto en relación a su superficie total, ya que esta laguna, como se dijo anteriormente, es la única de las 4 sub-lagunas que no presenta vegetación en su interior.

La laguna noroeste presenta más de un 70% de cuerpo de agua descubierto y la laguna sur más de 66% del mismo en relación a su superficie total. Aunque de todos modos, por el tamaño, la laguna central es la que aporta la mayor cantidad de cuerpo de agua descubierto total. La tabla N°14 muestra las superficies totales de cada sub-laguna en cuanto al cuerpo de agua descubierto y al cuerpo de agua cubierto por vegetación, además de los porcentajes que representan cada uno de los valores para cada sub-laguna.

**Tabla N°14:** Superficie y porcentaje que representa el cuerpo de agua descubierto y cubierto por vegetación por sub-laguna para octubre de 2009.

Sub-laguna		Laguna norte	Laguna noroeste	Laguna central	Laguna sur	Total	
Superficie (ha)	Octubre 2009	C.A.D	4,87	28,08	73,47	20,80	127,22
		C.D.C.V	0	8,24	122,75	10,58	141,57
		Sub-total	4,87	36,32	196,22	31,38	<b>268,79</b>
		% C.A.D	100%	77,30%	37,50%	66,30%	47,30%
		% C.A.C.V	0%	22,70%	62,50%	33,70%	52,70%

*Fuente:* Elaboración propia, 2010.

\*C.A.D representa cuerpo de agua descubierto.

\*C.A.C.V representa cuerpo de agua cubierto por vegetación.

El cuerpo de agua de la Laguna de Batuco en octubre de 2009 (figura N°33) es en parte similar al evidenciado en el mes de junio del mismo año, sólo que las 3 sub-lagunas que formaban parte de ésta se ven acrecentadas en relación a su tamaño en este período y la laguna faltante (laguna norte) se encuentra con presencia de agua en su interior.

En relación a lo anterior, se tiene que la laguna central se encuentra cubierta de agua en la zona de recepción de sus afluentes y éstos, más que representar zonas húmedas, como en el mes de junio, ya se encuentran con un caudal considerable para poder apreciarse en la imagen satelital como zonas cubiertas de agua. De todas formas, aunque la laguna central aumenta en cierto grado su tamaño (principalmente en su costado oriente), no alcanza a llegar a su máximo nivel, el cual puede apreciarse fácilmente a través de la observación de las imágenes QuickBird trabajadas.

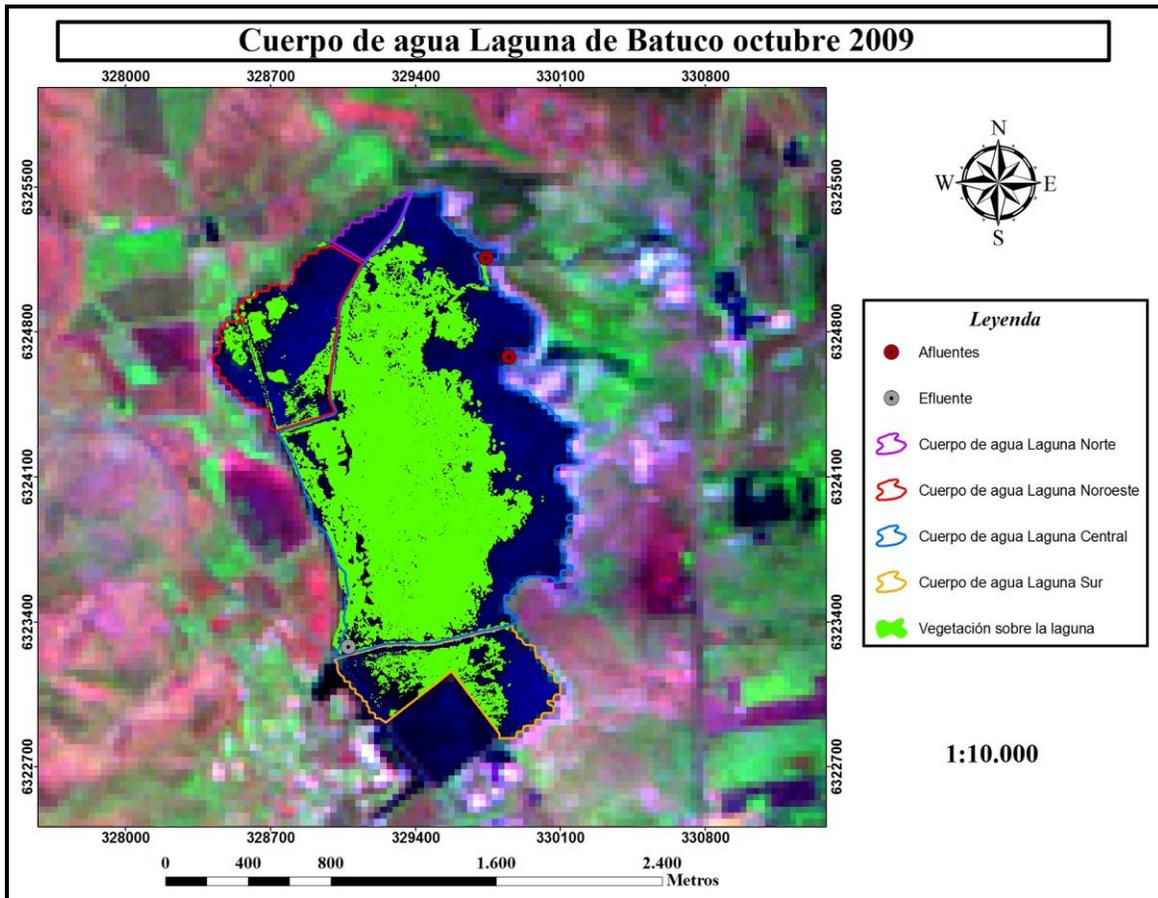
La presencia de agua en la laguna norte en este período se debe fundamentalmente al incremento del nivel de la laguna central y su consecuente rebalse, explicado con anterioridad. El agua en la laguna norte indica que la laguna central se encuentra en un nivel cercano al de máxima capacidad.

La laguna norte en el mes de octubre de 2009 presenta casi el total del cuerpo de agua máximo que es capaz de almacenar, siendo poco más de 1 hectárea la faltante para completar el 100% de dicha superficie. Al norte de esta laguna se puede apreciar una importante zona húmeda, la que en general abarca toda la parte norte de la Laguna de Batuco.

La laguna noroeste en este período, al igual que la laguna norte, se encuentra con casi la totalidad del agua que dicha laguna puede contener. Siguiendo con la idea anterior, se tiene que el cuerpo de agua para este período aumentó principalmente hacia el costado poniente de esta sub-laguna, considerando el cuerpo de agua de esta misma en junio. Es importante destacar también que casi el 100% de la vegetación en octubre de 2009 se encuentra sobre zonas cubiertas de agua. Al igual que en el mes de junio la laguna noroeste está delimitada al norte por una importante zona húmeda.

Finalmente, la laguna sur en octubre de 2009 presenta una situación parecida a la de la laguna noroeste es decir, que dicha laguna aumenta su capacidad en relación al período anterior, pero no lo suficiente como para llegar a una superficie cercana al 100%. En el límite de esta sub-laguna no se aprecian muchas zonas húmedas y, por el contrario, más allá del cuerpo de agua se tiene una importante zona seca.

**Figura N°33:** Cuerpo de agua Laguna de Batuco por sub-lagunas octubre 2009.

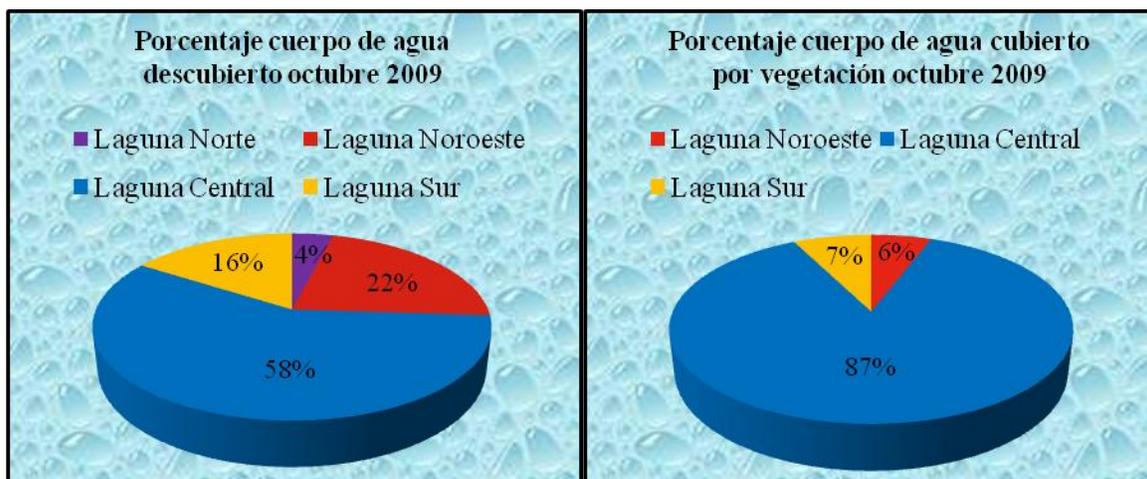


*Fuente:* Elaboración propia, 2010.

Las zonas húmedas en este período son más significativas que en el mes de junio y se ubican principalmente en la parte noreste de la laguna, destacando la zona de los afluentes y las zonas aledañas a la laguna norte. También hay presencia de zonas húmedas al costado poniente de la laguna y en menor medida en la parte sureste de ésta.

El porcentaje de cuerpo de agua descubierto, como también el de cuerpo de agua cubierto por vegetación que cada sub-laguna aporta dentro del total del cuerpo de agua para este período, queda expresado en la figura N°34, la que en general muestra que la laguna central aporta con la mayor cantidad de agua tanto como cuerpo de agua descubierto como cubierto por vegetación, y que por su parte la laguna noroeste es la segunda en importancia para el cuerpo de agua descubierto mientras que la laguna sur lo es para el cuerpo de agua cubierto por vegetación. La laguna norte sólo presenta cuerpo de agua descubierto.

**Figura N°34:** Porcentaje cuerpo de agua descubierto y cubierto por vegetación por sub-lagunas para octubre del año 2009.



*Fuente:* Elaboración propia, 2010.

La Laguna de Batuco en octubre de 2009 presenta su mayor extensión en relación a los 4 períodos analizados, la cual se acerca al área máxima que la laguna suele evidenciar. Lo anterior se debe, principalmente, a que el mes de octubre se encuentra posterior a los 3 meses más importantes en cuanto a precipitación en el área de estudio, y a que en dicho mes las temperaturas aún no son lo suficientemente elevadas como para provocar evaporación relevante que afecte el nivel de la laguna.

### 8.3.2.3.- Enero 2010

La Laguna de Batuco en enero de 2010 presenta un cuerpo de agua total de 143,37 hectáreas de las cuales 28,20% corresponden a cuerpo de agua descubierto y un 71,80% representan el área del cuerpo de agua cubierto por vegetación. La sub-laguna que mayor cantidad de agua aporta, al igual que en los meses anteriores, es la laguna central, seguida de la laguna noroeste y, finalmente, se tiene a las sub-lagunas sur y norte con un aporte de agua bastante reducido. Ya en el mes de enero la cantidad de agua perdida por cada una de las sub-lagunas comienza a ser notoria, especialmente en el caso de la laguna sur, la que muestra un retroceso importante. La tabla N°15 muestra la superficie de agua aportada y el porcentaje que éste representa para cada sub-laguna.

En este período, gran parte de la vegetación se encuentra en zonas fuera de los cuerpos de agua, especialmente en el caso de las sub-lagunas central y sur. La laguna noroeste por su parte ha perdido una importante cantidad de vegetación en su costado norponiente y la que aún mantiene en ese costado se aprecia deteriorada en comparación con los meses de junio y octubre de 2009.

La cobertura vegetal en la laguna, en general, disminuye, lo que se hace más evidente en la parte norte y central de ésta, situación que incrementa el área total del cuerpo de agua descubierto.

**Tabla N°15:** Superficie y porcentaje aportado por cada sub-laguna en enero de 2010.

<b>Enero 2010</b>	<b>Superficie de agua aportante (ha)</b>	<b>% de agua aportante</b>
Laguna norte	0,47	0,3%
Laguna noroeste	17,77	12,4%
Laguna central	121,17	84,5%
Laguna sur	3,96	2,8%

*Fuente:* Elaboración propia, 2010.

El total de vegetación al interior de la laguna es de 139,8 hectáreas, pero sólo 102,9 se encuentran en la zona del cuerpo de agua. De las 4 sub-lagunas, la que presenta mayor porcentaje de cuerpo de agua cubierto por vegetación es la laguna central, llegando a más del 80% del total de superficie de dicha laguna. Porcentualmente hablando, las sub-lagunas noroeste y sur se comportan de manera similar, tanto para el cuerpo de agua descubierto como cubierto por vegetación, aunque este comportamiento porcentual se basa en totales mucho más bajos que en los 2 meses anteriores.

La laguna norte mantiene su comportamiento porcentual, pero disminuye considerablemente su área en este período. La tabla N°16 muestra las superficies totales de cada sub-laguna en cuanto al cuerpo de agua descubierto y al cuerpo de agua cubierto por vegetación, además de los porcentajes que representan cada uno de los valores para cada sub-laguna.

**Tabla N°16:** Superficie y porcentaje que representa el cuerpo de agua descubierto y cubierto por vegetación por sub-laguna para enero de 2010.

Sub-laguna		Laguna norte	Laguna noroeste	Laguna central	Laguna sur	Total	
Superficie (ha)	Enero 2010	C.A.D	0,47	14,43	23,16	2,43	40,49
		C.A.C.V	0	3,34	98,01	1,53	102,88
		Sub-total	0,47	17,77	121,17	3,96	<b>143,37</b>
		% C.A.D	100%	81,20%	19,10%	61,30%	28,20%
		% C.A.C.V	0%	18,80%	80,90%	38,70%	71,80%

*Fuente:* Elaboración propia, 2010.

\*C.A.D representa cuerpo de agua descubierto.

\*C.A.C.V representa cuerpo de agua cubierto por vegetación.

El cuerpo de agua de la Laguna de Batuco en enero de 2010 (figura N°35) aún conserva cierta cantidad de agua en las 4 sub-lagunas, aunque para principios del verano, como es enero, las sub-lagunas norte y sur se encuentran con muy poca agua.

Al igual que las sub-lagunas norte y sur, la laguna central en este período ha perdido una gran cantidad de agua en relación a los meses de junio y octubre del pasado año, situación que se torna especialmente relevante en la parte nororiente de ésta. La parte poniente de la laguna también se ha visto afectada por una disminución, aunque mucho más leve, del cuerpo de agua, en relación a los 2 meses anteriores. Es importante destacar que, respecto a los límites de la laguna en los meses de junio y, especialmente, de octubre de 2009, ahora se identifica una importante zona de humedad, aunque entre dicha zona y el cuerpo de agua se tiene un espacio seco.

La situación de pérdida de agua de la laguna central afecta a las 3 restantes sub-lagunas. En el caso de la laguna norte, ésta ya no se encuentra siendo alimentada por la laguna central por lo que la pequeña área que presenta ha venido disminuyendo progresivamente desde el mes de octubre, disminución que se hace cada vez más importante debido al paulatino aumento de la temperatura, iniciado en el mes de noviembre.

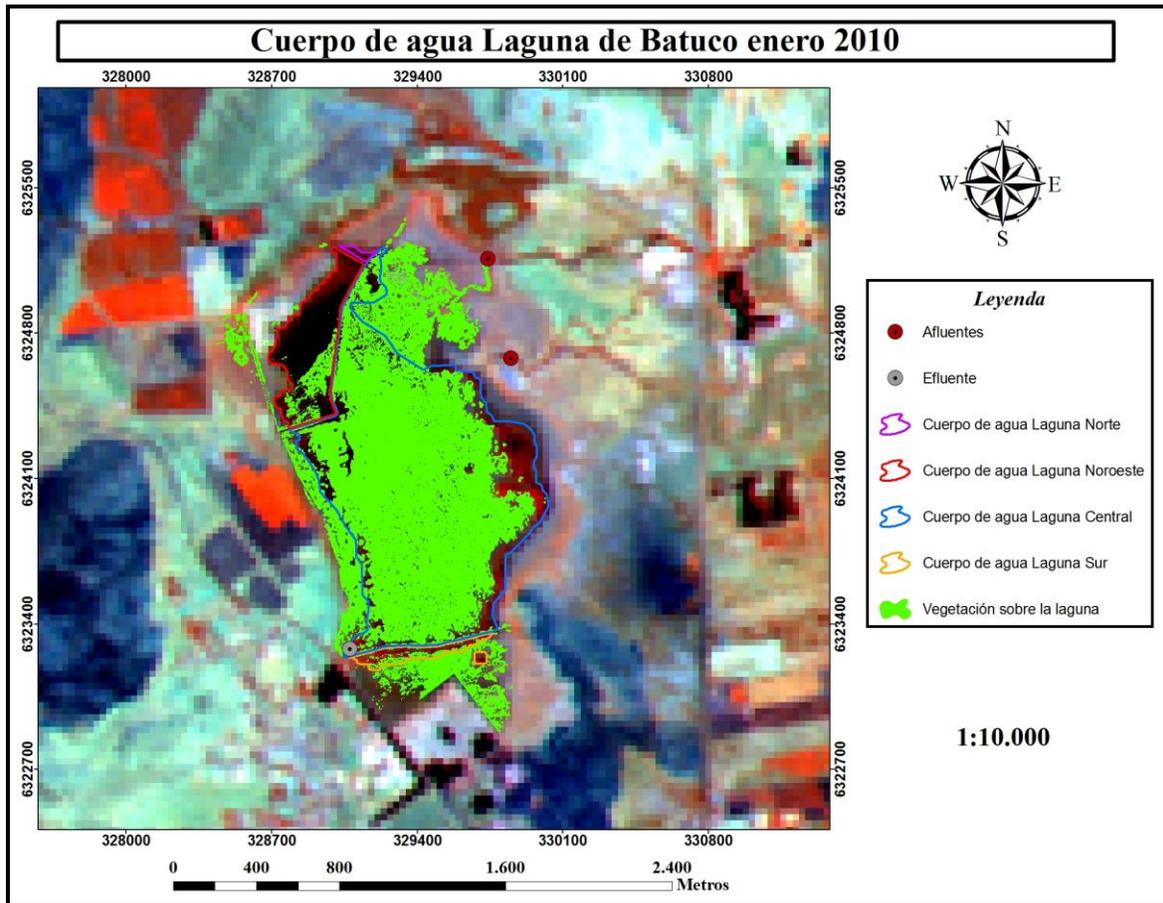
Para la laguna sur la situación de pérdida del cuerpo de agua de la laguna central le significa una importante merma de su cantidad de agua. Lo anterior se explica, en parte, a que el aporte que recibe la Laguna de Batuco en el mes de enero es considerablemente más bajo que en los meses de junio y octubre, además del hecho que la laguna sur se encuentra en la ubicación más alejada de los afluentes y la dirección del flujo del agua dentro de la laguna es norte sur. La laguna sur, a pesar de tener una gran zona desprovista de cuerpo de agua, presenta una amplia área de zonas húmedas que abarcan casi la totalidad de su extensión.

Finalmente, la laguna noroeste es la sub-laguna que menos porcentaje de cuerpo de agua ha perdido en relación a los períodos de junio y octubre, debido principalmente a que el pretil norte se encuentra muy desgastado con el tiempo y permite el paso de gran cantidad de agua de una sub-laguna a otra, además ésta sub-laguna se encuentra bastante cercana a la zona de recepción hídrica. En este período, la laguna noroeste, junto con la parte norponiente de la laguna central, son las que presentan mayor profundidad, destacando con un color más oscuro en la figura N°35.

En general, las zonas húmedas alrededor de la laguna en este período se ubican en el antiguo límite de ésta en el mes de octubre. Dichas zonas son más marcadas en la parte norte de la laguna, aunque también son importantes en la parte suroriente. La zona sur-sur poniente no presenta a su alrededor prácticamente ninguna zona húmeda, debido en parte a que es la zona con mayor intervención antrópica de la laguna.

Por su parte, se puede apreciar que los afluentes en este período aún mantienen una cantidad significativa de agua en su caudal, sobre todo el afluente 1.

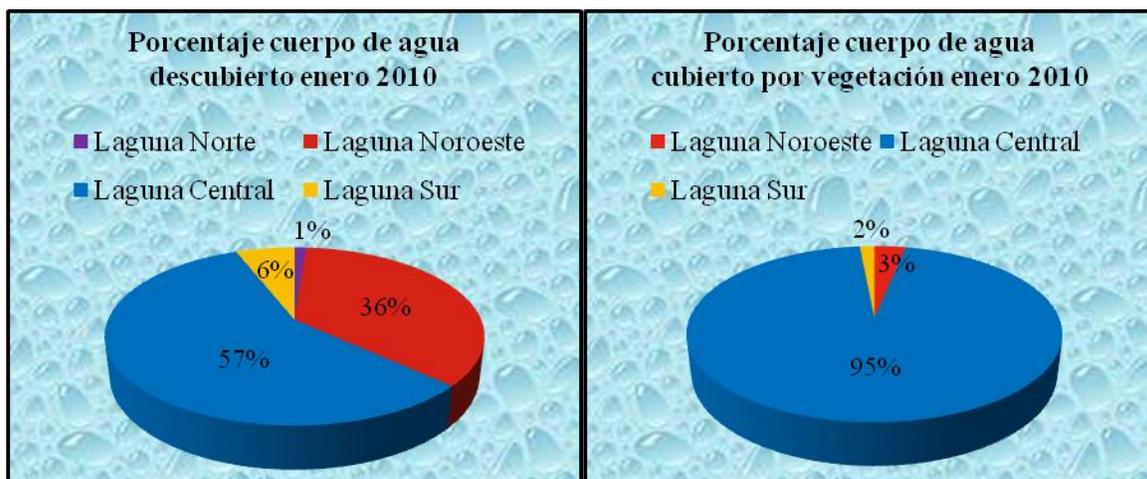
**Figura N°35:** Cuerpo de agua Laguna de Batuco por sub-lagunas enero 2010.



*Fuente:* Elaboración propia, 2010.

La figura N°36 muestra el porcentaje de cuerpo de agua descubierto y cuerpo de agua cubierto por vegetación de cada sub-laguna en enero. Se aprecia que las sub-lagunas central y noroeste aportan con la mayor cantidad de cuerpo de agua descubierto, mientras que la laguna central aporta con casi la totalidad del cuerpo de agua cubierto por vegetación.

**Figura N°36:** Porcentaje cuerpo de agua descubierto y cubierto por vegetación por sub-lagunas para enero del año 2010.



*Fuente:* Elaboración propia, 2010.

La Laguna de Batuco, en enero de 2010, comienza a mostrar los efectos del verano; una disminución evidente de su cantidad de agua. La falta de precipitaciones y la cada vez mayor evaporación a la que se ve expuesto el cuerpo de agua de la laguna, asociado a las temperaturas crecientes y el nivel somero de las aguas del humedal, explican en parte dicha disminución.

#### 8.3.2.4.- Marzo 2010

La Laguna de Batuco, en marzo de 2010, presenta un cuerpo de agua de apenas 6,76 hectáreas de las cuales un 26,30% corresponden a cuerpo de agua descubierto y el restante 73,70% a cuerpo de agua cubierto por vegetación. En este período, sólo 2 de las 4 sub-lagunas contienen agua; la que aporta la mayor cantidad es la laguna central con un 84,3% del total, seguida por la laguna noroeste con el sobrante 15,7%.

Esta es una situación extrema en comparación con los 3 períodos anteriores. En este mes la laguna se encuentra casi completamente seca y la mayor parte de la vegetación se encuentra en zonas que no presentan cuerpo de agua alguno. Si bien es cierto que el mes de marzo representa una de las épocas del año de mayor estrés hídrico para la laguna, dicha situación se encuentra asociada en parte a una importante intervención antrópica llevada a cabo en la

laguna en los pasados meses de diciembre y enero. Además de lo anterior, se tiene la muy probable baja de caudal proveniente desde la PTAS La Cadellada. La tabla N°17 muestra la superficie de agua aportada y el porcentaje que este representa para cada sub-laguna.

**Tabla N°17:** Superficie y porcentaje aportado por cada sub-laguna en marzo de 2010.

Marzo 2010	Superficie de agua aportante (ha)	% de agua aportante
Laguna norte	0	0%
Laguna noroeste	1,06	15,7%
Laguna central	5,70	84,3%
Laguna sur	0	0%

*Fuente:* Elaboración propia, 2010.

El total de vegetación dentro de la laguna, al igual que en el mes de enero, es de 139,8 hectáreas, pero tan sólo una escasa área representada por 5 hectáreas se encuentra en la zona del cuerpo de agua. Para este período, la laguna central presenta un gran porcentaje de cuerpo de agua cubierto por vegetación, mientras que la laguna noroeste posee un alto porcentaje de cuerpo de agua descubierto. La tabla N°18 muestra las superficies totales de cada sub-laguna en cuanto al cuerpo de agua descubierto y al cuerpo de agua cubierto por vegetación, además de los porcentajes que representan cada uno de los valores para cada sub-laguna.

**Tabla N°18:** Superficie y porcentaje que representa el cuerpo de agua descubierto y cubierto por vegetación por sub-laguna para marzo de 2010.

Sub-laguna		Laguna norte	Laguna noroeste	Laguna central	Laguna sur	Total	
Superficie (ha)	Marzo 2010	C.A.D	-	0,77	1,01	-	1,78
		C.D.C.V	-	0,29	4,69	-	4,98
		Sub-total	-	1,06	5,70	-	<b>6,76</b>
		% C.A.D	-	72,40%	17,80%	-	26,30%
		% C.A.C.V	-	27,60%	82,20%	-	73,70%

*Fuente:* Elaboración propia, 2010.

\*C.A.D representa cuerpo de agua descubierto.

\*C.A.C.V representa cuerpo de agua cubierto por vegetación.

El cuerpo de agua de la Laguna de Batuco, en marzo de 2010 (figura N°37), continúa con su proceso de decrecimiento, que ya se observaba en el período pasado, pero que ahora es

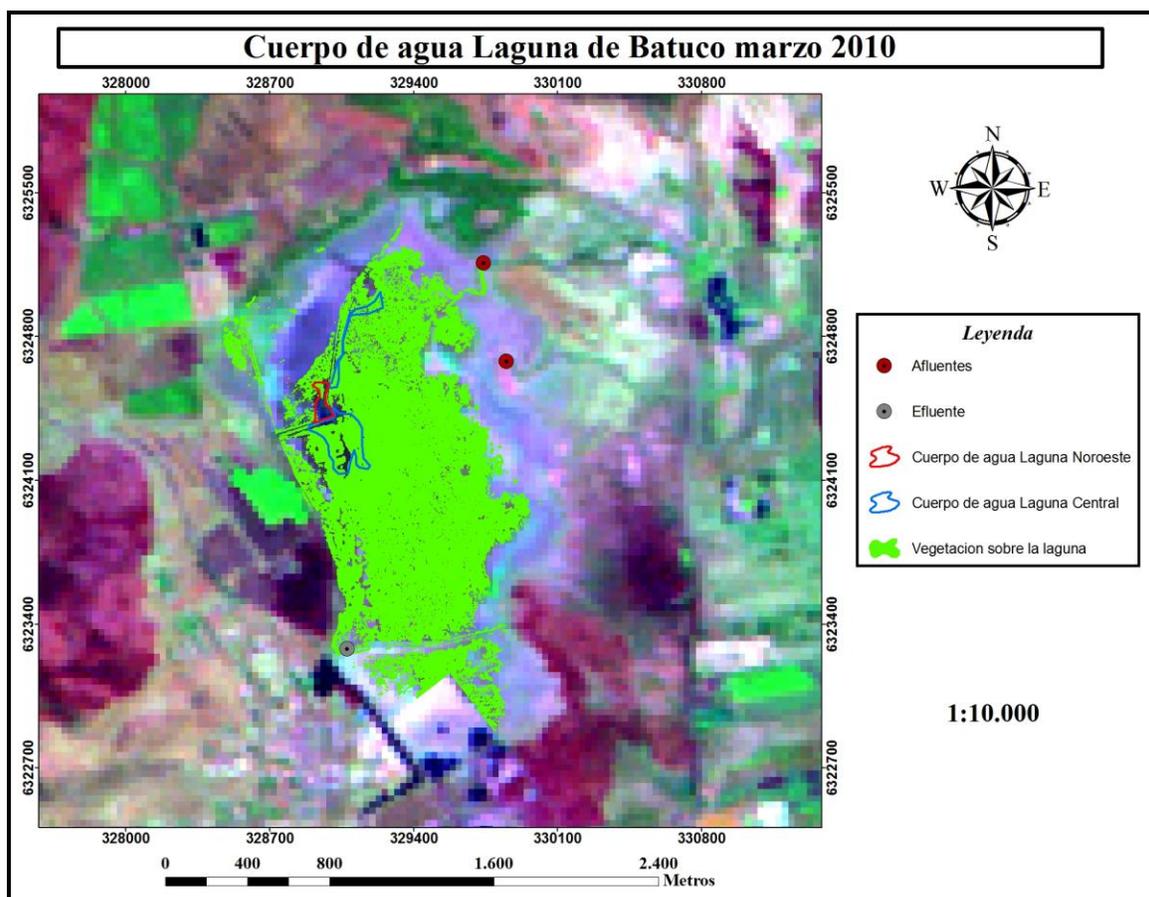
mucho más acusado, llegando casi a secarse totalmente; 2 de las 4 sub-lagunas (laguna norte y sur) se encuentran totalmente secas y las restantes sub-lagunas han perdido casi la totalidad de su agua almacenada.

El cuerpo de agua de la laguna norte en el mes de marzo ha sido totalmente evaporado por las altas temperaturas de los meses de enero y febrero, y a su vez, la laguna central, al no ser capaz de almacenar una cantidad suficiente de agua, no puede aportar con flujos a la laguna sur, lo que, sumado a la alta evaporación y evapotranspiración, provoca la ausencia del cuerpo de agua de esta última sub-laguna.

La intervención antrópica (ver página 119) de mayor impacto en la laguna en los últimos años corresponde a la llevada a cabo por el señor Joaquín Achurra. Entre los meses de diciembre de 2009 y enero de 2010 colocó un par de canales con el fin de extraer agua y drenar la laguna; estos canales fueron ubicados cerca de los afluentes y dirigen el agua hacia un sector ubicado al norte de la laguna, afectando de manera directa la cantidad de agua recibida por las sub-lagunas noroeste y central (<http://www.humedaldebatuco.cl/portal/index.php>). El señor Joaquín Achurra tiene derechos de aguas subterráneas en el sector y actualmente se encuentra con una demanda en el Consejo de Defensa del Estado por daño ambiental.

Las zonas húmedas en este período son bastante escasas a excepción de las que se encuentran al norte de la laguna. También es posible observar algunas pequeñas zonas húmedas al costado oriente de la laguna central, como también cerca de los límites de la vegetación en esta sub-laguna. Las sub-lagunas norte y sur no presentan zonas húmedas en su interior.

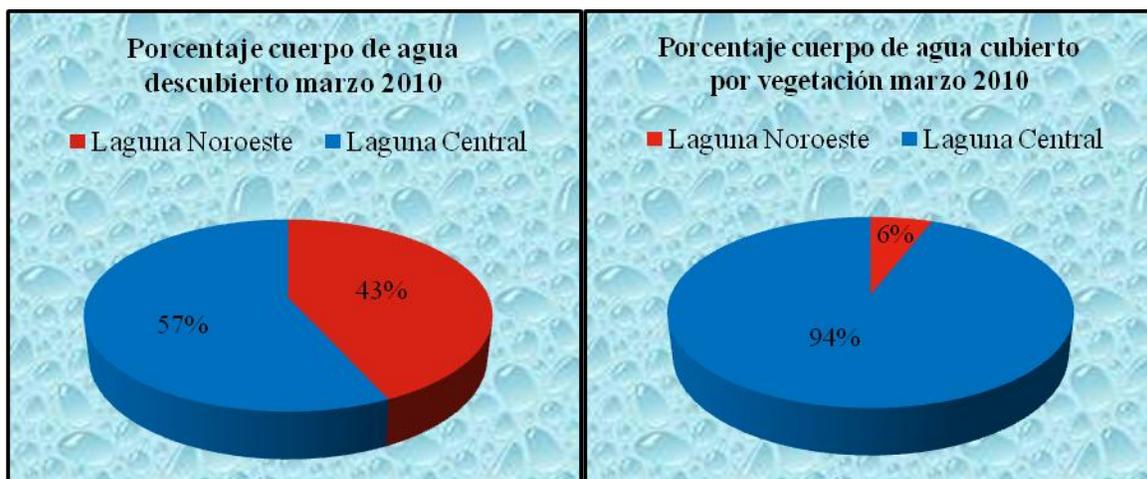
**Figura N°37:** Cuerpo de agua Laguna de Batuco por sub-lagunas marzo 2010.



*Fuente:* Elaboración propia, 2010.

El porcentaje de cuerpo de agua descubierto, como también el de cuerpo de agua cubierto por vegetación de cada sub-laguna se observa en la figura N°38. Dicha figura muestra que el aporte de cada sub-laguna en el caso del cuerpo de agua descubierto es compartido por ambas lagunas con cerca del 50% para ambas. Mientras que en el caso del cuerpo de agua cubierto por vegetación el aporte total es casi exclusivo de la laguna central.

**Figura N°38:** Porcentaje cuerpo de agua descubierto y cubierto por vegetación por sub-lagunas para enero del año 2010.



*Fuente:* Elaboración propia, 2010.

La Laguna de Batuco, en marzo de 2010, presenta su menor extensión en relación a los 4 períodos; una extensión considerablemente menor a la de los 3 períodos anteriores, la cual se acerca bastante a una reducción total. Lo anterior se debe en parte a fenómenos naturales de esta época del año en el área de estudio (bajas o inexistentes precipitaciones y altas temperaturas) y también a la intervención antrópica directa que se ha efectuado en los afluentes de la laguna.

#### 8.3.2.5.- Batimetría octubre 2009

Con respecto a la batimetría de la laguna en octubre de 2009, se tiene que la profundidad promedio en dicho período fue de 44,8 centímetros, alcanzando un máximo de 83,75 centímetros y un mínimo de 6. El volumen de agua almacenado fue cercano al millón de m<sup>3</sup>. Ahora bien, considerando las profundidades máximas, mínimas, medias y el volumen aproximado de agua almacenada por sub-laguna (tabla N°19), se tiene que las sub-lagunas norte y noroeste presentan profundidades medias cercanas a los 37 centímetros, mientras que la laguna central y la laguna sur tienen una profundidad media de aproximadamente 44 cm. Ésto indica que las mayores profundidades dentro de la laguna se ubican en la zona centro-sur.

**Tabla N°19:** Profundidad, superficie y volumen de agua almacenada por sub-lagunas octubre 2009.

Sub-laguna		Laguna norte	Laguna noroeste	Laguna central	Laguna sur	Total
Profundidad (cm)	Máxima	56	53	83,75	70,5	83,75
	Mínima	29,5	13,5	6	27	6
	Media	36,7	38	45,8	43,3	<b>44,8</b>
Superficie (ha)	C.A.D	4,87	28,08	73,47	20,80	127,22
	C.D.C.V	0	8,24	122,75	10,58	141,57
	Sub-total	4,87	36,32	196,22	31,38	<b>268,79</b>
Volumen (m <sup>3</sup> )	Vol. de agua	17.898,34	129.913,42	752.580,43	124.005,60	<b>1.024.397,79</b>

*Fuente:* Elaboración propia, 2010 en base a Mellado, 2008.

\*C.A.D representa cuerpo de agua descubierto.

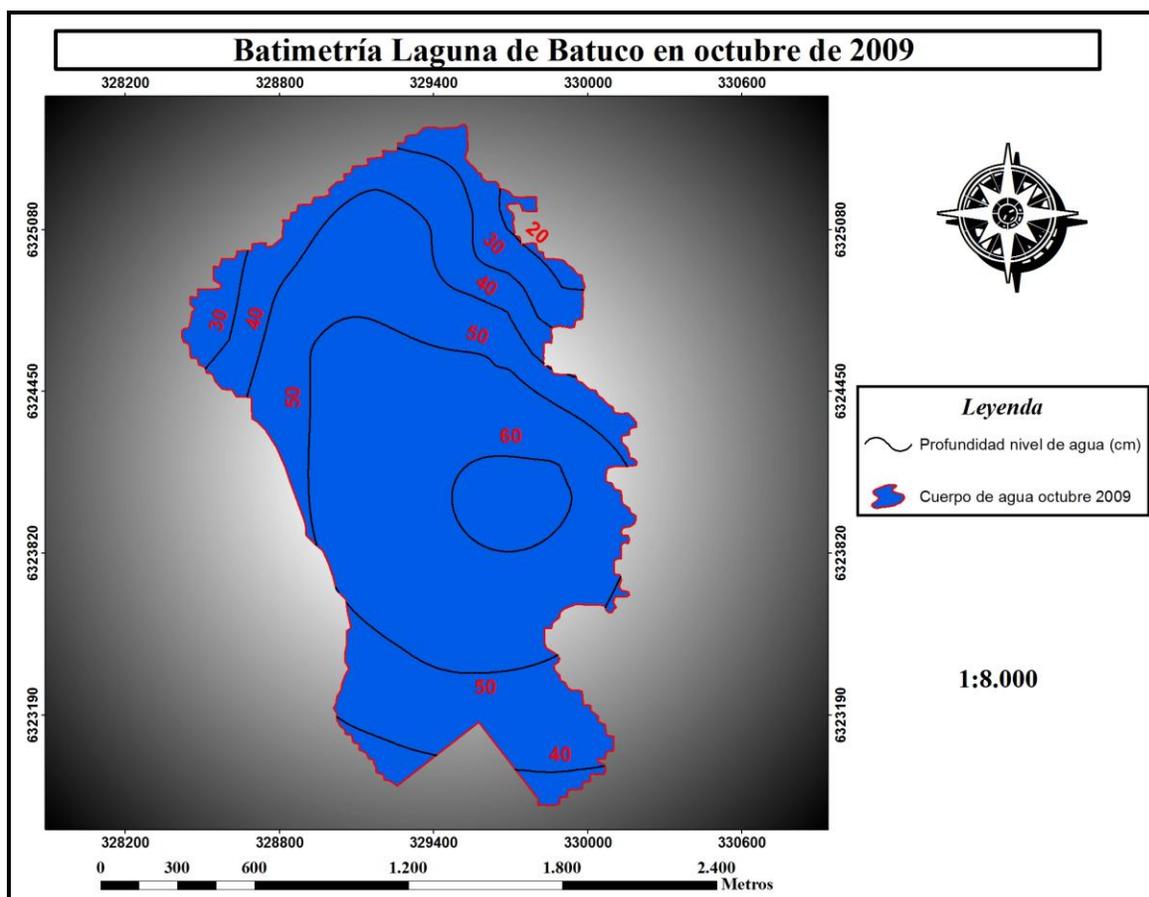
\*C.A.C.V representa cuerpo de agua cubierto por vegetación.

Con respecto a los valores de profundidad máximos y mínimos que se dan en este período, ambos se encuentran en la laguna central, la que a su vez contiene en su interior cerca del 75% del total del volumen aproximado de agua almacenada en octubre de 2009, es decir 752.580,43 m<sup>3</sup>, mientras que las otras 3 sub-lagunas aportan con cerca del 25% restante (271.817,36 m<sup>3</sup>).

En concreto, la laguna norte aporta con el 2% del total del volumen de agua, cantidad que se distribuye de forma más o menos homogénea a lo largo de toda su extensión. La laguna noroeste contiene el 13% del total de agua almacenada en este período y la mayor cantidad de dicha agua se localiza al costado oriente de la sub-laguna junto al pretil norte. La laguna central presenta el 73% del total del volumen de agua y la mayor cantidad de ésta se ubica en su parte central. Finalmente, la laguna sur aporta con el 12% restante. La distribución del agua en esta sub-laguna muestra un gradiente de decrecimiento norte-sur.

La figura N°39 muestra las curvas de nivel para la Laguna de Batuco en octubre de 2009.

**Figura N°39:** Batimetría Laguna de Batuco en octubre 2009.



*Fuente:* Elaboración propia, 2010 en base a Mellado, 2008.

Como se dijo anteriormente, la figura N°39 muestra que las mayores profundidades dentro de la laguna se ubican en la zona centro-sur de ésta y, por consiguiente, la parte norte posee una profundidad menor, la que es del orden de 20 a 40 centímetros. La superficie de agua mayor en dicho período se encuentra en el área de la laguna, que tiene una profundidad que va de los 50 a los 60 cm, la que, en general, muestra los límites de las sub-lagunas noroeste y sur con la laguna central.

### 8.3.2.6.- Análisis comparativo de la laguna durante el año hidrológico 2009-2010

Las páginas anteriores sirvieron para mostrar la conducta de la laguna durante los 4 períodos trabajados entre los años 2009 y 2010. En esta sección se analizará el comportamiento de la laguna, considerando la relación de cada uno de estos períodos, los

que, en conjunto, conformarán una muestra de lo que sería un año hidrológico en la Laguna de Batuco.

El primer período considerado fue junio de 2009, en el cual la Laguna de Batuco presentaba un cuerpo de agua total de 227,71 hectáreas (2,2 km<sup>2</sup>); en octubre del mismo año esta cantidad se incrementó en un 18%, llegando a 268,79 hectáreas (2,6 km<sup>2</sup>), esto explicado por el leve aumento de cada una de sus 3 sub-lagunas y la activación de la laguna norte.

La dinámica de las lagunas de junio a octubre de 2009 muestra que la laguna norte aumentó su área de forma radical, pasando desde estar completamente seca a presentar 4,87 hectáreas de agua en su interior. A su vez, las otras 3 sub-lagunas también vieron un incremento en cada uno de sus respectivos cuerpos de agua. La laguna noroeste, por ejemplo, aumentó un 30% su área, mientras que las lagunas sur y central lo hicieron en un 30,2% y 11,6%, respectivamente.

En general, el aumento del cuerpo de agua de junio a octubre fue más bien homogéneo en todos los antiguos límites que la laguna presentaba en el mes de junio.

Luego del aumento producido de junio a octubre de 2009, se produce un importante descenso en el total del cuerpo de agua, que se aprecia en el mes de enero de 2010. En éste la laguna disminuye un 46,6% del total alcanzado en el mes de octubre, pasando de 268,79 (2,6 km<sup>2</sup>) a 143,37 hectáreas (1,4 km<sup>2</sup>), es decir, perdiendo más de 100 hectáreas de área total.

Esta pérdida se ve reflejada en el retroceso del cuerpo de agua en cada una de las sub-lagunas. La laguna norte pierde casi la totalidad del área ganada en el período junio-octubre (90,2%), quedando con apenas 0,47 hectáreas. En el caso de la laguna noroeste, ésta disminuye su nivel a la mitad (51%), perdiendo gran parte del área oeste, la cual había experimentado una importante alza en el período junio-octubre.

La laguna central, aunque no baja porcentualmente tanto como las 2 anteriores sub-lagunas (38,2%), desciende 75 hectáreas. Finalmente, la laguna que disminuye más es la laguna sur, con una baja de 87,3% con respecto a octubre, lo que equivale pasar de 31,38 a solo 3,96 hectáreas en enero.

El decrecimiento del cuerpo de agua de octubre a enero no es tan homogéneo como lo era de junio a octubre, concentrándose principalmente en la parte nororiente y sur de la Laguna de Batuco. La tabla N°20 muestra las superficies totales y parciales de cada uno de los períodos trabajados.

**Tabla N°20:** Superficie y porcentaje que representan por sub-laguna para todos los períodos.

Sub-laguna		Laguna norte	Laguna noroeste	Laguna central	Laguna sur	Total	
Superficie (ha)	Junio 2009	C.A.D	-	21,78	53,61	13,71	89,1
		C.A.C.V	-	6,15	122,07	10,38	138,6
		<b>Sub-total</b>	-	<b>27,93</b>	<b>175,69</b>	<b>24,09</b>	<b>227,71</b>
		% del total	0%	12%	77%	11%	100%
	Octubre 2009	C.A.D	4,87	28,08	73,47	20,80	127,22
		C.D.C.V	0	8,24	122,75	10,58	141,57
		<b>Sub-total</b>	<b>4,87</b>	<b>36,32</b>	<b>196,22</b>	<b>31,38</b>	<b>268,79</b>
		% del total	2%	13,50%	73,00%	11,70%	100%
	Enero 2010	C.A.D	0,47	14,43	23,16	2,43	40,49
		C.A.C.V	0	3,34	98,01	1,53	102,88
		<b>Sub-total</b>	<b>0,47</b>	<b>17,77</b>	<b>121,17</b>	<b>3,96</b>	<b>143,37</b>
		% del total	0%	12,40%	84,50%	2,80%	100%
	Marzo 2010	C.A.D	-	0,77	1,01	-	1,78
		C.D.C.V	-	0,29	4,69	-	4,98
		<b>Sub-total</b>	-	<b>1,06</b>	<b>5,70</b>	-	<b>6,76</b>
		% del total	0%	15,70%	84,30%	0%	100%

*Fuente:* Elaboración propia, 2010.

El siguiente período que va de enero a marzo de 2010, aunque es un período de tiempo relativamente corto, muestra un descenso casi total en el cuerpo de agua de la laguna. En esta etapa, la laguna disminuye más de un 95%, concentrándose el agua sólo en las lagunas central y noroeste.

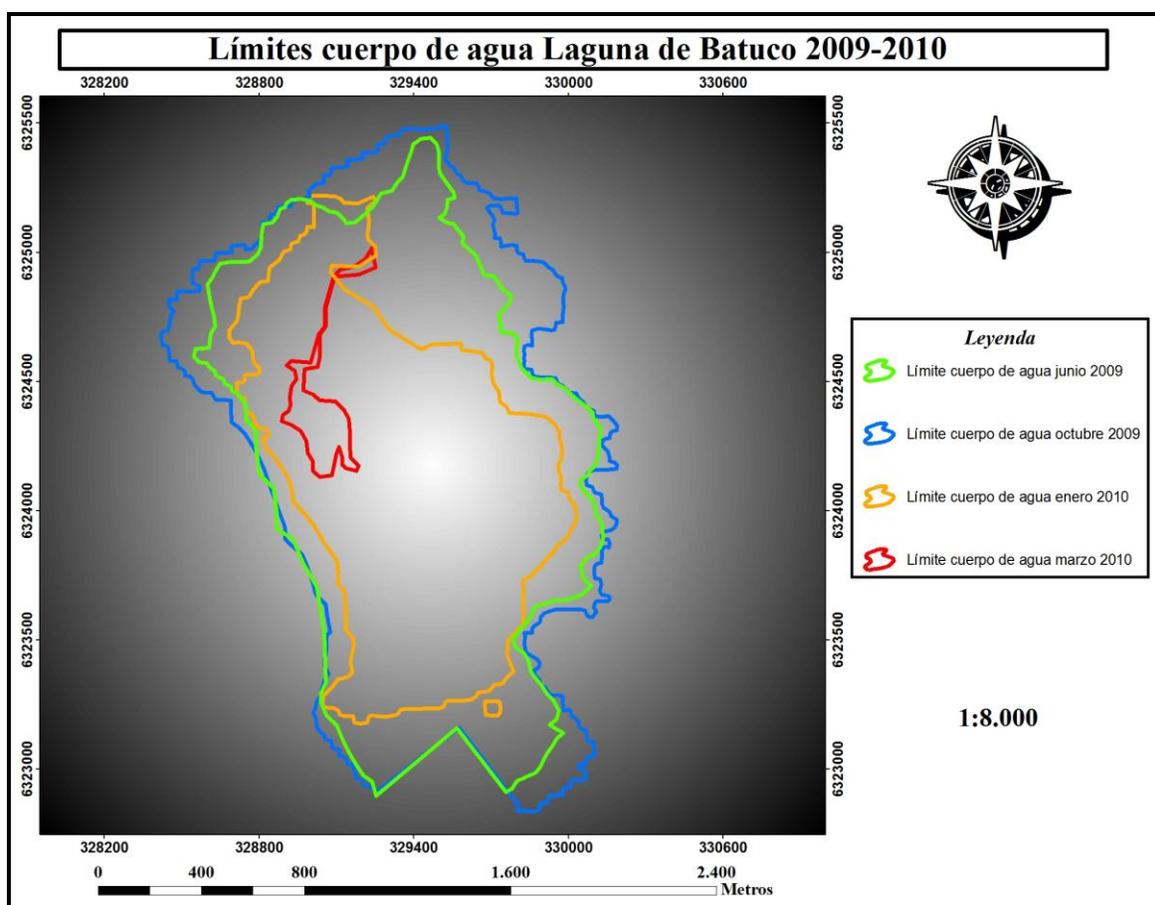
Las sub-lagunas sur y norte para marzo ya perdieron completamente sus escasas 3,96 hectáreas y 0,47 hectáreas, respectivamente, que tenían en el mes de enero y, a su vez, la

laguna central baja su aporte de agua en un 95,2%, mientras que la laguna noroeste lo hace en un 94%.

La disminución tan marcada del cuerpo de agua que se produce de enero a marzo de 2010 se explica fundamentalmente por 4 factores: escasas precipitaciones y altas temperaturas promedio en la zona, la disminución del caudal proveniente de La Cadellada y la intervención antes descrita por parte del señor Joaquín Achurra.

La figura N°40 complementa cartográficamente la información entregada en la tabla N°20, mostrando los límites del cuerpo de agua de la laguna para los 4 períodos analizados.

**Figura N°40:** Límites del cuerpo de agua para los 4 períodos trabajados.



*Fuente:* Elaboración propia, 2010.

Ahora bien, si se toma como supuesto el que la Laguna de Batuco se comporta de una manera similar en junio de 2009 y junio de 2010 se puede completar el ciclo anual de crecidas y pérdidas del cuerpo hídrico de la laguna.

Luego de superados los períodos de fuerte disminución del cuerpo de agua, se suceden nuevamente las etapas de crecimiento; en el caso del período marzo-junio la laguna crece alrededor de 32 veces en relación a la superficie que presentaba en marzo de 2010.

Este crecimiento se ve reflejado en todas las sub-lagunas a excepción de la laguna norte la cual permanece seca en el mes de junio. Para el caso de la laguna noroeste la crecida fue de 25 veces la dimensión que tenía en marzo de 2010, recuperando el área que generalmente se encuentra cubierta de agua. La laguna central, por su parte, es la sub-laguna que porcentualmente aumenta más su cuerpo de agua, con un aumento de 30 veces el valor que presentaba en marzo. Finalmente, la laguna sur aumentó su área a 24 hectáreas dejando atrás su período de sequedad absoluta que solo se presenta alrededor del mes de marzo.

### **8.3.3.- Análisis del comportamiento de la laguna períodos entre 1986 y 2007**

El análisis del comportamiento de la laguna en los períodos entre 1986 y 2007 consiste en observar la dinámica de la Laguna de Batuco en un lapso mayor al analizado anteriormente. Los períodos trabajados corresponden a enero de 1986, agosto de 1990, febrero de 1991, enero de 1993, agosto de 1993, marzo de 1996, septiembre de 1996, septiembre del año 2000, abril de 2001, marzo de 2004, septiembre de 2004, marzo de 2007 y septiembre de 2007.

Todos estos períodos, a excepción de enero de 1986, representan un ciclo continuo de invierno y verano en la laguna, que permite observar tanto el comportamiento de ésta en dichos ciclos anuales como la dinámica en el lapso de los últimos 20 años.

#### **8.3.3.1.- Enero de 1986**

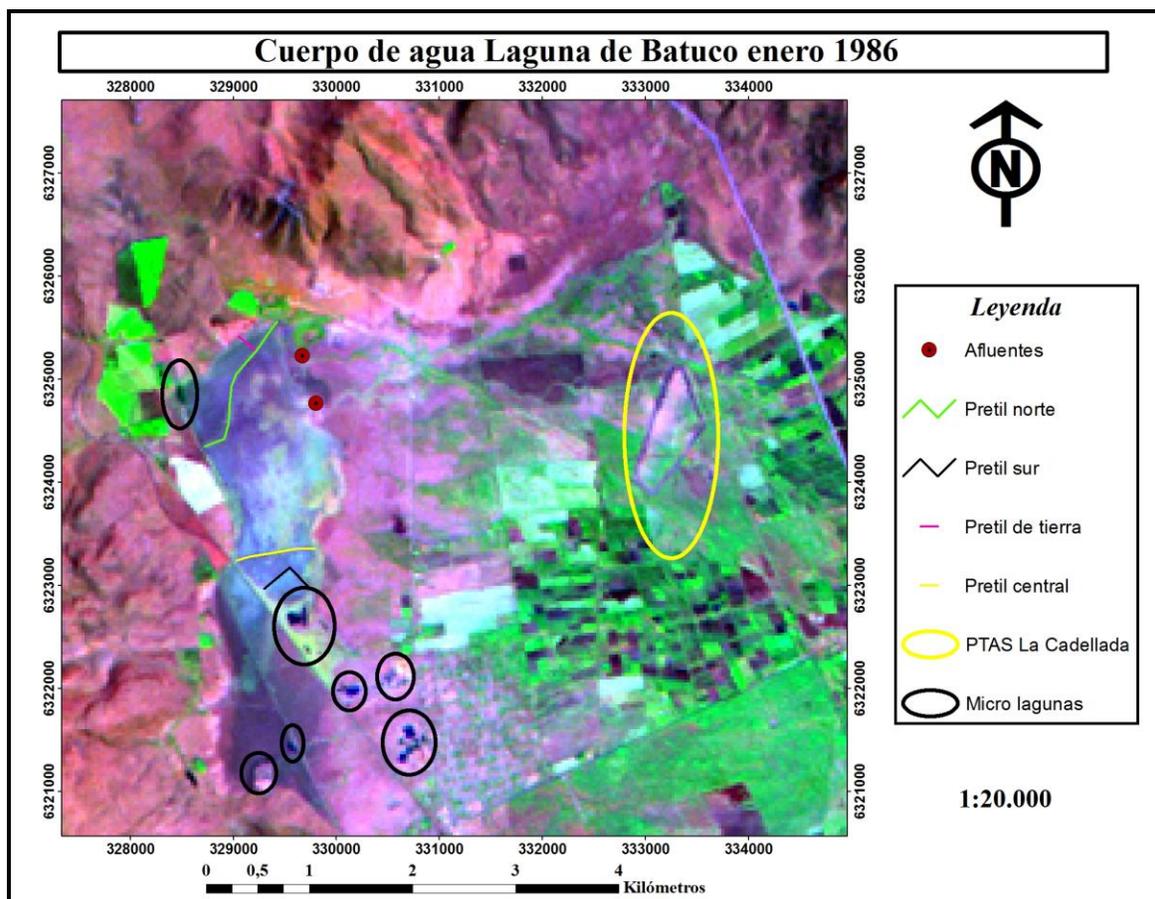
Para comenzar con el análisis del comportamiento de la laguna durante los períodos de 1986 y 2007 se trabajó con una imagen de enero de 1986. Dicha imagen muestra un panorama completamente distinto a lo que actualmente se puede observar en el área de estudio.

Aunque la PTAS La Cadellada técnicamente empezó a operar el año 1985, en la práctica esta situación no está tan clara, ya que en 1986 su injerencia sobre la laguna es nula. Por otra parte, la empresa Cerámicas Santiago todavía no interviene de manera significativa la parte sur de la laguna, por lo que la extracción de agua es baja.

Este primer período de análisis sirve, más que nada, para entender cómo funcionaba la Laguna de Batuco antes de la década del '90, década en la cual comienzan a ocurrir fuertes modificaciones alrededor de la laguna y que definen en gran medida la cantidad de agua que ésta es capaz de almacenar.

Observando la figura N°41, se aprecia que la laguna no presenta un cuerpo de agua principal en este período, sino una serie de microlagunas a su alrededor que se ubican preferentemente en la parte sur.

**Figura N°41:** Cuerpo de agua de la Laguna de Batuco enero de 1986.



*Fuente:* Elaboración propia, 2010.

### 8.3.3.2.- Agosto de 1990 y febrero de 1991

La Laguna de Batuco en agosto de 1990 presentaba un cuerpo de agua total de 49,88 hectáreas, mientras que, 6 meses después, en febrero de 1991 la laguna se encuentra casi totalmente seca, observándose algunos rasgos de agua en la zona próxima a los afluentes y en menor medida en la parte norte del pretil norte.

En agosto, se tiene que el cuerpo de agua de la laguna exhibe una importante área desprovista de cobertura en la parte norte, situación debida principalmente a que las aguas de dicha área se evaporaron por la baja profundidad del cuerpo y el bajo caudal que alimentó a la laguna durante el mes de agosto de 1990.

La dinámica de la laguna, en este período, está dada por el aporte, principalmente, del afluente 2, el que contribuye con agua, que se puede apreciar en las cercanías a éste, además de ser el flujo que se observa alrededor de la zona desprovista de cobertura de agua. Dicho flujo, al encontrarse con la barrera que le supone el pretil norte, comienza a desplazarse en dirección sur, evidenciando la forma de la laguna que se aprecia en la figura N°42.

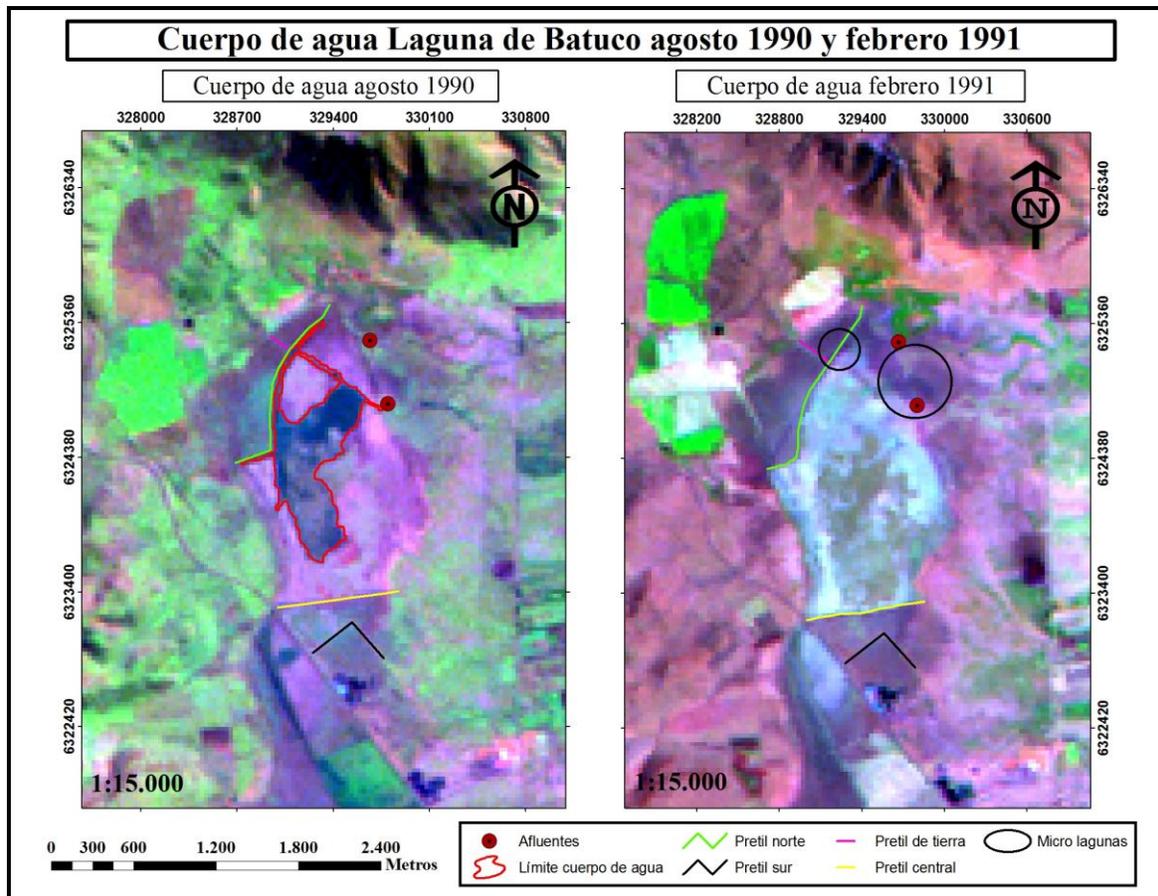
Por otra parte, al oeste del pretil norte en la laguna noroeste se puede apreciar una zona que, aunque no presenta agua propiamente tal, evidencia la presencia de humedad. Dicha situación se explica en parte porque el pretil norte en el año 1990 todavía no presenta el desgaste que se pudo apreciar en el análisis del año hidrológico 2009-2010 por lo que éste no permite el paso directo del agua desde la laguna central además, el agua que seguramente se almacenó durante los meses de junio y julio en esta parte de la laguna no fue la suficiente para mantener cierto nivel de agua durante agosto.

Una situación un tanto similar ocurre al sur de la laguna, donde, al igual que en la laguna noroeste, se encuentra una importante zona de humedad. Esta zona se explica, por un lado, porque la cantidad de agua recibida por el sur de la laguna durante los meses de junio y julio no fue relativamente importante y el flujo de agua que continuó recibiendo la laguna durante agosto no fue lo suficientemente caudaloso como para cubrir la laguna sur con una cantidad de agua con la que fuera posible observar la presencia de un cuerpo hídrico significativo.

Además de lo anterior, se tiene que gran cantidad del agua de la parte sur de la laguna fue evacuada por el efluente que se ubica en las proximidades de ésta. Es importante destacar que dicho efluente no es el mismo del cual se trató en el análisis del año hidrológico 2009-

2010 (ver punto 8.3.1, página 97), debido a que ese efluente es de carácter artificial, construido el año 1998, en cambio el efluente de la laguna en el año 1990 puede ser considerado como natural.

**Figura N°42:** Cuerpo de agua de la Laguna de Batuco agosto de 1990 y febrero de 1991.



*Fuente:* Elaboración propia, 2010.

Para el caso de febrero de 1991, la laguna ha perdido casi el 100% del total de agua que se observaba en el pasado agosto. De todas formas es posible evidenciar algunas zonas con presencia más o menos importante de agua, aunque no se pueda hablar de cuerpo de agua propiamente tal. Estas zonas con presencia de agua son el área aledaña al afluente 2 y el costado oriente del pretil norte, especialmente en la parte norte de éste, mostrando cierta concordancia con la situación ocurrida en el pasado mes de agosto.

Una de las principales razones de porque la laguna se encuentra casi totalmente seca en febrero de 1991 es el alto estrés hídrico al que está expuesta en esta época del año, pero también se debe a que la PTAS La Cadellada, aunque se encuentra en funcionamiento, todavía no entrega un aporte significativo que pueda asegurar cierta cantidad de agua a la laguna, especialmente en los meses de verano.

### **8.3.3.3.- Enero y agosto de 1993**

La Laguna de Batuco en enero de 1993 presentaba un cuerpo de agua total de 151,04 hectáreas (1,51 km<sup>2</sup>) y en agosto del mismo año este aumentó a 318,55 hectáreas (3,18 km<sup>2</sup>). El valor total del cuerpo de agua para agosto de 1993 representa el área total más grande de todos los períodos trabajados en esta investigación. Esto se debe principalmente a la gran extensión que la laguna presenta hacia el sur, tamaño que hoy en día sería imposible de lograr gracias a la fuerte intervención antrópica.

Para el caso de la laguna en enero de 1993, se observa una importante área con cobertura de agua, a diferencia de febrero de 1991 donde la laguna se encontraba prácticamente seca. El caudal aportante principal en este período llega exclusivamente a través del afluente 1, siendo el afluente 2 casi imperceptible. Esta situación indica que el agua almacenada dentro de la Laguna de Batuco en este período proviene fundamentalmente de componentes asociados al ciclo hidrológico, situación que concuerda con la presencia del fenómeno del Niño (oscilación del sur) unos meses antes en el área de estudio, el que trae consigo un aumento en las precipitaciones y de la humedad en toda la Región Metropolitana.

Sin embargo, este aumento en el caudal del afluente 1 no es suficiente para poder cubrir la totalidad de la superficie de las sub-lagunas noroeste y sur, las cuales se encuentran con una cobertura muy pequeña de sus áreas totales cubiertas por agua. De todas formas ambas sub-lagunas tienen en su interior importantes zonas húmedas, las cuales son inusuales en esta época del año. La laguna central, por su parte, tampoco escapa a lo anterior, presentando una amplia superficie de agua descubierta en su costado nororiente. La laguna norte se encuentra completamente seca.

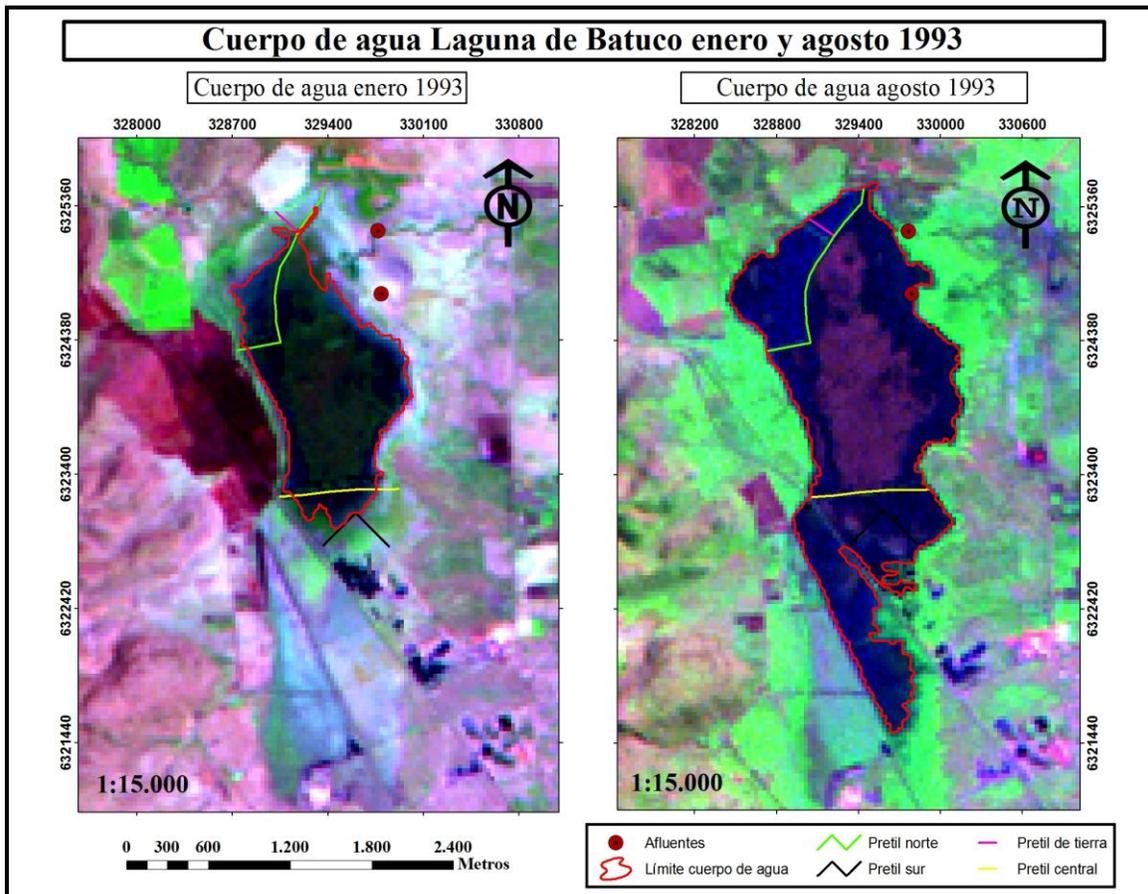
A diferencia de lo ocurrido en el año 1990, en enero de 1993 el pretil norte permite el traspaso de agua superficial desde la laguna central hacia la laguna noroeste, cambiando en cierta forma la fisonomía de la laguna. El cambio mencionado anteriormente, como también el cuerpo de agua de la Laguna de Batuco en enero de 1993, puede apreciarse en la figura N°43.

Ahora bien, tomando en cuenta el caso del cuerpo de agua de la laguna en agosto de 1993 (figura N°43), se tiene que su forma y su gran cantidad de superficie cubierta de agua se debe a 2 factores principales, en primer lugar a la alta disponibilidad de agua en ese invierno y en segundo lugar a la baja intervención que la parte sur de la laguna presentaba en esos años.

En relación directa con lo anterior, se tiene que el cuerpo de agua en agosto de 1993 es el único período en el cual la laguna sobrepasa con creces su área habitual de almacenamiento en más de 50 hectáreas, sobrepasando barreras tales como el pretil sur y, posteriormente, la línea del tren. Es importante destacar el hecho que aunque para delimitar la laguna durante el año hidrológico 2009-2010 no se consideraron ciertas zonas que las imágenes mostraban como cubiertas de agua, por razones expuestas en el punto 8.3.2.1 de la página 107, en esta oportunidad la necesidad de considerar toda el área sur de la laguna como parte del cuerpo de agua total se hizo más que evidente.

Complementariamente a lo visto en enero del mismo año, en agosto también es posible observar que, si bien el pretil norte permite el paso del agua desde la laguna central al costado noroeste de la laguna, este traspaso de agua se efectúa más que nada por rebalse de la misma que por el flujo directo de agua que aquella pueda aportar, apreciándose todo el costado noroeste con un nivel de agua menor que el del resto de la laguna.

Figura N°43: Cuerpo de agua de la Laguna de Batuco enero y agosto de 1993.



Fuente: Elaboración propia, 2010.

#### 8.3.3.4.- Marzo y septiembre de 1996

La Laguna de Batuco en marzo de 1996 se encuentra prácticamente seca, presentando una pequeña mancha de agua en la zona de recepción del afluente 2. Por su parte, la laguna en septiembre del mismo año presenta un cuerpo de agua total de 172,16 hectáreas (1,72 km<sup>2</sup>), lo que representa una baja cobertura para esa época del año.

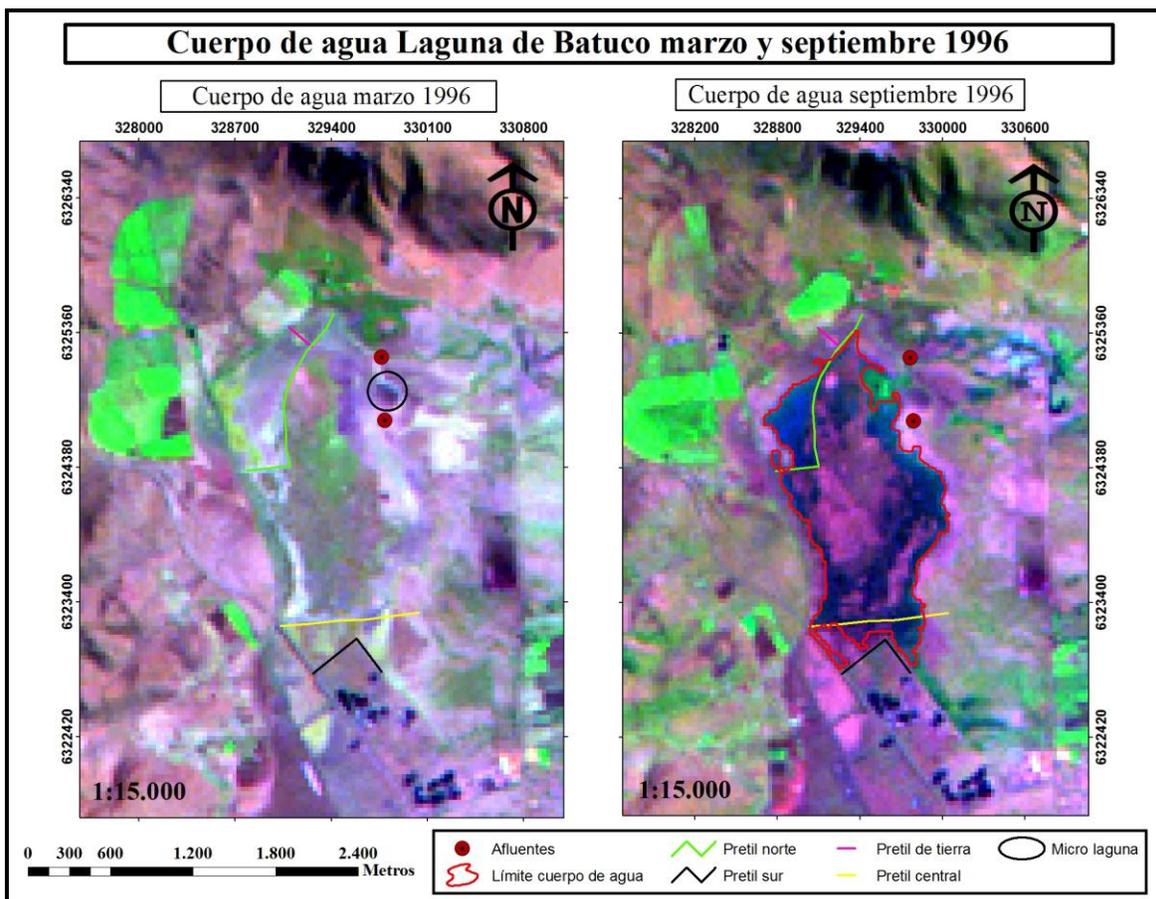
La situación de la laguna en marzo de 1996 se explica en parte por el escaso volumen de precipitaciones que la Región Metropolitana recibió en la pasada temporada invernal, la que fue cercana a la mitad de un año normal. Esto ayudado, en gran medida, por el fenómeno de La Niña que ocurrió durante el año 1995, el cual se traduce en una baja en las

precipitaciones totales debido al impedimento del ingreso de sistemas frontales y desarrollo de nubosidad en toda la zona central y sur del país.

Por otra parte, la PTAS La Cadellada, que en la actualidad aporta un importante caudal, sobre todo en los meses de verano, se encontraba en marzo de 1996 con 1/3 del total de su área cubierta de agua, por lo que su potencial aporte a la laguna también se vió mermado.

En cuanto al cuerpo de agua de la laguna en septiembre de 1996, se tiene que muestra un importante déficit en su área total de cobertura. El déficit antes mencionado es, en general, homogéneo en cada uno de los límites de la laguna, por lo que el retroceso del cuerpo de agua en sectores que generalmente ocupa en esta época del año se produjo de forma equilibrada. Ambos períodos del año 1996 se presentan en la figura N°44.

**Figura N°44:** Cuerpo de agua de la Laguna de Batuco marzo y septiembre de 1996.



*Fuente:* Elaboración propia, 2010.

### **8.3.3.5.- Septiembre 2000 y abril 2001**

El cuerpo de agua total de la laguna en septiembre del año 2000 fue de 279 hectáreas (2,79 km<sup>2</sup>). Por su parte, 7 meses después, en abril de 2001 el cuerpo de agua total es de 90 hectáreas. En general la forma de la laguna en los meses de invierno a partir del año 2000 comienza a ser bastante similar, a diferencia de lo que se comprobó entre 1990 y 1996. Lo anterior se debe en parte a la creación del efluente artificial por el señor Pedro Rojas en el año 1998, quien consolidó la intervención que la parte sur de la laguna venía presentando varios años antes.

En relación a lo anterior, los meses de máximo estrés hídrico (verano) a partir del año 2000 también comienzan a exhibir un comportamiento similar. Lo más importante es la gran cantidad de agua que la laguna comienza a acumular en estos meses, a diferencia de la década pasada donde se comprobó en algunas oportunidades que aquella se encontraba prácticamente seca. Como factor fundamental de dicha situación se menciona el mayor flujo proveniente de la PTAS La Cadellada que compensa la falta de precipitaciones y la baja humedad estacional. La gran excepción a esta circunstancia se produce en marzo de 2010, donde la laguna presentó muy poca agua.

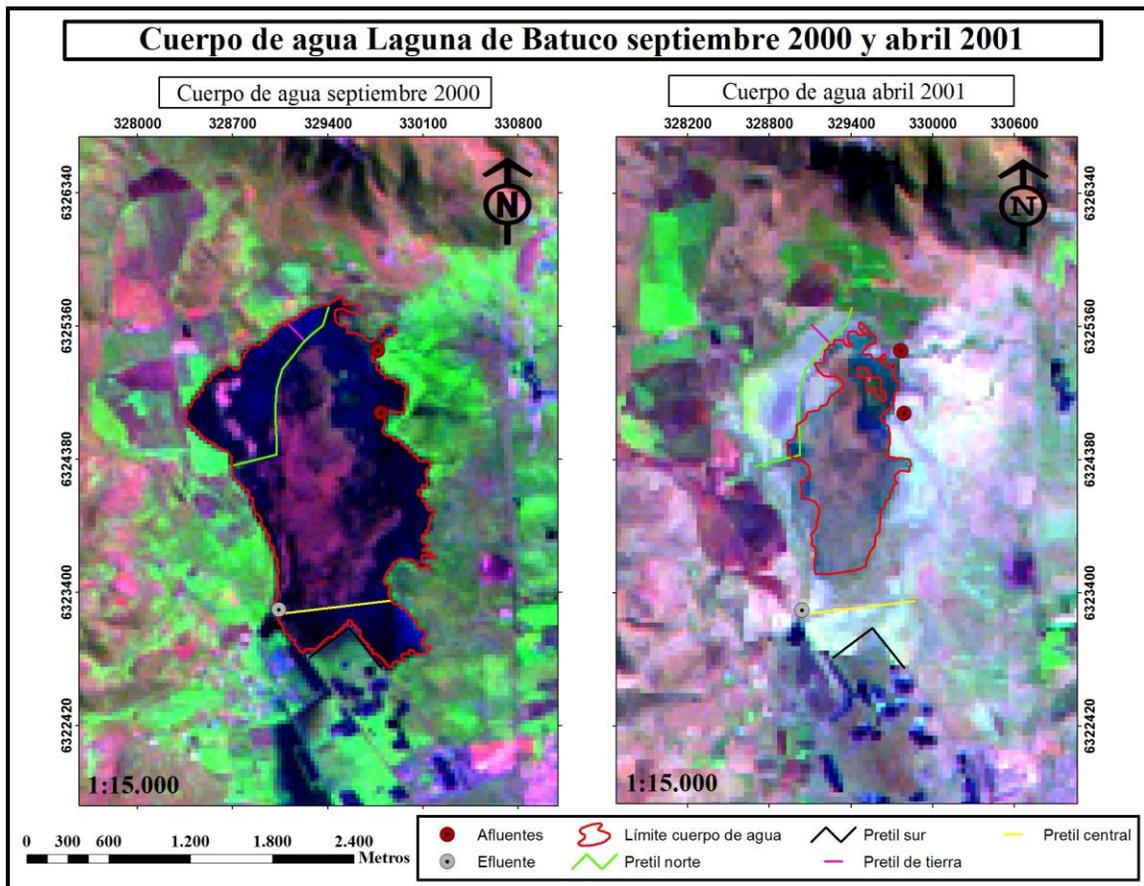
Las 279 hectáreas que presenta la laguna en septiembre del año 2000 poseen algunas particularidades, 1 de ellas tiene relación con su límite norte, el que se extiende más allá de la zona en la que generalmente se encuentra. Las zonas húmedas alrededor de la laguna en este período son bastante pronunciadas, sobre todo en el costado nororiente de ésta.

En el año 2000, los pretiles presentaron un comportamiento parecido al que poseen actualmente. Es decir, el pretil norte en su parte sur permite el paso del agua superficialmente, al igual que el pretil central, mientras que el pretil sur, el pretil de tierra que separa la laguna norte con la laguna noroeste y el pretil norte (en su parte norte) actúan como una barrera para el agua. En cuanto a la profundidad del agua en septiembre del año 2000, se tiene que es en general homogénea, a excepción de la zona que ocupa la laguna norte y el costado este de la laguna sur, donde la profundidad es menor.

Ahora bien, considerando el cuerpo de agua de la laguna en abril de 2001, éste se encuentra fundamentalmente dentro del área comprendida por la laguna central y una muy pequeña zona de la laguna noroeste, sector por el cual las aguas de ambas sub-lagunas se unen. En la parte norte del cuerpo de agua, sector entre ambos afluentes, se ubica una pequeña franja desprovista de agua, pero cubierta por zonas húmedas. Alrededor de la laguna en este período se puede apreciar una importante área que ha sido sometida a evaporación, relegando a las zonas húmedas sólo a la parte norte de ésta.

A pesar que la PTAS La Cadellada no se encontraba funcionando con la misma capacidad con la que lo hace en la actualidad, el caudal que le aporta a la laguna permitió mantener un nivel de agua considerable para el mes de abril. Ambos cuerpos de agua tratados en este punto se pueden apreciar a continuación.

**Figura N°45:** Cuerpo de agua de la Laguna de Batuco septiembre 2000 y abril 2001.

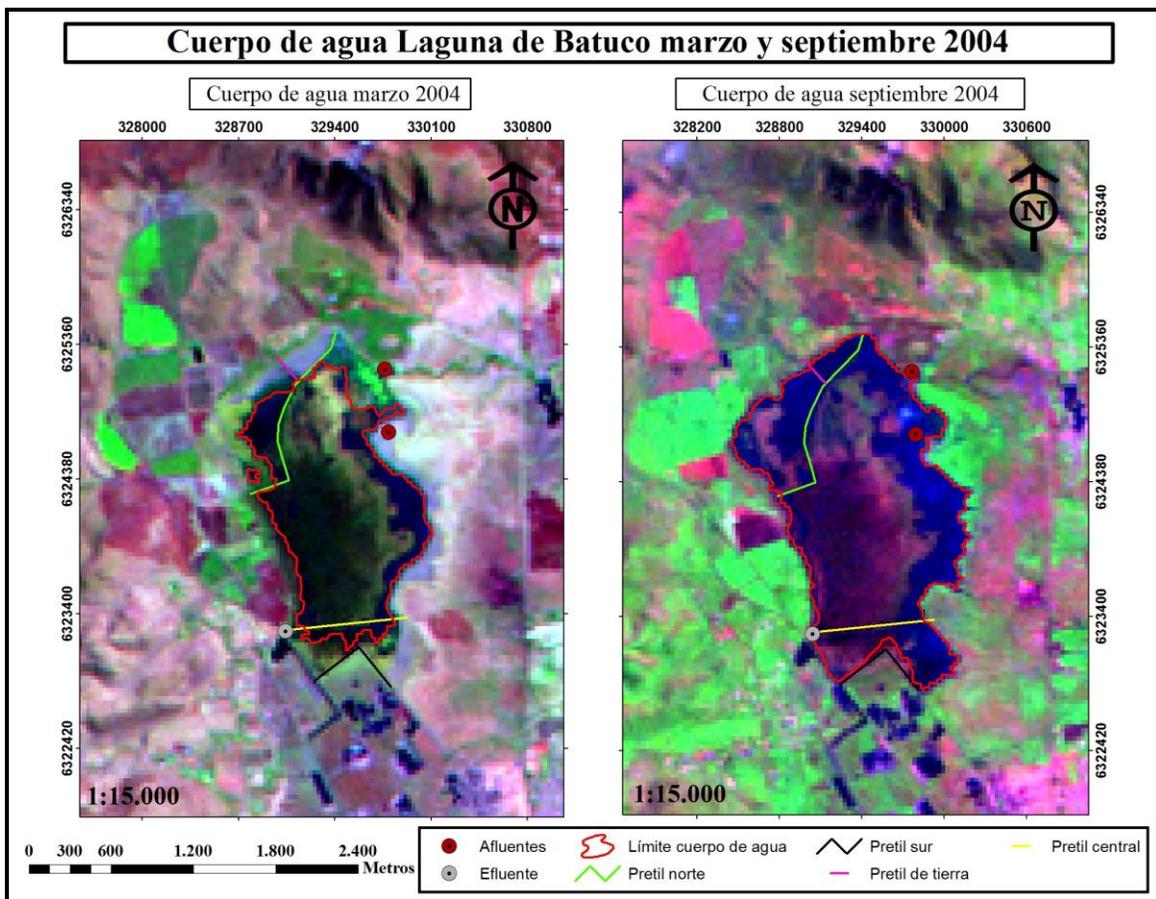


*Fuente:* Elaboración propia, 2010.

### 8.3.3.6.- Marzo y septiembre de 2004

El cuerpo de agua total de la laguna en marzo de 2004 es de 161 hectáreas (1,61 km<sup>2</sup>). A su vez, en septiembre del mismo año la laguna presentó un cuerpo de agua total de 255 hectáreas (2,55 km<sup>2</sup>). Ambos períodos del año 2004 se presentan en la figura N°46.

**Figura N°46:** Cuerpo de agua de la Laguna de Batuco marzo y septiembre de 2004.



*Fuente:* Elaboración propia, 2010.

La laguna en marzo de 2004 se encuentra cubierta de agua fundamentalmente al interior de la laguna central, aunque en esta oportunidad dicha situación no es tan marcada como en el período pasado de verano analizado, ya que tanto la laguna sur como la laguna noroeste tienen un área más importante ocupada por el agua.

En el costado este de la laguna, se puede apreciar una zona que muestra que el límite del cuerpo de agua unos meses antes se extendía un poco más de lo que se puede ver en la figura N°46, esta zona de retroceso es de carácter leve, ya que inmediatamente después de dicho límite el cuerpo de agua presenta una cantidad considerable de recurso hídrico almacenado. En general, a los costados de la laguna se aprecian algunas zonas cubiertas por vegetación con suelos que denotan algún grado de humedad.

La Laguna de Batuco en el mes de septiembre de 2004 muestra que todas las sub-lagunas se encuentran con una cantidad considerable de agua en su interior y la laguna en general presenta una cantidad total de agua que se acerca bastante al máximo almacenable.

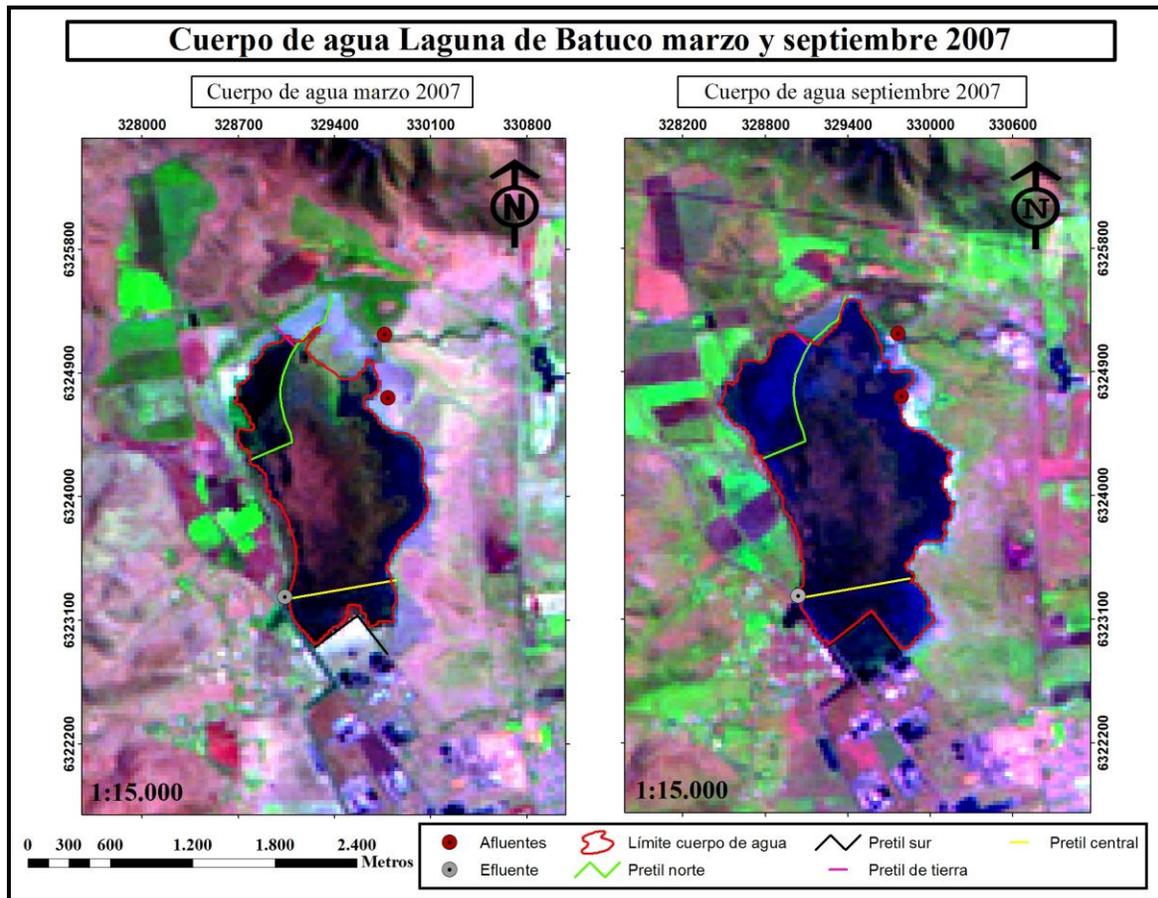
#### **8.3.3.7.- Marzo y septiembre de 2007**

La Laguna de Batuco en marzo de 2007 presenta un cuerpo de agua total de 184 hectáreas (1,84 km<sup>2</sup>), siendo este valor el más importante de todos los períodos de verano trabajados. En cuanto al mes de septiembre del mismo año, se tiene que el cuerpo de agua total es de 239 hectáreas (2,39 km<sup>2</sup>). Ambos cuerpos de agua del año 2007 se observan en la figura N°47.

En marzo de 2007 la mayor cantidad de agua se concentra principalmente en la parte centro-sur de la laguna. Toda la parte norte, especialmente el costado noreste, se encuentra descubierta de agua. El costado este de la laguna muestra zonas de retroceso a lo largo de toda su extensión, especialmente en la parte norte y sur de ésta.

En ambos meses del año 2007 el caudal aportante que llega a la laguna lo hace principalmente a través del afluente 1, siendo muy importante su aporte en el mes de marzo.

Figura N°47: Cuerpo de agua de la Laguna de Batuco marzo y septiembre de 2007.



Fuente: Elaboración propia, 2010.

Las 239 hectáreas de la laguna en septiembre del año 2007 se encuentran distribuidas principalmente en las sub-lagunas central, noroeste y sur. La cantidad de agua requerida para llenar la laguna central no se encuentra disponible durante este período, por lo que la laguna norte se observa desprovista de agua.

Lo anterior también se ve reflejado en la cantidad de agua que hay en la laguna noroeste y en partes de las sub-lagunas sur y central, en las cuales se observa una profundidad menor que en las restantes zonas cubiertas por agua.

Para finalizar el análisis del comportamiento de la laguna durante los períodos entre 1986 y 2007, la tabla N°21 muestra el resumen de las áreas totales para cada uno de los períodos anteriormente presentados, además de una primera aproximación en relación a la diferencia de dichas áreas y su contraste con las obtenidas durante el año hidrológico 2009-2010. Considerando dicha tabla se tiene que 3 de los 13 períodos trabajados no presentaron una cantidad mínima de agua como para poder hablar del cuerpo de agua Laguna de Batuco propiamente tal, tomando en cuenta la variabilidad de los otros 10 períodos restantes.

En relación a lo anterior, una serie de microlagunas dispersas en el área donde se ubica la Laguna de Batuco no constituyen el cuerpo de agua de ésta debido a que dichas microlagunas muchas veces presentan superficies menores a una hectárea y fundamentalmente porque no constituyen un único cuerpo hídrico consolidado.

Es importante destacar que las comparaciones entre los períodos 1986-2007 y el año hidrológico 2009-2010 (que muestra la tabla N°21) se realizaron mediante la comparación de 2 períodos lo mas concordante posibles, por ejemplo septiembre 1996 - octubre 2009 y abril 2001 - marzo 2010. La única excepción se produce en la comparación agosto 1993 - octubre 2009 en la cual se comparo el mes de agosto con octubre (por sobre junio) por ser una comparación más interesante por las características propias del invierno del año 1993 y del mes de octubre de 2009.

Ahora bien, la progresión temporal de lo sucedido en la laguna los últimos 24 años muestra que de la laguna seca de 1986 se pasó a una laguna con un escaso cuerpo de agua de cerca de 50 hectáreas en el invierno de 1990, cantidad que para el verano siguiente se había reducido a 0 nuevamente. El verano de 1993 se muestra totalmente diferente al del período anterior, presentando cerca de 150 hectáreas de extensión del cuerpo de agua, lo que representa una superficie incluso mayor a la observada en el invierno del año 1990. Esta cifra para el invierno del mismo año se duplicó, llegando a tener la laguna una dimensión cercana a las 300 hectáreas, extensión que representa la cantidad máxima observada en toda la serie.

**Tabla N°21:** Resumen áreas totales para los períodos entre 1986-2007 y sus respectivos porcentajes de diferencia.

Períodos	Área total del cuerpo de agua (ha)	% de diferencia con respecto al año hidrológico 2009-2010	% de diferencia con el período anterior	% de diferencia invierno/verano anterior
Enero 1986	Laguna seca	100% menor que verano 2010	-	-
Agosto 1990	49,88	78% menor que junio 2009	100% mayor	-
Febrero 1991	Laguna seca	100% menor que verano 2010	100% menor	0%
Enero 1993	151,04	5% mayor que enero 2010	100% mayor	100% mayor
Agosto 1993	318,55	19% mayor que octubre 2009	111% mayor	538% mayor
Marzo 1996	Laguna seca	100% menor que verano 2010	100% menor	100% menor
Septiembre 1996	172,16	36% menor que octubre 2009	100% mayor	46% menor
Septiembre 2000	278,99	4% mayor que octubre 2009	62% mayor	62% mayor
Abril 2001	89,89	1226% mayor que marzo 2010	68% menor	100% mayor
Marzo 2004	161,28	2280% mayor que marzo 2010	79 % mayor	79% mayor
Septiembre 2004	254,61	5% menor que octubre 2009	58% mayor	9% menor
Marzo 2007	183,61	2609% mayor que marzo 2010	28% menor	14% mayor
Septiembre 2007	239,22	11% menor que octubre 2009	30% mayor	6% menor

*Fuente:* Elaboración propia, 2010.

En el verano de 1996, la laguna vuelve a encontrarse desprovista de agua en su interior, situación que 6 meses después cambia totalmente, creciendo aquella hasta llegar a las 172 hectáreas de superficie de agua. En la década del año 2000, la laguna tiende a estabilizarse, tanto en los meses de invierno como en los de verano, en torno a las 250 y 150 hectáreas, respectivamente. De esta forma, en septiembre del año 2000, la laguna se encuentra con una superficie de 279 hectáreas y posteriormente, en el verano del año 2001, esta cifra ronda en torno de las 100 hectáreas.

Los períodos de invierno y verano de los años 2004 y 2007 son los que presentan una mayor concordancia entre sí. En el verano del año 2004, la superficie de la laguna alcanza las 161 hectáreas, aumentando un 58% para el período invernal de ese mismo año (255 hectáreas). Por su parte, en el verano del año 2007 la laguna exhibió una superficie cercana a las 184 hectáreas aumentando para el período invernal hasta una superficie aproximada de 239 hectáreas, lo que significa un aumento del orden del 30%.

Finalmente, en cuanto a las diferencias de las áreas de la laguna entre los períodos entre 1986-2007 y el año hidrológico 2009-2010, se tiene que dichos cambios son, en general, leves, a excepción de lo ocurrido en agosto de 1990 - junio de 2009 y especialmente cuando se comparan los meses de abril 2001, marzo 2004 y marzo 2007 con lo sucedido en marzo del año 2010 donde las diferencias son muy marcadas.

### **8.3.4.- Análisis de las zonas de aumento y retroceso del humedal considerando el año hidrológico 2009-2010 y los períodos entre 1986 y 2007**

Para el análisis de las zonas de retroceso y aumento del cuerpo de agua de la Laguna de Batuco se consideraron 2 aproximaciones diferentes. En primer lugar, comparar el comportamiento de todos los períodos del intervalo 1986-2007 con el año hidrológico 2009-2010 y determinar las zonas de aumento y retroceso para cada una de esas combinaciones y, por otro lado, comparar el cuerpo de agua de la laguna en períodos de superávit y déficit hídrico consecutivos, hasta llegar finalmente al año 2010. El criterio para definir los períodos de comparación, en el primer caso, es el mismo que se efectuó para realizar la tabla N°21 (página 144). Al primer tipo de comparación se le llamó directa, mientras que a la segunda correlativa. Cabe añadir que enero de 1986, febrero de 1991 y marzo de 1996 no presentaron cuerpo de agua, por lo que dichos períodos quedan excluidos de esta etapa del análisis.

#### **8.3.4.1.- Comparaciones directas períodos de superávit hídrico**

- Comparación agosto 1990 - junio 2009

La primera comparación directa que se realizó para establecer las zonas de aumento y retroceso de los períodos de superávit hídrico fue entre agosto de 1990 y junio de 2009, la que arrojó una zona de aumento de 180,41 hectáreas y una zona de retroceso de 0,44 hectáreas, cifra, esta última que resulta completamente insignificante dado el aumento producido entre el invierno de 1990 y el invierno de 2009. La zona de aumento entre ambos períodos representa un 362%, mientras que la zona de retroceso es de apenas un 0,8%.

Este importante contraste entre ambas zonas (retroceso y aumento) está dado por la gran diferencia que existe entre las áreas que ambos cuerpos de agua presentaron; por un lado, agosto de 1990 con un área de 49,88 hectáreas y por el otro junio de 2009 con una superficie 4 veces mayor, lo que configura una amplia zona de expansión. Los 2 sectores de

la laguna que muestran un leve retroceso son la parte norte del pretil norte (del lado de la laguna central) y la zona de recepción del caudal del afluente 2.

- Comparación agosto 1993 - octubre 2009

Para el caso de agosto de 1993 y octubre de 2009, por el contrario de lo que ocurría en la comparación anterior, el proceso de retroceso es el fenómeno principal. Esto, debido a la extensa área que tenía la laguna durante el invierno del año 1993, especialmente hacia el sur del límite de la laguna a fines del invierno 2009. De esta forma, la zona de aumento alcanzó las 16 hectáreas, que representan un 5% y la zona de retroceso presentó un total de 63,81 hectáreas, lo que representa un 20% de retroceso del cuerpo de agua entre ambos períodos.

Como se dijo en el párrafo anterior, la zona de retroceso se focalizó principalmente en la parte sur de la laguna, mientras que la zona de aumento se apreció alrededor de todo el límite de ésta en octubre de 2009. La zona de aumento se comporta de manera homogénea alrededor de todo el límite de la laguna, a excepción de la parte norte, donde se aprecian más bien algunas pequeñas zonas de retroceso.

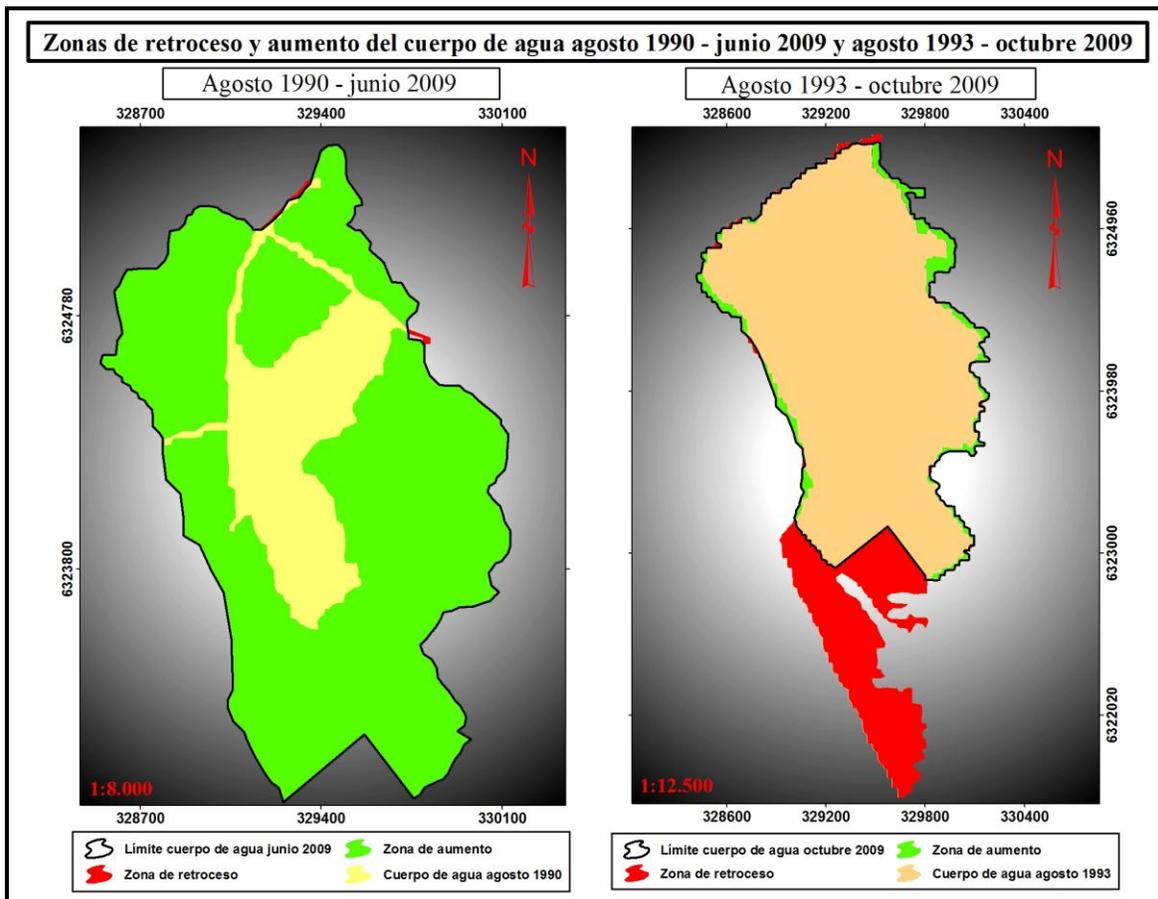
**Tabla N°22:** Resumen zonas de aumento y retroceso agosto 1990 - junio 2009 y agosto 1993 - octubre 2009.

Períodos de comparación	Zona de aumento		Zona de retroceso		Aumento Vs retroceso	
	ha	%	ha	%	ha	%
Agosto 1990 - Junio 2009	180,41	362%	0,44	0,8%	<b>+179,97</b>	<b>+361%</b>
Agosto 1993 - Octubre 2009	16	5%	63,81	20%	<b>-47,81</b>	<b>-15%</b>

**Fuente:** Elaboración propia, 2010.

Las zonas de retroceso y aumento del cuerpo de agua tanto para agosto de 1990 y junio de 2009 como para agosto de 1993 y octubre de 2009 se aprecian en la figura N°48.

**Figura N°48:** Zonas de aumento y retroceso agosto 1990 - junio 2009 y agosto 1993 - octubre 2009.



*Fuente:* Elaboración propia, 2010.

- Comparación septiembre 1996 - octubre 2009

Para esta comparación, se estableció una zona de aumento de 98,59 hectáreas que corresponde a un 57% y una zona de retroceso con escasas 0,01 hectáreas, que es un retroceso prácticamente del 0%.

Al comparar septiembre de 1996 con octubre del 2009 se apreció que toda el área que presentaba la laguna en el año 1996 se encuentra contenida dentro del cuerpo de agua de

octubre de 2009. Las zonas que muestran un mayor aumento entre ambos períodos son la laguna sur en su costado este, la laguna central en su parte noreste y la laguna noroeste que aumenta cerca del 80%. Todos los límites que tenía la laguna en septiembre de 1996 se ven incrementados de forma más o menos homogénea a lo largo de la totalidad del cuerpo de agua.

- Comparación septiembre 2000 - octubre 2009

Para el caso de septiembre del año 2000 y octubre de 2009 se produce una situación un tanto particular, ya que la zona de aumento del cuerpo de agua se localiza principalmente en los costados sur y este de la laguna, mientras que la zona de retroceso lo hace preferentemente en los costados norte y oeste. A pesar de lo anterior, la zona de retroceso de la parte norte es el proceso dominante del humedal entre ambos períodos.

La comparación arrojó una zona de aumento de 7,82 hectáreas y una zona de retroceso de 16,07, siendo estas zonas del orden del 3% y 6%, respectivamente.

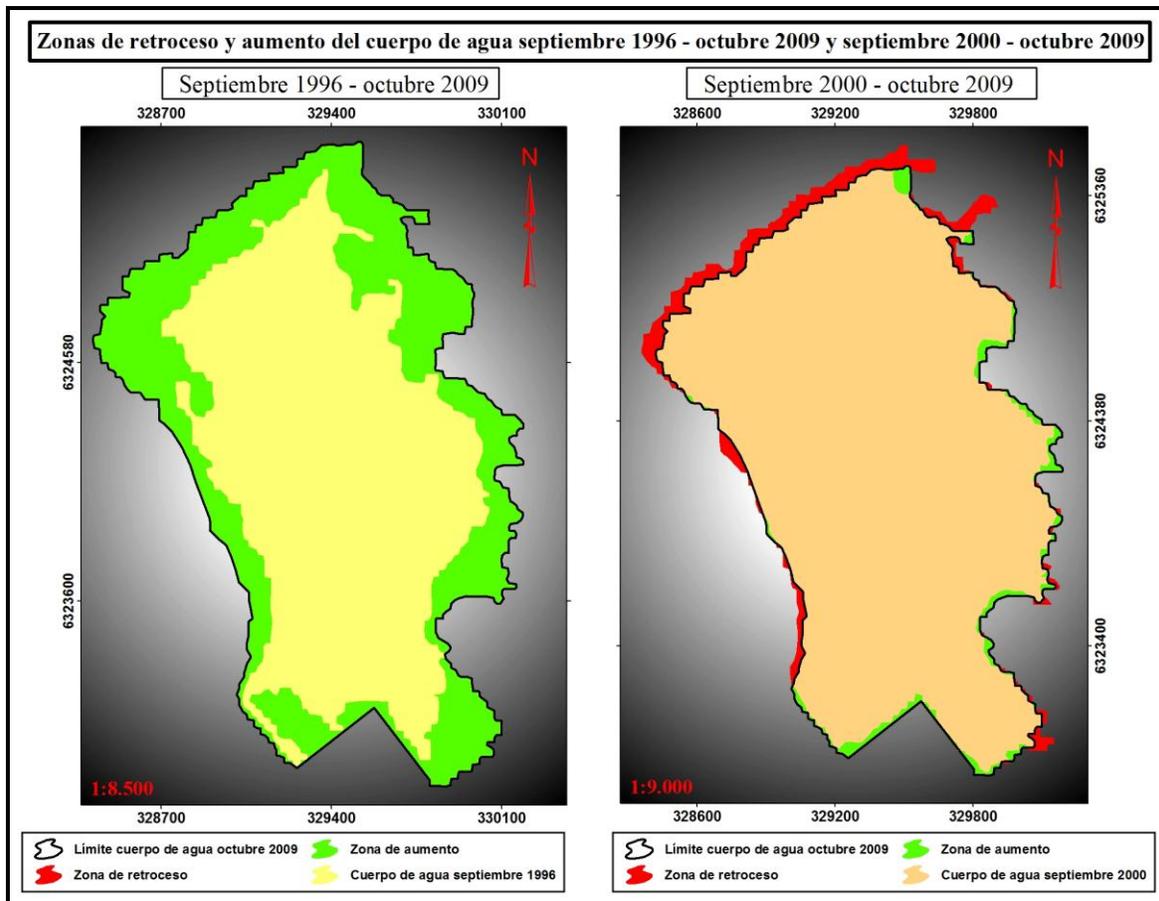
**Tabla N°23:** Resumen zonas de aumento y retroceso septiembre 1996 - octubre 2009 y septiembre 2000 - octubre 2009.

Períodos de comparación	Zona de aumento		Zona de retroceso		Aumento Vs retroceso	
	ha	%	ha	%	ha	%
Septiembre 1996 - Octubre 2009	98,59	57%	0,01	0%	<b>+98,58</b>	<b>+57%</b>
Septiembre 2000 - Octubre 2009	7,82	3%	16,07	6%	<b>-8,25</b>	<b>-3%</b>

*Fuente:* Elaboración propia, 2010.

Las zonas de retroceso y aumento del cuerpo de agua tanto para septiembre de 1996 y octubre de 2009 como para septiembre de 2000 y octubre de 2009 se aprecian en la figura N°49.

**Figura N°49:** Zonas de aumento y retroceso septiembre 1996 - octubre 2009 y septiembre 2000 - octubre 2009.



*Fuente:* Elaboración propia, 2010.

- Comparación septiembre 2004 - octubre 2009

La zona de aumento prevaleció sobre la de retroceso. En este sentido, la zona de aumento fue de 18,80 hectáreas, lo que representa un 7%, y la zona de retroceso fue de 2,67 hectáreas, lo que representa tan solo un 1% de la superficie de la laguna en septiembre de 2004.

El límite que presentaba la laguna en septiembre de 2004 se ve incrementado, en general, de manera similar en todos sus bordes. Dicho incremento, aunque es continuo, ciertamente es muy leve también, siendo ambos períodos bastante parecidos entre sí.

- Comparación septiembre 2007 - octubre 2009

El caso de septiembre de 2007 y octubre de 2009 es similar a la comparación pasada, aunque en esta situación particular la zona de aumento se hace más importante, mientras que la zona de retroceso es casi inexistente. De esta forma, la zona de aumento en esta comparación resultó de 32,28 hectáreas y la zona de retroceso fue de solo 0,76, representando la primera un incremento del 13%, mientras que la segunda tan sólo un descenso de 0,3%.

Las zonas que muestran el mayor incremento con respecto de un período al otro son la superficie ocupada por la laguna norte, la parte noreste de la laguna central y el costado sureste de la laguna sur. Por su parte, las escasas zonas de retroceso que se distinguen en esta comparación se ubican casi totalmente en la parte oriental de las sub-lagunas central y sur.

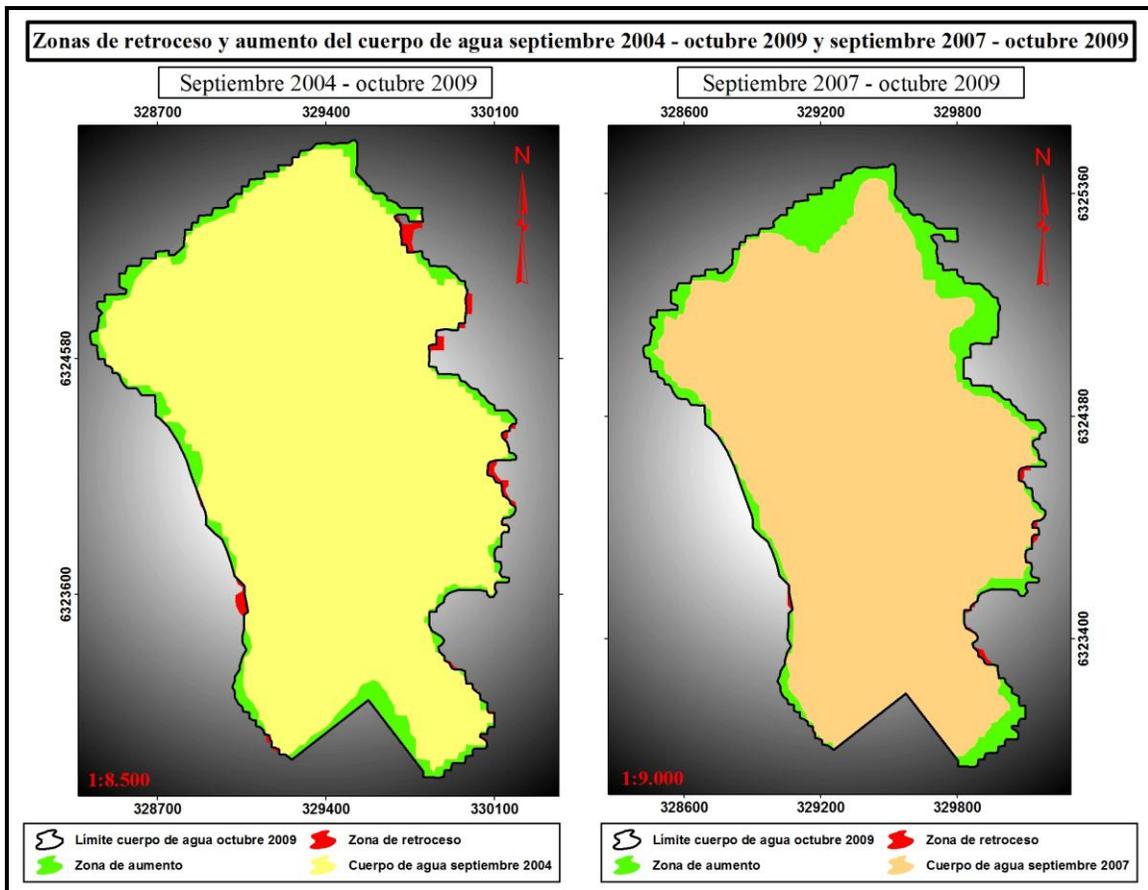
**Tabla N°24:** Resumen zonas de aumento y retroceso septiembre 2004 - octubre 2009 y septiembre 2007 - octubre 2009.

Períodos de comparación	Zona de aumento		Zona de retroceso		Aumento Vs retroceso	
	ha	%	ha	%	ha	%
Septiembre 2004 - Octubre 2009	18,80	7%	2,67	1%	<b>+16,13</b>	<b>+6%</b>
Septiembre 2007 - Octubre 2009	32,28	13%	0,76	0,3%	<b>+31,52</b>	<b>+13%</b>

**Fuente:** Elaboración propia, 2010.

Las zonas de retroceso y aumento del cuerpo de agua para septiembre del año 2004 y octubre de 2009, así como para la comparación de septiembre del año 2007 con octubre de 2009, se pueden observar en la figura N°50.

**Figura N°50:** Zonas de aumento y retroceso septiembre 2004 - octubre 2009 y septiembre 2007 - octubre 2009.

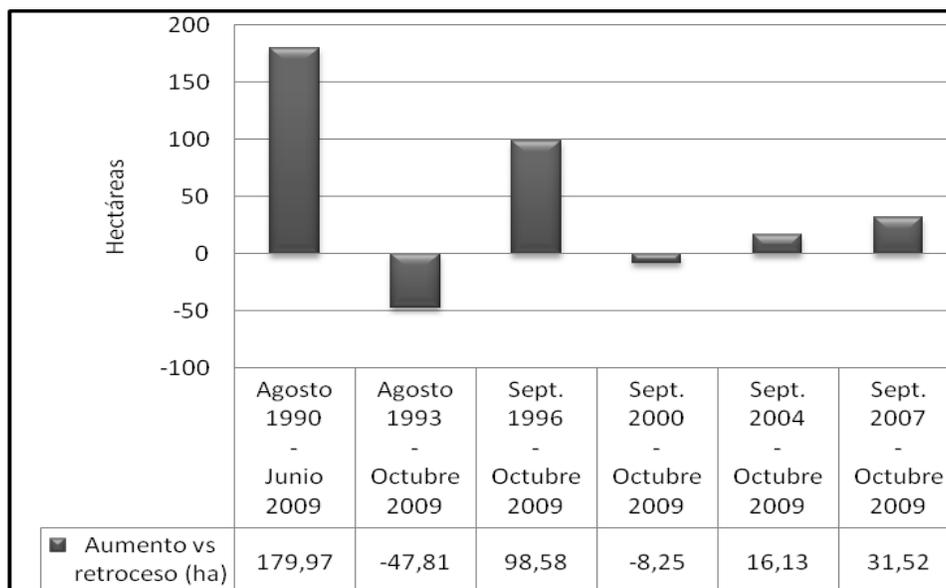


Fuente: Elaboración propia, 2010.

Tomando en cuenta la magnitud del aumento y retroceso del cuerpo de agua de la laguna bajo las comparaciones directas durante los períodos de superávit hídrico (figura N°51), se puede establecer una sucesión parcial de estos cambios. Considerando el aumento de un período a otro como **A** y el retroceso como **R**, la sucesión queda establecida de la siguiente forma:

$$A - R - A - R - A - A \quad \Rightarrow \quad 4A \text{ y } 2R$$

**Figura N°51:** Magnitud del cambio del cuerpo de agua comparaciones directas períodos de superávit hídrico.



*Fuente:* Elaboración propia, 2010.

#### 8.3.4.2.- Comparaciones directas períodos de déficit hídrico

- Comparación enero 1993 - enero 2010

La primera comparación directa que se realizó para establecer las zonas de aumento y retroceso del cuerpo de agua en los períodos de déficit hídrico fue entre enero de 1993 y enero de 2010. En dicha comparación, la zona de aumento resultó ser de 10,15 hectáreas, lo que representa un 7% del total del área de la laguna en enero de 1993. La zona de retroceso, por su parte, arrojó 16,31 hectáreas, lo que representa un descenso del 11%.

En la comparación de ambos períodos se observa que la zona de retroceso es más marcada que la zona de aumento; se localiza principalmente en la parte sur de la laguna y en el límite noreste, aunque está presente en casi la totalidad de los bordes de la laguna. La zona de aumento se ubica preferentemente en la parte norte del cuerpo de agua y en menor medida en la parte oriental de la laguna central.

- Comparación abril 2001 - marzo 2010

Esta comparación presenta una zona de aumento prácticamente nula y una muy importante zona de retroceso. Esto debido a la escasa superficie que posee la laguna en el mes de marzo del año 2010, la que contrasta de manera substancial con el cuerpo de agua de abril del año 2001.

En los períodos antes mencionados, la zona de aumento total fue de 36,62 hectáreas, mientras que la zona de retroceso correspondió a 86,59, lo que representa una caída cercana al 96% del total del área que la laguna tenía en abril del año 2001. Como las cifras anteriores lo indican, el retroceso de la laguna de un período a otro es casi total y el crecimiento sólo se limita a una pequeña área en el costado oeste del cuerpo de agua.

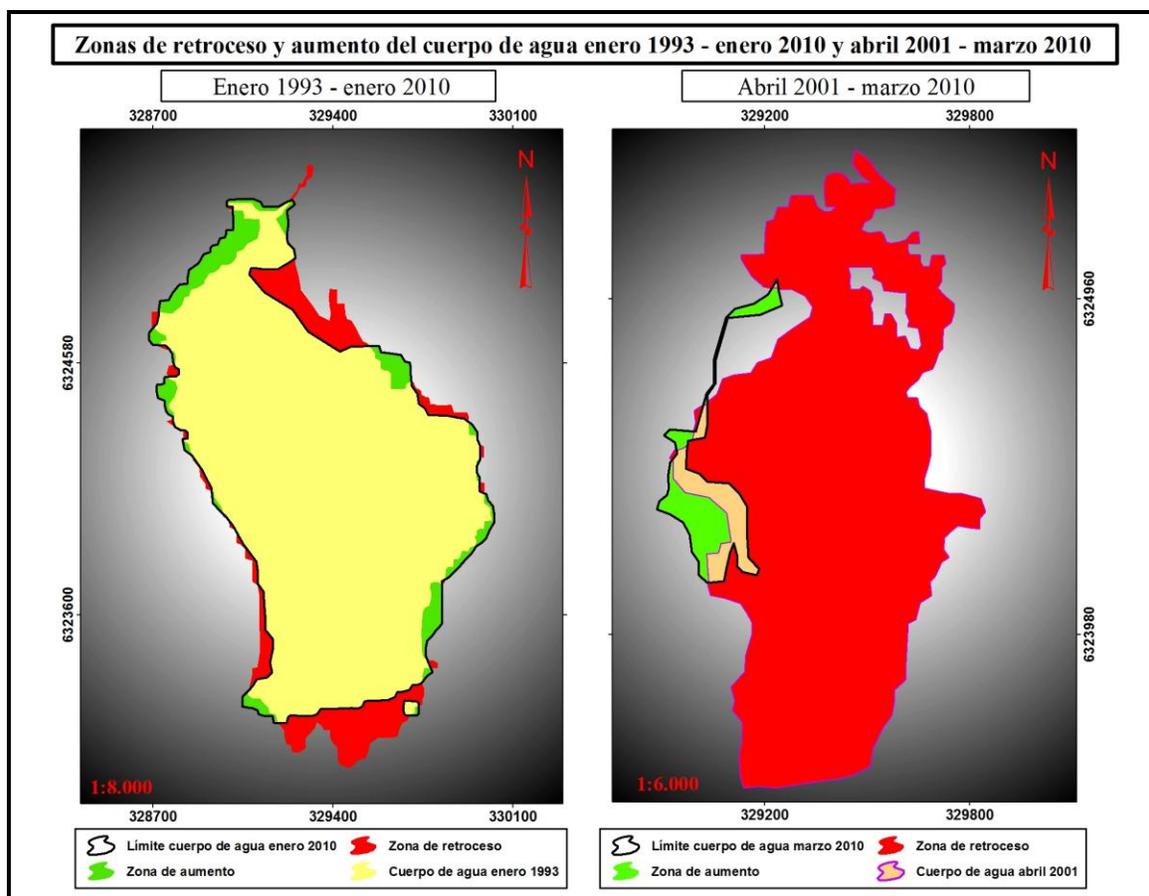
**Tabla N°25:** Resumen zonas de aumento y retroceso enero 1993 - enero 2010 y abril 2001 - marzo 2010.

Períodos de comparación	Zona de aumento		Zona de retroceso		Aumento Vs retroceso	
	ha	%	ha	%	ha	%
Enero 1993 - Enero 2010	10,15	7%	16,31	11%	<b>-6,16</b>	<b>-4%</b>
Abril 2001 - Marzo 2010	3,62	4%	86,59	96%	<b>-82,97</b>	<b>-92%</b>

*Fuente:* Elaboración propia, 2010.

Las zonas de retroceso y aumento de la laguna para enero del año 1993 y enero del año 2010 y para la comparación de abril del año 2001 con marzo de 2009 se pueden ver en la figura N°52.

**Figura N°52:** Zonas de aumento y retroceso enero 1993 - enero 2010 y abril 2001 - marzo 2010.



*Fuente:* Elaboración propia, 2010.

- Comparación marzo 2004 - marzo 2010

La siguiente comparación también arrojó una importante zona de retroceso, la que en esta oportunidad es de 155,01 hectáreas. Este descenso de más de 150 hectáreas representa una caída del 96% con respecto al área que tenía el cuerpo de agua en el mes de marzo de 2004, pasando de 161,28 hectáreas de superficie a tan sólo 6,76 en marzo de 2010. Por su parte, la

zona de aumento es de apenas 0,64 hectáreas, lo que representa un muy pequeño ascenso de 0.4% de la superficie del cuerpo de agua.

- Comparación marzo 2007 - marzo 2010

Finalmente, la última comparación directa se realizó entre los períodos de marzo 2007 y marzo 2010. Al igual que en el pasado período de comparación, la zona de retroceso resultó enorme. Esta fue de 176,69 hectáreas, lo que representó una caída del 96% con respecto a la superficie de la laguna en marzo de 2007. Esta comparación es la única que no presenta zona de aumento, por lo que la relación aumento - retroceso es totalmente negativa en este caso.

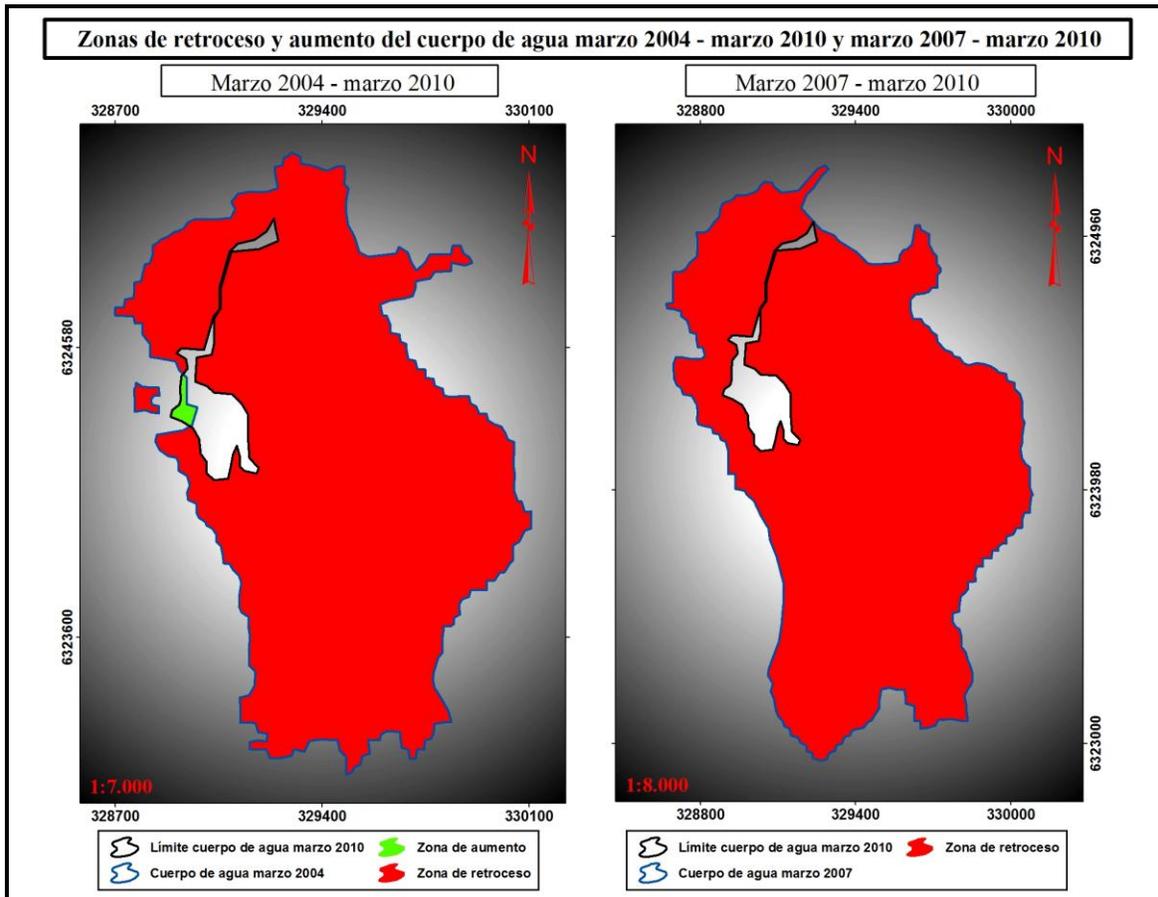
**Tabla N°26:** Resumen zonas de aumento y retroceso marzo 2004 - marzo 2010 y marzo 2007 - marzo 2010.

Períodos de comparación	Zona de aumento		Zona de retroceso		Aumento Vs retroceso	
	ha	%	ha	%	ha	%
Marzo 2004 - Marzo 2010	0,64	0,4%	155,01	96%	<b>-154,37</b>	<b>-96%</b>
Marzo 2007 - Marzo 2010	0	0%	176,69	96%	<b>-176,69</b>	<b>-96%</b>

*Fuente:* Elaboración propia, 2010.

La figura N°53 muestra las 2 últimas comparaciones directas (marzo 2004 - 2010 y marzo 2007 - 2010). Se observa la forma en la que retrocedió la laguna en ambos casos y las similitudes de las áreas de marzo 2004 y marzo 2007. Las 2 comparaciones muestran un retroceso total en su área cubierta por agua, exceptuando una pequeña parte de la laguna central y una aún más pequeña de la laguna noroeste.

**Figura N°53:** Zonas de aumento y retroceso marzo 2004 - marzo 2010 y marzo 2007 - marzo 2010.

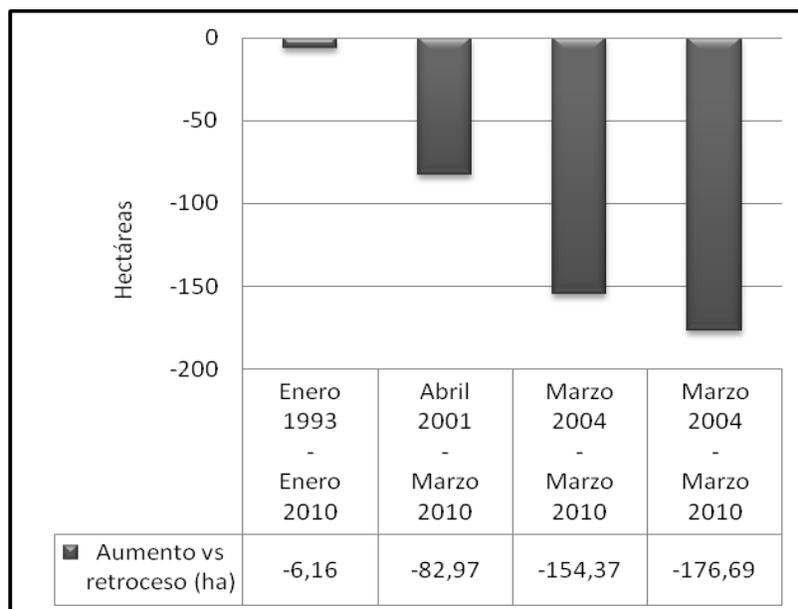


*Fuente:* Elaboración propia, 2010.

La magnitud de las zonas de aumento y retroceso del cuerpo de agua de la laguna bajo las comparaciones directas durante los períodos de déficit hídrico (figura N°54) permiten establecer una sucesión parcial de dichos cambios. Considerando el aumento de un período a otro como **A** y el retroceso como **R**, la sucesión queda establecida de la siguiente manera:



**Figura N°54:** Magnitud del cambio del cuerpo de agua comparaciones directas períodos de déficit hídrico.



*Fuente:* Elaboración propia, 2010.

La tabla N°27 muestra el resumen de las zonas de aumento y retroceso de cada una de las comparaciones directas realizadas, el porcentaje que éstas representan y el valor final de superficie cubierta por agua ganada o perdida, dependiendo del caso.

**Tabla N°27:** Resumen zonas de aumento y retroceso para todas las comparaciones directas.

Períodos de comparación		Zona de aumento (ha)	%	Zona de retroceso (ha)	%	Aumento Vs retroceso (ha)	%
Períodos de superávit hídrico	Agosto 1990 - Junio 2009	180,41	362%	0,44	0,8%	+179,97	361%
	Agosto 1993 - Octubre 2009	16	5%	63,81	20%	-47,81	15%
	Septiembre 1996 - Octubre 2009	98,59	57%	0,01	0%	+98,58	57%
	Septiembre 2000 - Octubre 2009	7,82	3%	16,07	6%	-8,25	3%
	Septiembre 2004 - Octubre 2009	18,80	7%	2,67	1%	+16,13	6%
Septiembre 2007 - Octubre 2009	32,28	13%	0,76	0,3%	+31,52	13%	
Períodos de déficit hídrico	Enero 1993 - Enero 2010	10,15	7%	16,31	11%	-6,16	4%
	Abril 2001 - Marzo 2010	3,62	4%	86,59	96%	-82,97	92%
	Marzo 2004 - Marzo 2010	0,64	0,4%	155,01	96%	-154,37	96%
	Marzo 2007 - Marzo 2010	0	0%	176,69	96%	-176,69	96%

*Fuente:* Elaboración propia, 2010.

La tabla anterior muestra 4 períodos de comparación de los períodos de superávit hídrico, que presentan un área de aumento superior al área de retroceso. Es decir, la Laguna de Batuco presentó una superficie total del cuerpo de agua durante el invierno 2009 superior a la evidenciada durante 4 temporadas invernales anteriores. A su vez, hay 2 períodos de comparación en los cuales la zona de retroceso es mayor que la zona de aumento, por lo tanto, hay 2 temporadas invernales anteriores al año hidrológico 2009-2010 donde el cuerpo de agua de la laguna fue mayor al observado durante el invierno 2009.

Por otro lado, las comparaciones entre los períodos de déficit hídrico muestran que el cuerpo de agua de la laguna durante el verano 2010 es menor que el de los 4 períodos anteriores trabajados. En este sentido, la diferencia entre los cuerpos de agua comparados en cada uno de los casos es cada vez mayor, manifestándose una diferencia cada vez más expresiva en la zona de retroceso.

Finalmente, considerando las 2 sucesiones parciales entregadas anteriormente, es posible realizar la sucesión total para las comparaciones directas. Dicha sucesión queda establecida de la siguiente forma:

$$A - R - A - R - A - A - R - R - R - R \quad \Rightarrow \quad 4A \quad \text{y} \quad 6R$$

#### **8.3.4.3.- Comparaciones correlativas períodos de superávit hídrico**

- Comparación agosto 1990 - agosto 1993

La primera comparación correlativa que se realizó para establecer las zonas de aumento y retroceso de los períodos de superávit hídrico fue entre agosto de 1990 y agosto de 1993. Esta comparación arrojó una zona de aumento de 268,66 hectáreas, lo que representa un importante crecimiento del orden de 538%. Este gran aumento en el área del cuerpo de agua de la laguna vino acompañado por una inexistente zona de retroceso, por lo que la presente comparación sólo entrega ganancias en la superficie total de agua.

- Comparación agosto 1993 - septiembre 1996

La siguiente comparación ofrece un panorama totalmente opuesto a la situación observada anteriormente; entre agosto de 1993 y septiembre de 1996 la zona de aumento es casi inexistente (0,02 hectáreas), mientras que la zona de retroceso es bastante significativa, alcanzando 146,41 hectáreas, lo que representa un descenso cercano al 50%.

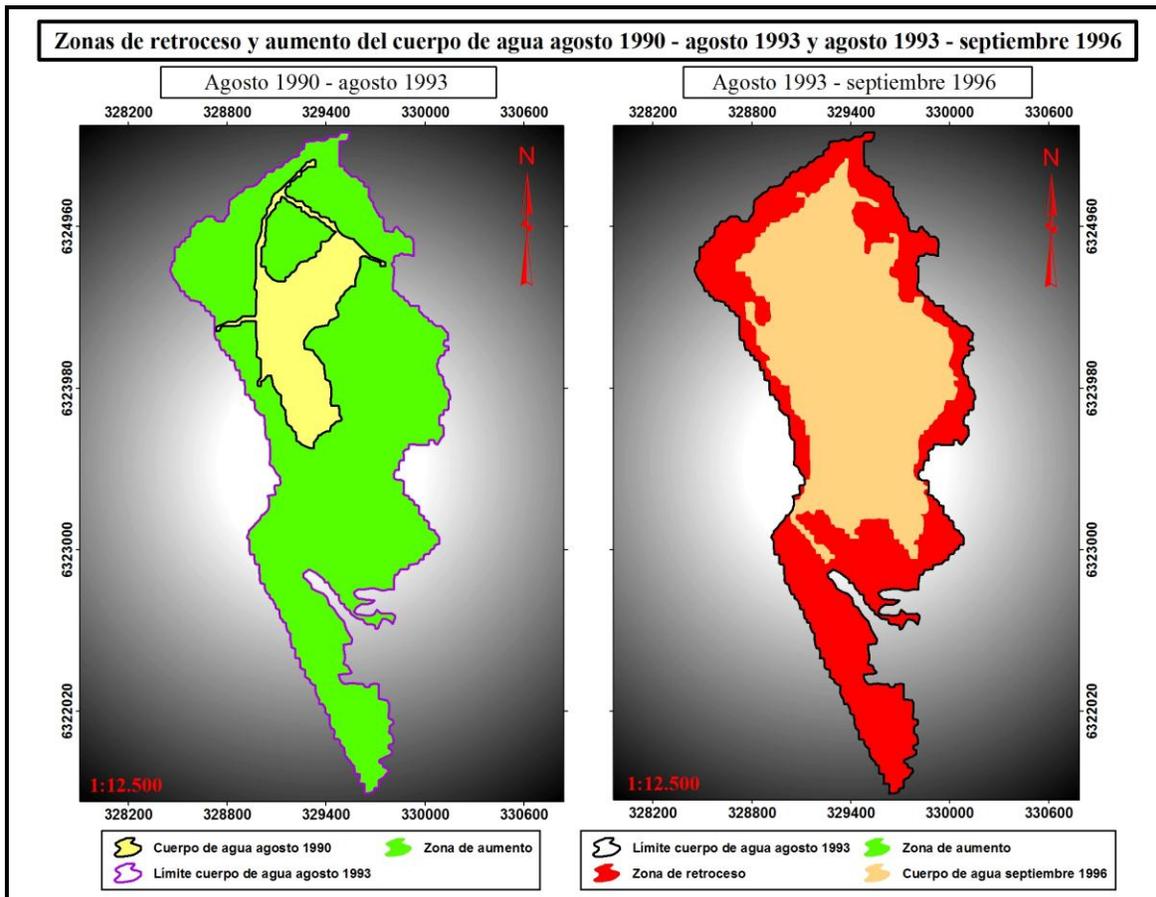
**Tabla N°28:** Resumen zonas de aumento y retroceso agosto 1990 - agosto 1993 y agosto 1993 - septiembre 1996.

Períodos de comparación	Zona de aumento		Zona de retroceso		Aumento Vs retroceso	
	ha	%	ha	%	ha	%
Agosto 1990 - Agosto 1993	268,66	538%	0	0%	<b>+268,66</b>	<b>+538%</b>
Agosto 1993 - Septiembre 1996	0,02	0%	146,41	46%	<b>-146,39</b>	<b>-46%</b>

*Fuente:* Elaboración propia, 2010.

Considerando ambos casos, es evidente que el área de la laguna durante el invierno de 1993 marca en gran medida lo que ocurre en las 2 comparaciones, primero aumentando el área de la laguna en más de 250 hectáreas y luego, tomando en cuenta la superficie de septiembre de 1996, reduciendo ésta en 150 hectáreas. Esta situación puede observarse en la figura N°55, la que muestra la zona de aumento y retroceso para las 2 primeras comparaciones correlativas.

**Figura N°55:** Zonas de aumento y retroceso agosto 1990 - agosto 1993 y agosto 1993 - septiembre 1996.



*Fuente:* Elaboración propia, 2010.

- Comparación septiembre 1996 - septiembre 2000

Para el caso de septiembre de 1996 y septiembre del año 2000, se tiene que la laguna vuelve a aumentar su superficie total, en este caso 107,28 hectáreas, lo que representa una crecida de 62%. Por su parte, la zona de retroceso es casi inexistente alcanzando 0,4 ha.

- Comparación septiembre 2000 - septiembre 2004

En esta comparación, la laguna vuelve a experimentar un descenso en su cuerpo de agua total. De esta forma, la zona de retroceso fue de 28,76 hectáreas, lo que corresponde a un 10% de baja con respecto a la superficie de agua lagunar en septiembre del 2000. La zona

de aumento, que se localiza preferentemente en el lado este del cuerpo de agua, fue de 4,38 hectáreas, lo que significa una crecida del 2%.

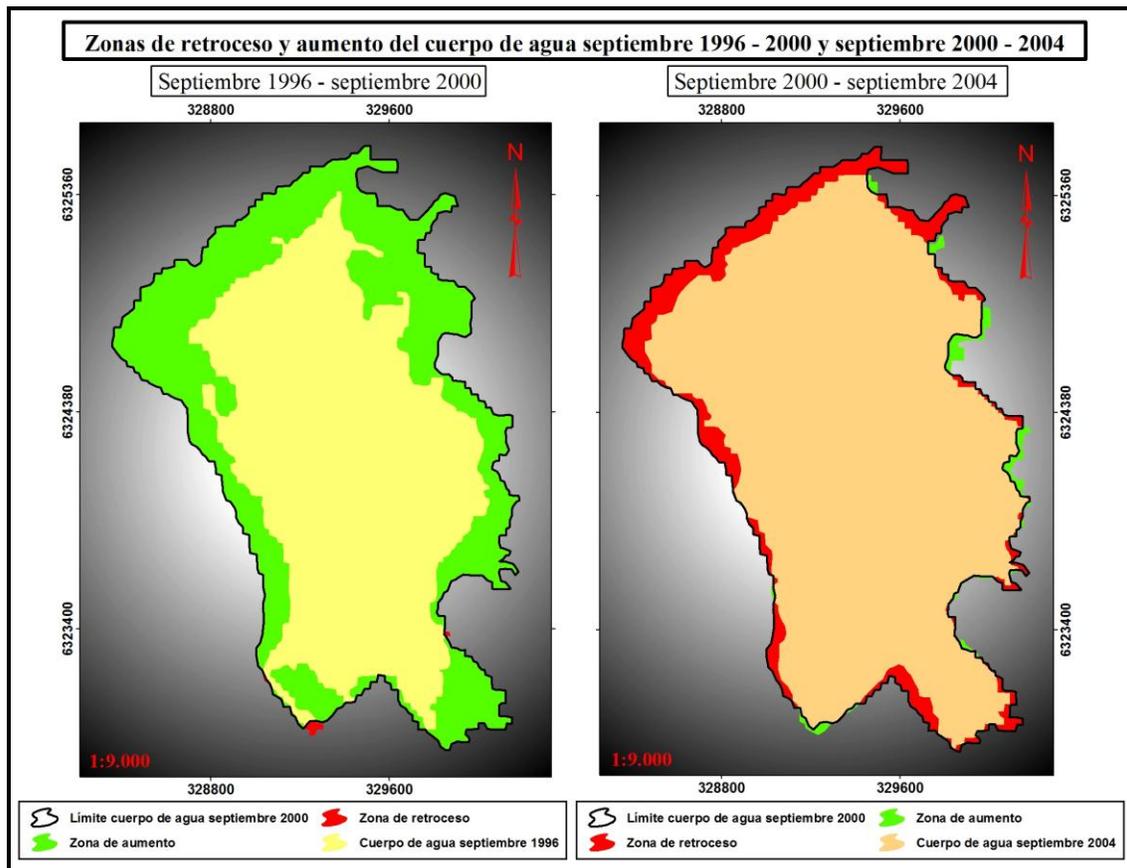
**Tabla N°29:** Resumen zonas de aumento y retroceso septiembre 1996 - septiembre 2000 y septiembre 2000 - septiembre 2004.

Períodos de comparación	Zona de aumento		Zona de retroceso		Aumento Vs retroceso	
	ha	%	ha	%	ha	%
Septiembre 1996 - Septiembre 2000	107,28	62%	0,44	0,2%	<b>+106,84</b>	<b>+62%</b>
Septiembre 2000 - Septiembre 2004	4,38	2%	28,76	10%	<b>-24,38</b>	<b>-9%</b>

*Fuente:* Elaboración propia, 2010.

La figura N°56 muestra las zonas de aumento y retroceso para las comparaciones de septiembre 1996 - septiembre 2000 y septiembre 2000 - septiembre 2004.

**Figura N°56:** Zonas de aumento y retroceso septiembre 1996 - septiembre 2000 y septiembre 2000 - septiembre 2004.



*Fuente:* Elaboración propia, 2010.

- Comparación septiembre 2004 - septiembre 2007

La comparación entre septiembre 2004 y septiembre 2007 arrojó un leve descenso en el área total de la laguna. En este sentido, la zona de retroceso resultó ser de 22,28 hectáreas, cifra que significa un 9% de descenso. Esta zona de retroceso se ubica fundamentalmente al noreste de la laguna, aunque su presencia se observa a lo largo de todo su límite. Por su parte, la zona de aumento de la laguna en este período de comparación fue de 6,89 hectáreas, lo que representa un aumento del 3%, tomando en cuenta la superficie total de un período al otro.

Considerando esta comparación y la pasada de septiembre 2000 - septiembre 2004, es la primera vez, dentro de las comparaciones correlativas, que se repite una condición, ya sea de preponderancia de la zona de aumento o retroceso del cuerpo de agua. En este sentido, la dinámica de las comparaciones correlativas hasta el momento seguían un patrón de aumentos y descensos intercalados. Lo que se rompe en estas 2 últimas comparaciones, donde predomina la zona de retroceso.

- Comparación septiembre 2007 - octubre 2009

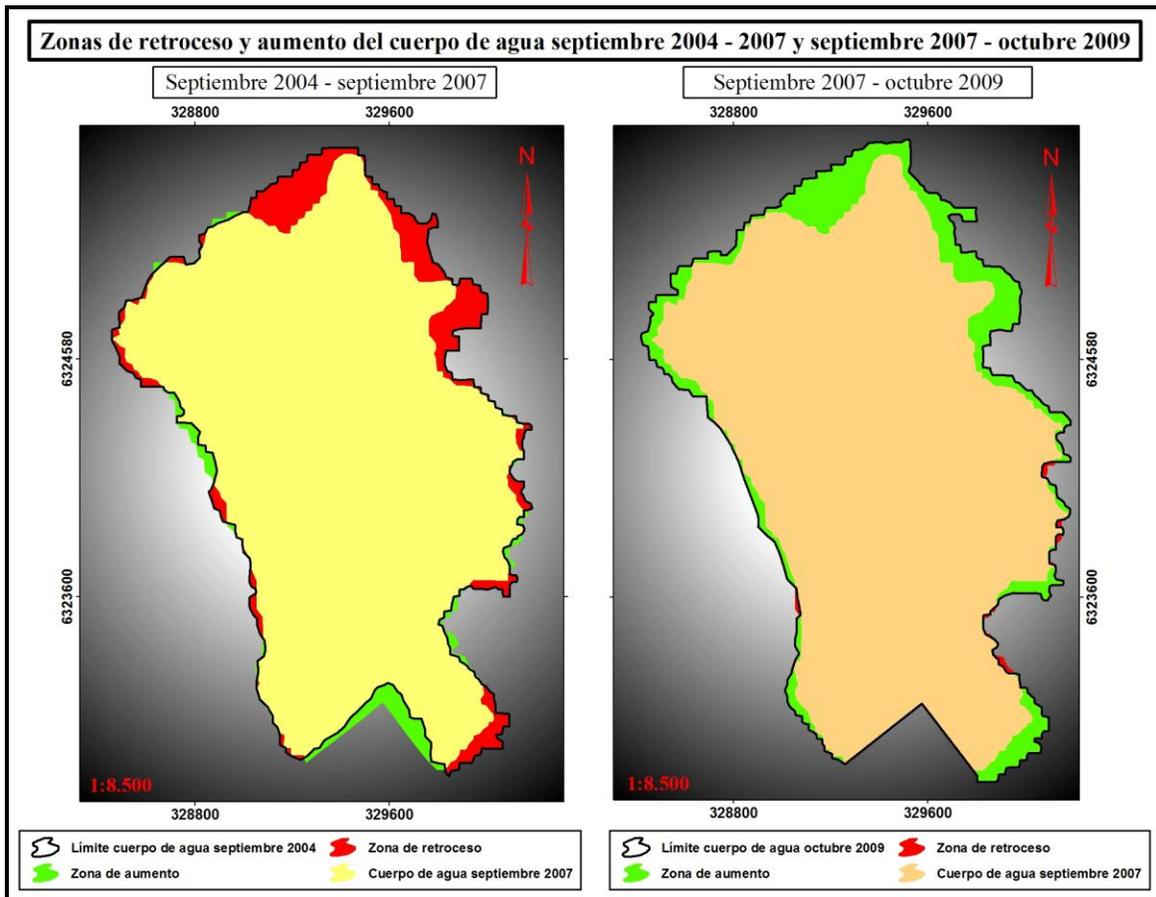
La comparación correlativa final de los períodos de superávit hídrico corresponde a septiembre 2007 con octubre 2009. Dicha comparación fue abordada en el punto 8.3.4.1 en las comparaciones directas, por lo que su detalle será omitido en esta ocasión. No obstante lo anterior, la dinámica lagunar se puede observar en la figura N°57.

**Tabla N°30:** Resumen zonas de aumento y retroceso septiembre 2004 - septiembre 2007 y septiembre 2007 - octubre 2009.

Períodos de comparación	Zona de aumento		Zona de retroceso		Aumento Vs retroceso	
	ha	%	ha	%	ha	%
Septiembre 2004 - Septiembre 2007	6,89	3%	22,28	9%	<b>-15,39</b>	<b>-6%</b>
Septiembre 2007 - Octubre 2009	32,28	13%	0,76	0,3%	<b>+31,52</b>	<b>+13%</b>

*Fuente:* Elaboración propia, 2010.

**Figura N°57:** Zonas de aumento y retroceso septiembre 2004 - septiembre 2007 y septiembre 2007 - octubre 2009.

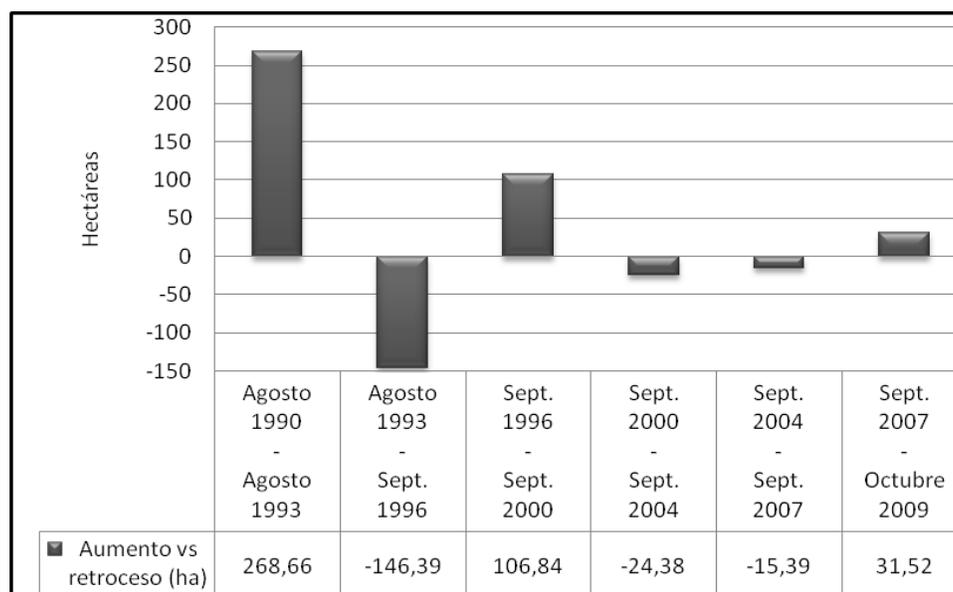


*Fuente:* Elaboración propia, 2010.

Al igual que en las comparaciones directas, la magnitud del aumento y retroceso del cuerpo de agua de la laguna bajo las comparaciones correlativas durante los períodos de superávit hídrico (figura N°58) permite establecer una sucesión parcial de estos cambios. Considerando el aumento de un período a otro como **A** y el retroceso como **R**, la sucesión queda establecida de la siguiente forma:

$$A - R - A - R - R - A \Rightarrow 3A \text{ y } 3R$$

**Figura N°58:** Magnitud del cambio del cuerpo de agua comparaciones correlativas períodos de superávit hídrico.



*Fuente:* Elaboración propia, 2010.

#### 8.3.4.4.- Comparaciones correlativas períodos de déficit hídrico

- Comparación enero 1993 - abril 2001

La primera comparación correlativa que se realizó para establecer las zonas de aumento y retroceso de los períodos de déficit hídrico fue entre enero de 1993 y abril de 2001. En dicha comparación la zona de aumento resultó ser de 21,54 hectáreas, lo que representa un 14%. La zona de retroceso, por su parte, arrojó 82,69 hectáreas, lo que representa un fuerte descenso de 55%.

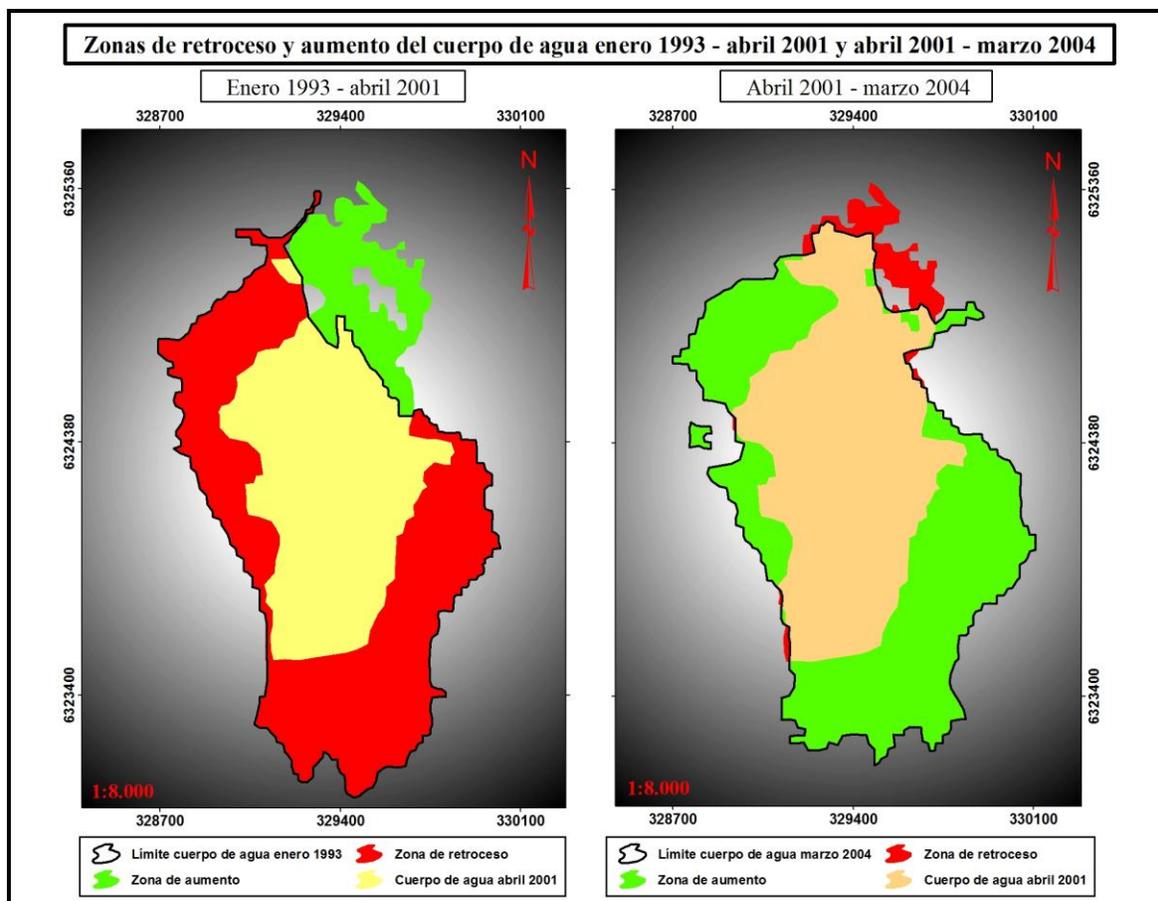
En esta comparación, la zona de aumento se ubica sólo en la parte noreste de la laguna, mientras que la zona de retroceso lo hace alrededor de gran parte del cuerpo de agua, denotando el importante repliegue que sufrió la laguna de un período al otro.

- Comparación abril 2001 - marzo 2004

La siguiente comparación toma abril 2001 y marzo 2004; en dicha comparación la zona de aumento prevalece largamente por sobre la de retroceso. Este crecimiento se produce hacia los sectores noroeste y sureste de la laguna. La zona de aumento de un período a otro fue de 79,40 hectáreas, lo que representa una crecida de 88%. Por su parte, la zona de retroceso, que se ubica en la parte norte, es tan sólo de 8,01 hectáreas, lo que representa un 9%.

La zona de aumento y retroceso para las comparaciones de enero de 1993 con abril de 2001 y abril del mismo año con marzo de 2004 se pueden apreciar en la figura N°59.

**Figura N°59:** Zonas de aumento y retroceso enero 1993 - abril 2001 y abril 2001 - marzo 2004.



Fuente: Elaboración propia, 2010.

**Tabla N°31:** Resumen zonas de aumento y retroceso enero 1993 - abril 2001 y abril 2001 - marzo 2004.

Períodos de comparación	Zona de aumento		Zona de retroceso		Aumento Vs retroceso	
	ha	%	ha	%	ha	%
Enero 1993 - Abril 2001	21,54	14%	82,69	55%	<b>-61,15</b>	<b>-40%</b>
Abril 2001 - Marzo 2004	79,40	88%	8,01	9%	<b>+71,39</b>	<b>+79%</b>

*Fuente:* Elaboración propia, 2010.

- Comparación marzo 2004 - marzo 2007

Para el caso de marzo 2004 y marzo 2007, se tiene que la zona de aumento predomina por sobre la zona de retroceso; dicha zona de aumento se ubica a lo largo de todo el perímetro del cuerpo de agua y es especialmente sobresaliente en el costado oeste del límite, sobre todo en la parte sur. La zona de retroceso se ubica en la parte norte de la laguna, además de 2 pequeñas áreas en la parte oeste y sur del cuerpo de agua de marzo 2004.

En definitiva, la zona de aumento para la comparación marzo 2004-2007 es 3 veces mayor que la de retroceso, siendo de 31,33 hectáreas, lo que representa un crecimiento de 19%. Por su parte, la zona de retroceso es de 9,01 hectáreas, lo que representa una caída de 6%.

- Comparación marzo 2007 - marzo 2010

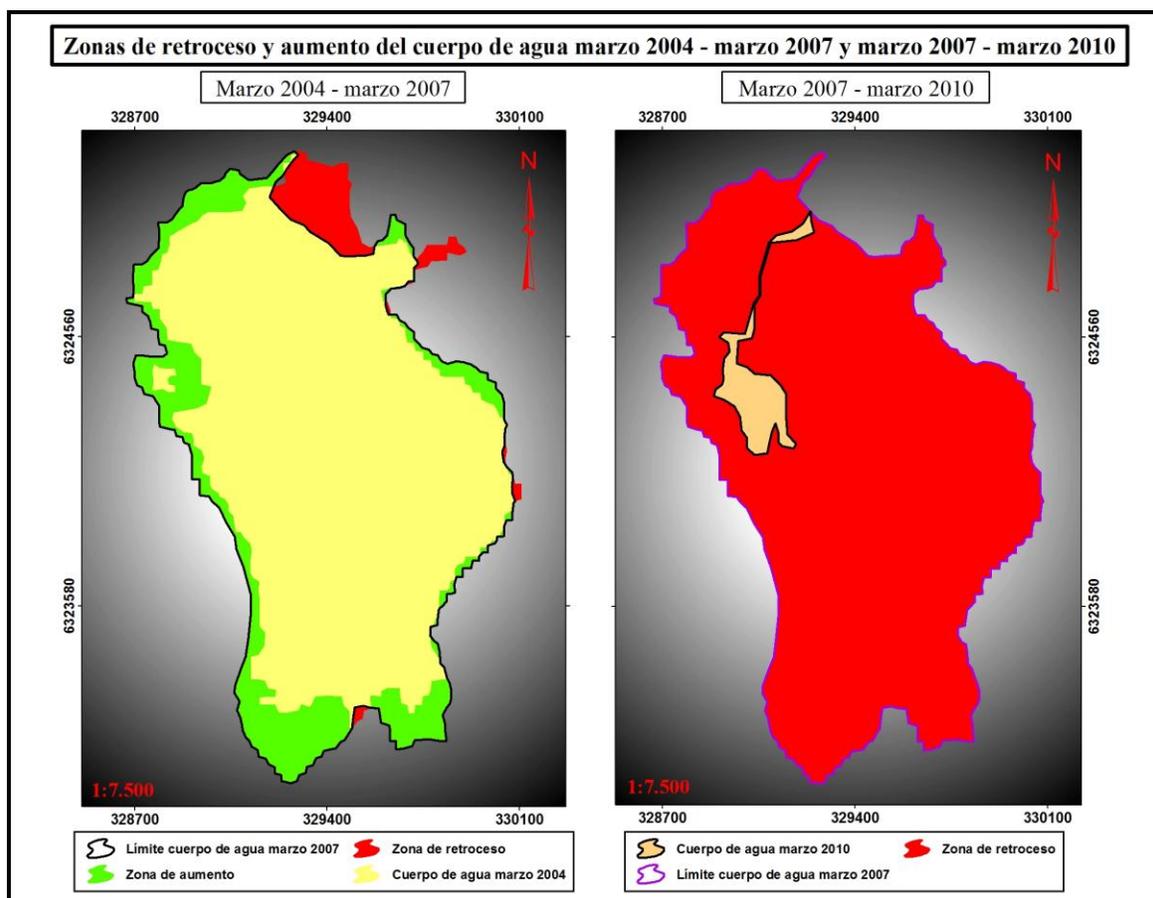
La última comparación correlativa de los períodos de déficit hídrico corresponde a marzo 2007 con marzo 2010, la que se abordó con anterioridad, específicamente en el punto 8.3.4.2, por lo que su detalle no será considerado esta vez. De todas formas las zonas de aumento y retroceso de dicha comparación y la de marzo 2004 con marzo 2007 se pueden observar en la figura N°60.

**Tabla N°32:** Resumen zonas de aumento y retroceso marzo 2004 - marzo 2007 y marzo 2007 - marzo 2010.

Períodos de comparación	Zona de aumento		Zona de retroceso		Aumento Vs retroceso	
	ha	%	ha	%	ha	%
Marzo 2004 - Marzo 2007	31,33	19%	9,01	6%	<b>+22,32</b>	<b>+14%</b>
Marzo 2007 - Marzo 2010	0	0%	176,69	96%	<b>-176,69</b>	<b>-96%</b>

*Fuente:* Elaboración propia, 2010.

**Figura N°60:** Zonas de aumento y retroceso marzo 2004 - marzo 2007 y marzo 2007 - marzo 2010.

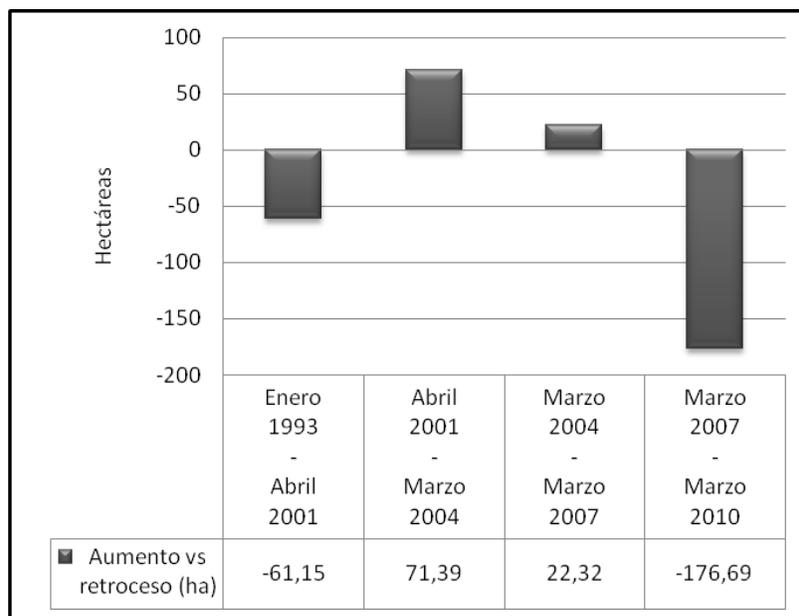


*Fuente:* Elaboración propia, 2010.

La magnitud de las zonas de aumento y retroceso del cuerpo de agua de la laguna bajo las comparaciones correlativas durante los períodos de déficit hídrico (figura N°61) permiten establecer una sucesión parcial de dichos cambios. Considerando el aumento de un período a otro como **A** y el retroceso como **R**, la sucesión queda establecida de la siguiente manera:

$$R - A - A - R \Rightarrow 2A \text{ y } 2R$$

**Figura N°61:** Magnitud del cambio del cuerpo de agua comparaciones correlativas períodos de déficit hídrico.



**Fuente:** Elaboración propia, 2010.

La tabla N°33 muestra el resumen de las zonas de aumento y retroceso de cada una de las comparaciones correlativas realizadas, el porcentaje que éstas representan y el valor final de superficie cubierta por agua ganada o perdida, dependiendo del caso. En ésta es posible apreciar que, en general, la dinámica de la laguna mediante comparaciones correlativas se desarrolla con aumentos y descensos alternados del cuerpo de agua. Esta situación es mucho más notoria en los períodos de superávit hídrico que en los de déficit.

En relación a los períodos de superávit hídrico, se tiene que comienzan con un gran aumento de 538%, gracias a la enorme área que presenta el cuerpo de agua en agosto de 1993. Luego de este aumento viene una importante baja no tan significativa como el

aumento inicial cercana a la mitad de la superficie que tenía la laguna en el ya mencionado período de agosto de 1993. Posteriormente, continua la dinámica aumento - descenso con la comparación septiembre 1996 - septiembre 2000, en la cual la laguna gana una superficie de 100 hectáreas. Luego, vienen 2 períodos consecutivos de descenso progresivo. En la comparación septiembre 2000 - 2004 la baja total es de más de 24 hectáreas, mientras que en la comparación septiembre 2004 - 2007 es de alrededor de 15. Finalmente, la última comparación vuelve a mostrar un aumento en el total del cuerpo de agua superior a 30 hectáreas.

En cuanto a los períodos de déficit hídrico, se tiene que la primera comparación, que por razones antes mencionadas tiene un intervalo de 8 años, muestra un predominio de la zona de retroceso. Posteriormente, esta situación se revierte y durante las siguientes 2 comparaciones, es decir, de abril de 2001 hasta marzo de 2007, la laguna aumenta su área total. Este aumento es mucho más marcado de abril 2001 a marzo 2004. La última comparación muestra un importante descenso en el área de la laguna, debido fundamentalmente a la escasa superficie de agua que presenta la laguna en marzo del año 2010.

**Tabla N°33:** Resumen zonas de aumento y retroceso para todas las comparaciones correlativas.

Períodos de comparación		Zona de aumento (ha)	%	Zona de retroceso (ha)	%	Aumento Vs retroceso (ha)	%
<b>Períodos de superávit hídrico</b>	Agosto 1990 - Agosto 1993	268,66	538%	0	0%	+268,66	538%
	Agosto 1993 - Septiembre 1996	0,02	0%	146,41	46%	-146,39	46%
	Septiembre 1996 - Septiembre 2000	107,28	62%	0,44	0,2%	+106,84	62%
	Septiembre 2000 - Septiembre 2004	4,38	2%	28,76	10%	-24,38	9%
	Septiembre 2004 - Septiembre 2007	6,89	3%	22,28	9%	-15,39	6%
	Septiembre 2007 - Octubre 2009	32,28	13%	0,76	0,3%	+31,52	13%
<b>Períodos de déficit hídrico</b>	Enero 1993 - Abril 2001	21,54	14%	82,69	55%	-61,15	40%
	Abril 2001 - Marzo 2004	79,40	88%	8,01	9%	+71,39	79%
	Marzo 2004 - Marzo 2007	31,33	19%	9,01	6%	+22,32	14%
	Marzo 2007 - Marzo 2010	0	0%	176,69	96%	-176,69	96%

*Fuente:* Elaboración propia, 2010.

Por último, tomando en cuenta las 2 sucesiones parciales entregadas anteriormente, dentro de las comparaciones correlativas, es posible realizar la sucesión total. Dicha sucesión queda establecida de la siguiente manera:

**A - R - A - R - R - A - R - A - A - R**     $\Rightarrow$     **5A**    y    **5R**

#### 8.4.- Futuras tendencias

Con la información generada, es posible formarse una idea de lo que podría ocurrir en la laguna en el futuro. En este sentido, el análisis antes presentado de las zonas de aumento y retroceso del humedal, considerando el año hidrológico 2009-2010 y los períodos entre 1986 y 2007, entregan ciertas pautas de comportamiento que permiten en algún grado predecir el comportamiento más probable de la laguna.

En términos estadísticos, el área total de todos los períodos trabajados (Tabla N°34) arrojó lo siguiente: máxima de 319 hectáreas, mínima de 0, media aritmética de 150 hectáreas, mediana de 161 hectáreas y moda o valor dominante de 0.

**Tabla N°34:** Área total del cuerpo de agua de todos los períodos trabajados.

Períodos	Área total del cuerpo de agua (ha)	Períodos	Área total del cuerpo de agua (ha)
Enero '86	0	Marzo '04	161,28
Agosto '90	49,88	Septiembre '04	254,61
Febrero '91	0	Marzo '07	183,61
Enero '93	151,04	Septiembre '07	239,22
Agosto '93	318,55	Junio '09	227,71
Marzo '96	0	Octubre '09	268,79
Septiembre '96	172,16	Enero '10	143,37
Septiembre '00	278,99	Marzo '10	6,76
Abril '01	89,89	<i>Fuente:</i> Elaboración propia, 2010.	

La moda se considera como un valor “central”, por que indica la mayor frecuencia relativa; pero puede ser que esté próxima a los extremos de la distribución, como lo es en este caso. En geografía, la moda tiene un significado real; es, a menudo, la expresión de una estructura, caracteriza a una región, al dar cuenta de un clima dominante, el paisaje y las actividades que predominan (Grupo Chadule, 1980). En otras palabras, la moda está indicando, de cierta forma, el carácter semiárido y las escasas precipitaciones que se dan en la zona de la laguna.

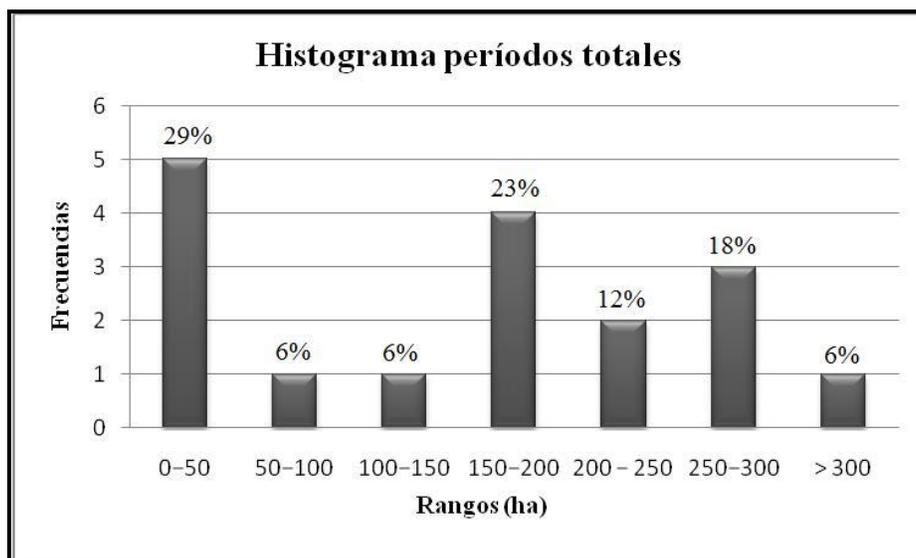
La mediana, que resultó de 161 hectáreas, es el valor más próximo a todos los demás y entrega 2 sub-conjuntos de valores, uno que va de 0 a 151 hectáreas (50 % inferior) y otro que va de 172 a 319 hectáreas (50% superior). La mediana muestra las 161 hectáreas de superficie de agua como un valor medio en cuanto a lo que puede suceder en el área de la laguna, ya que ésta no considera los valores extremos (máximos y mínimos), que muchas veces distorsionan la realidad.

En cuanto a la media aritmética, que es simplemente el promedio de todos los valores de los períodos trabajados, muestra que la laguna en general presenta 150 hectáreas de superficie de agua. La media aritmética tiene en cuenta todos los valores de la variable; es poco sensible a la descomposición en clases y se presta bien a los cálculos, contrariamente a la mediana. Sin embargo, es muy sensible a los valores extremos y, aunque casi siempre resulta necesaria tenerla en consideración, no tiene una significancia concreta en geografía (Grupo Chadule, *op cit.*).

Otra forma de analizar una serie de datos es mediante un histograma. Éste es una representación gráfica de una variable en forma de barras en donde se presentan los datos agrupados en rangos, en este caso intervalos de 50 hectáreas de superficie de agua, mientras que la superficie de cada barra es proporcional a la frecuencia de los valores representados.

La figura N°62 muestra el histograma para los períodos totales. En dicha figura, es posible apreciar un comportamiento bimodal en la serie donde destacan los rangos entre 0 - 50 y 150 - 200 hectáreas con un 29% y un 23% del total de la muestra, respectivamente.

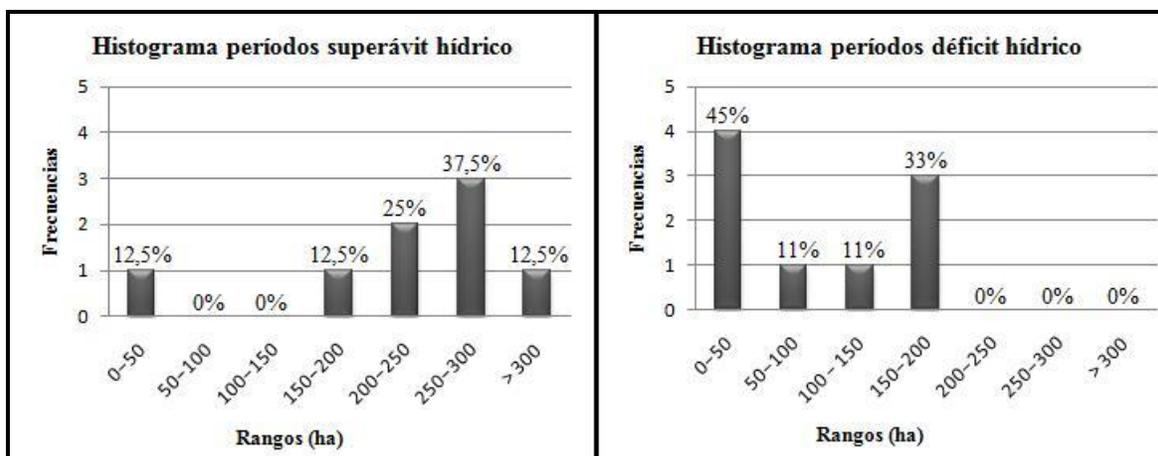
**Figura N°62:** Histograma períodos totales.



*Fuente:* Elaboración propia, 2010.

Considerando los histogramas de las muestras parciales (figura N°63), se observa que para los períodos de superávit hídrico predominan los rangos entre 200 - 250 y 250 - 300 hectáreas. Si se toman en cuenta ambos rangos, se tiene una tendencia orientada hacia un cuerpo de agua mayoritariamente entre 200 y 300 hectáreas de superficie de agua.

**Figura N°63:** Histogramas períodos de superávit y déficit hídrico.



*Fuente:* Elaboración propia, 2010.

Por su parte, los períodos de déficit hídrico muestran un comportamiento bimodal, con preponderancia del rango entre 0 - 50 hectáreas. En este sentido, es posible agrupar todos los datos de dicha serie en 2 grandes rangos de 100 hectáreas cada uno, los que evidencian el carácter bimodal de esta muestra parcial.

Para conocer con mayor detalle un conjunto de datos, no basta con conocer las medidas de tendencia central entregadas anteriormente, sino que se necesita conocer también la desviación que representan los datos en su distribución respecto de la media aritmética de dicha distribución, con objeto de tener una visión de los mismos más acorde con la realidad al momento de describirlos e interpretarlos para la toma de decisiones.

La desviación estándar es una medida del grado de dispersión de los datos con respecto al valor promedio. En otras palabras la desviación estándar es simplemente el “promedio” o variación esperada con respecto a la media aritmética. Para comenzar a trabajar con ella, es necesario, primeramente, elegir una de las distribuciones de probabilidad. En este caso se trabajó con la distribución normal, ya que es la que con más frecuencia aparece en fenómenos naturales.

Para saber con mayor certeza si efectivamente la muestra trabajada proviene de una distribución normal, fue necesario realizar un test de bondad de ajuste. En este caso, se realizó el test de Kolmogorov-Smirnov, el que se basa en la medida de la desviación mayor entre las frecuencias absolutas de 2 funciones de distribución:

$$D = | f'_i - f_i | \text{ máximo}$$

$f'_i$ : frecuencia absoluta teórica acumulada;  $f_i$ : frecuencia absoluta observada acumulada.

La realización de dicho test implicó varias etapas. En primer lugar, se emite una hipótesis  $H_0$ : la distribución sigue una ley normal de media y distribución estándar. Esta hipótesis inicial se enfrenta a una hipótesis alternativa  $H_1$ : la distribución sigue otra ley. En segundo lugar, se determinaron las frecuencias absolutas acumuladas observadas y teóricas. La

frecuencia absoluta acumulada teórica se deduce, según los cálculos, de la tabla de la distribución normal centrada y reducida para los valores tipificados. Por su parte, la frecuencia absoluta acumulada observada crece 1/17 para cada valor de la variable si se consideran los períodos totales. En caso de utilizar las muestras parciales, períodos de déficit y superávit hídrico, cada valor crecería 1/9 y 1/8, respectivamente.

Luego, se adoptó un “procedimiento de decisión” fijando un margen de error de 0,05, por lo que se acepta el riesgo de equivocarse en un 5%. Finalmente, sólo se considera la mayor desviación calculada y se rechaza la hipótesis  $H_0$  cuando el valor calculado  $D$  es mayor a los parámetros de la tabla de Kolmogorov-Smirnov que está en función de la cantidad de datos  $n$  y el margen de error adoptado  $\alpha$ . En otras palabras, si  $D \geq C_\alpha$  se rechaza  $H_0$ .

Tomando en cuenta lo anterior, los resultados obtenidos para la muestra total y para las parciales son los siguientes:

- Períodos totales:  $D = 0,1483$ . Para  $n = 17$ ,  $C_{0,05} = 0,3180$ ;  $0,1483$  es menor a  $0,3180$ :  $H_0$  se acepta.
- Períodos de déficit hídrico:  $D = 0,2708$ . Para  $n = 9$ ,  $C_{0,05} = 0,4320$ ;  $0,2708$  es menor a  $0,4320$ :  $H_0$  se acepta.
- Períodos de superávit hídrico:  $D = 0,1361$ . Para  $n = 8$ ,  $C_{0,05} = 0,4570$ ;  $0,1361$  es menor a  $0,4570$ :  $H_0$  se acepta.

Entonces, como los valores  $D$  obtenidos son menores que los parámetros de la tabla de Kolmogorov-Smirnov, no existe evidencia estadística para objetar la hipótesis inicial. Por lo tanto no hay razón para rechazar que la muestra provenga de una distribución normal.

La tabla N°35 muestra las medidas de tendencia central y el valor de la desviación estándar para todos los períodos trabajados, como también de las muestras parciales de los períodos de superávit y déficit hídrico.

**Tabla N°35:** Medidas de tendencia central y desviación estándar para las muestras de superávit hídrico, déficit hídrico y totales.

Períodos	Máxima (ha)	Mínima (ha)	Media (ha)	Mediana (ha)	Moda (ha)	Desviación estándar (ha)
<b>Superávit hídrico</b>	318,55	49,88	226,23	246,91	-	82,91
<b>Déficit hídrico</b>	183,61	0	81,77	89,89	0	79,87
<b>Totales</b>	318,55	0	149,75	161,28	0	105,03

*Fuente:* Elaboración propia, 2010.

Por las características de la distribución normal, y tomando en cuenta el valor de la media aritmética y de la desviación estándar en los períodos de superávit hídrico, se puede establecer con un porcentaje cercano al 70% que la laguna presentará a fines del invierno una superficie probable entre 143 y 309 hectáreas.

El párrafo anterior se explica por una particularidad de la desviación estándar. Ésta tiene relación con que si al promedio o media aritmética de una muestra determinada se le suma o resta una desviación estándar (valor de la desviación estándar), se obtendrá un intervalo de valores que equivaldrá al 68,2% de la muestra, 34,1% de valores superiores a la media aritmética y 34,1% inferiores.

En este sentido, bajo la premisa anterior y considerando los valores de los períodos de déficit, se puede esperar que para el final del verano en el área de la laguna, ésta presente una superficie en el intervalo de 2 y 162 hectáreas. Por último, tomando en cuenta la media aritmética y la desviación estándar de todos los períodos trabajados, se puede esperar que en cualquier época del año la laguna presente una superficie total entre 45 y 255 hectáreas.

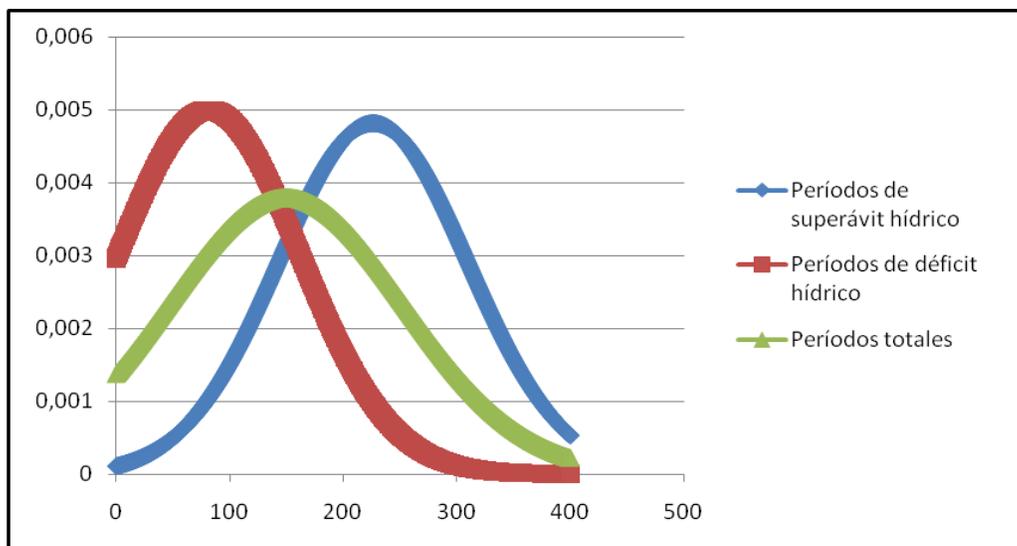
La figura N°64 muestra las curvas de densidad de probabilidad en una distribución normal para los períodos de superávit hídrico, déficit hídrico y totales. En ésta, el eje coordenado de las X muestra el área de la laguna en hectáreas, mientras que el eje Y representa la función de densidad de probabilidad<sup>19</sup>. Las curvas de muestras parciales (períodos de superávit y déficit hídrico) son menos dispersas que la curva de la totalidad de los períodos,

<sup>19</sup> Una función de densidad de probabilidad es una función matemática que caracteriza el comportamiento probable de una población o conjunto de datos.

por lo tanto más certeras. Por esta razón la curva de mayor dispersión (períodos totales) alcanza una altura menor en el eje Y.

Los datos de la curva de los períodos totales no se encuentran tan concentrados en una zona, por lo que la probabilidad de presentar datos en la parte baja del eje Y es mayor, dificultando las predicciones. Por el contrario, en las curvas de menor dispersión, los datos están concentrados en una misma zona, lo que permite realizar mejores predicciones.

**Figura N°64:** Curvas de función de densidad de probabilidad en una distribución normal para los períodos de superávit hídrico, déficit hídrico y totales.

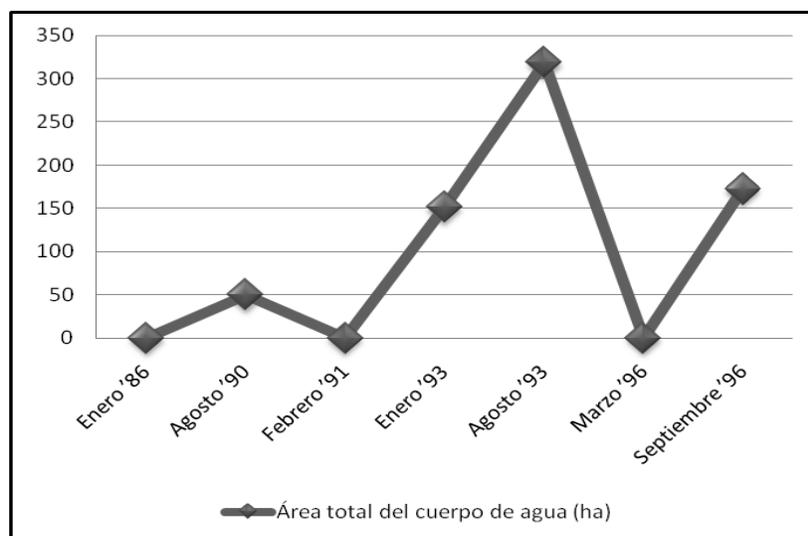


*Fuente:* Elaboración propia, 2010.

Ahora bien, al observar nuevamente el área de todos los períodos estudiados, se puede apreciar que el humedal posee un comportamiento más bien errático en la primera década considerada (1986-1996). En ésta, es difícil establecer claramente un comportamiento asociado a la laguna, especialmente durante los meses de superávit hídrico, ya que las áreas en todos estos períodos son más bien disímiles. En cuanto a los períodos de déficit hídrico, se tiene que muestran una concordancia que sólo es modificada en el verano de 1993, en el cual la laguna presenta una importante superficie de agua. Dicha tendencia indica que la laguna durante la primera década de análisis era propensa a quedar casi completamente seca en los meses de máximo estrés hídrico.

En resumen, si se considera la información de la primera década de análisis (figura N°65) en los períodos de superávit hídrico, la laguna debería tener un comportamiento fluctuante entre las 50 y las 300 hectáreas de superficie, mientras que en los períodos de déficit hídrico se podría esperar una laguna sin un cuerpo de agua abundante.

**Figura N°65:** Área total del cuerpo de agua de la Laguna de Batuco enero 1986 - septiembre 1996.



**Fuente:** Elaboración propia, 2010.

Durante la segunda década considerada, 2000-2010 (figura N°66), la laguna muestra una conducta más homogénea en cuanto al área que presenta el cuerpo de agua. Como se acaba de mencionar, los períodos de superávit hídrico muestran una gran concordancia entre sí, siendo todos ellos del orden de 250 hectáreas de superficie. Esta estabilidad producida permite aventurar que la laguna exhibiría un cuerpo de agua de aproximadamente 250 hectáreas de superficie, las que representan un área significativa cubierta de agua, además de una importante cantidad de agua almacenada, la que se estima cercana al millón de metros cúbicos.

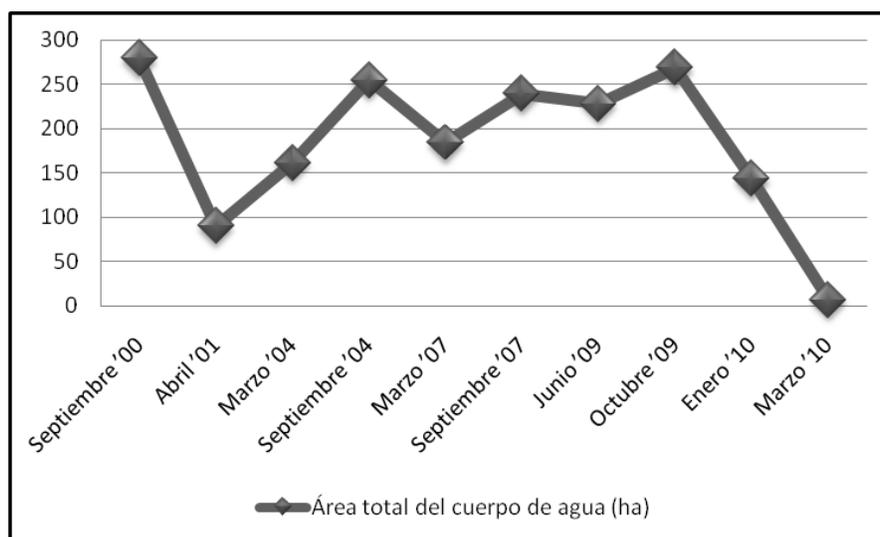
En cuanto a los períodos de déficit hídrico durante la década 2000-2010, aunque éstos presentan cierta concordancia entre sí, no se acercan al grado de homogeneidad alcanzado durante los períodos invernales trabajados. En este sentido, se puede apreciar un aumento en el área de la laguna del año 2001 al año 2007, el que se interrumpe violentamente en el

mes de marzo del año 2010, en el cual la laguna vuelve a mostrar un comportamiento similar al que presentaba durante los períodos de déficit hídrico de la década 1986-1996.

La situación ocurrida en el mes de marzo de 2010 dificulta en gran medida la proyección de un comportamiento futuro de la laguna, ya que dicho descenso fue demasiado pronunciado con respecto a lo que venía presentando unos años antes. Dicha situación se explica en gran parte por la fuerte intervención antrópica que ocurrió a principios del año 2010 al interior de la laguna y el que deja en evidencia la fragilidad del humedal frente a este tipo de intervenciones.

Lo anterior es particularmente interesante, puesto que en 2 de los 3 períodos de la primera década que presentaron una situación similar a la ocurrida en el mes de marzo de 2010, durante los meses de invierno la laguna exhibía cuerpos de agua con una cantidad considerablemente menor a la capacidad máxima que ésta puede presentar, lo que es en buena medida opuesto a lo evidenciado en el ciclo octubre 2009 - marzo 2010, donde en el mes de octubre se tiene un cuerpo de agua cercano al límite máximo que puede albergar la laguna y, posteriormente en marzo, dicha cantidad se ve reducida de manera dramática, haciendo más extraña la situación y aún más difícil de predecir.

**Figura N°66:** Área total del cuerpo de agua de la Laguna de Batuco septiembre 2000 - marzo 2010.



**Fuente:** Elaboración propia, 2010.

Por otra parte, si se toma en cuenta la posibilidad de que la laguna en un futuro cercano se comporte de manera similar a lo observado durante el año hidrológico 2009-2010, entonces se tiene que en los períodos de superávit hídrico, ésta tenderá a presentar una superficie de agua mayor que el promedio, aunque dicha área será probablemente muy similar al cuerpo de agua que presentó la laguna en el mes de octubre de 2009. Algo diferente ocurriría con los períodos de déficit hídrico, en los cuales se podría esperar una baja con respecto a la superficie que tenía la laguna en los años 2001-2007, descenso que difícilmente será tan pronunciado como lo ocurrido durante el mes de marzo de 2010. Ahora bien, si se deja a un lado la situación ocurrida en el mes de marzo del año 2010, es esperable que la laguna en los próximos años, durante los períodos de déficit hídrico, se estabilice alrededor de una cifra cercana a las 150 hectáreas de superficie de agua.

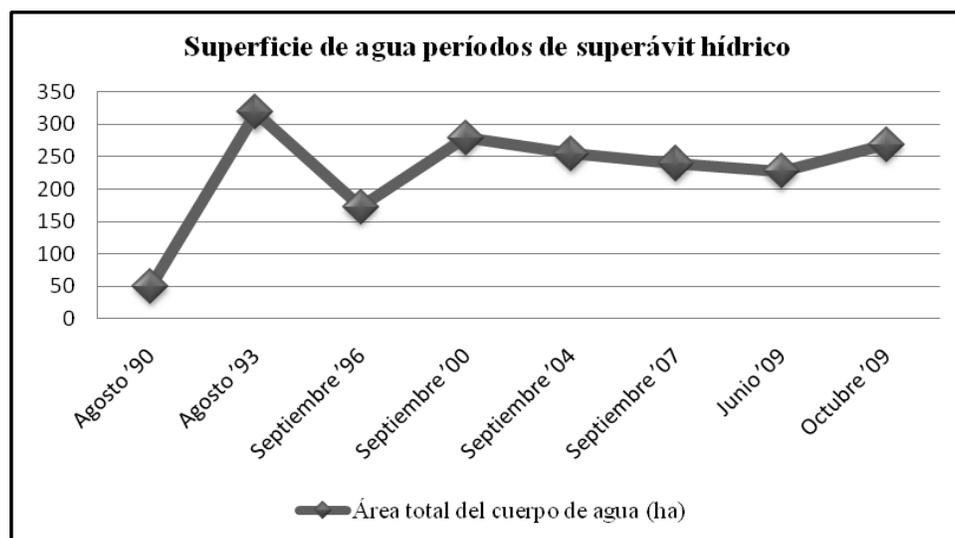
Considerando el comportamiento que los períodos de superávit hídrico mostraron desde 1990 hasta 2009, se podría esperar para los próximos años una pequeña baja en el cuerpo de agua total de la laguna, la que luego vendría acompañada por un pequeño aumento en el área de ésta, entrando en una dinámica de subidas y bajadas pero que en general mantendría a la laguna con más o menos unas 250 hectáreas de superficie de agua. Los períodos de déficit hídrico, a su vez, no muestran una dinámica tan marcada como la anterior, debido fundamentalmente a las diferencias entre la década de los '90 y la del año 2000 y del mencionado descenso que presenta la laguna en marzo de 2010.

Finalmente, es importante destacar que el comportamiento de la laguna en el futuro dependerá en gran medida de las condiciones meteorológicas que se presenten en el área de estudio los meses venideros, además de la dinámica del ciclo hidrológico asociado a éstas. La Laguna de Batuco presenta una intervención antrópica importante a lo largo de toda su extensión y de sus zonas aledañas, la que modifica de forma muy significativa las condiciones naturales que ésta pueda presentar en un determinado momento por lo que las respuestas esperadas después de ciertos eventos pueden verse fuertemente modificadas. Esto dificulta predecir la forma en que el cuerpo de agua de la laguna se comportará en los próximos años.

## IX.- Discusión

A partir de los resultados anteriormente entregados, es difícil observar una conducta marcada y clara de la Laguna de Batuco en cuanto a una disminución progresiva y constante de su cantidad de agua durante los últimos 20 años. En este sentido, se puede apreciar que durante los períodos de superávit hídrico (figura N°67) la laguna muestra, en primer lugar, un aumento en su área total de agua, pasando de 50 a 318 hectáreas, posteriormente, se ve una importante baja en la superficie de dicha área, alcanzando las 170 hectáreas. Finalmente, durante la década del año 2000, el cuerpo de agua de la Laguna de Batuco se estabiliza alrededor de las 250 hectáreas. Por lo que, la laguna no muestra un descenso progresivo a través de los años trabajados.

**Figura N°67:** Progreso del cuerpo de agua de la Laguna de Batuco durante los períodos de superávit hídrico.

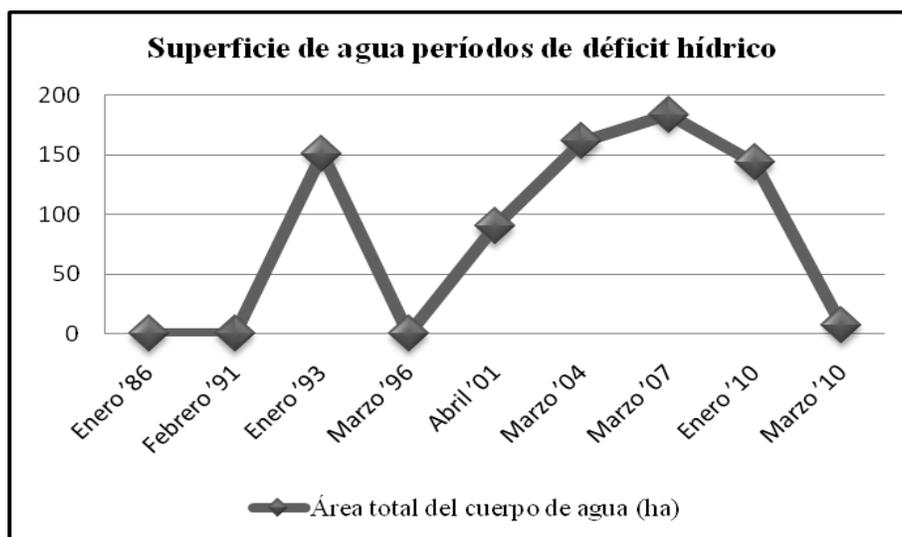


**Fuente:** Elaboración propia, 2010.

Por su parte, los períodos de déficit hídrico (figura N°68) tampoco muestran una conducta orientada al descenso progresivo a través de los años estudiados. En este caso, el comportamiento de la laguna exhibe, en primer término, dos períodos en los cuales la laguna no presenta cuerpo de agua y la superficie de ésta se encuentra prácticamente seca. Luego, se observa un importante aumento en la superficie cubierta de agua de la laguna, la que alcanza las 151 hectáreas. Posteriormente la laguna vuelve a presentar un cuerpo de

agua inexistente. Al igual que en los períodos de superávit hídrico a partir del año 2000, la laguna alcanza cierta estabilidad en la superficie total del cuerpo de agua, cercana a las 150 hectáreas. Dicha tendencia se ve interrumpida de manera abrupta en el mes de marzo de 2010, en el cual la laguna presenta una superficie de agua bastante reducida y muy por debajo de lo que venía mostrando desde comienzos de la década.

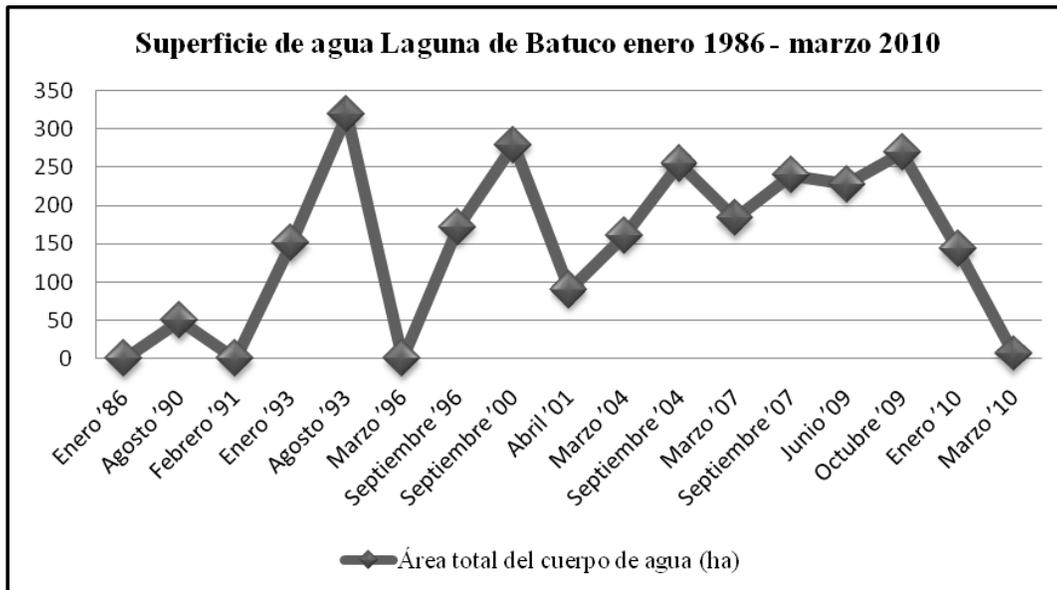
**Figura N°68:** Progreso del cuerpo de agua de la Laguna de Batuco durante los períodos de déficit hídrico.



*Fuente:* Elaboración propia, 2010.

Tomando en cuenta los párrafos anteriores y considerando los diferentes años hidrológicos trabajados, es posible afirmar que, entre los distintos períodos consecutivos de superávit y déficit hídrico, la laguna pierde entre 100 y 150 hectáreas de superficie de un período al otro. De esta forma, se puede esperar que la laguna se encuentre total o parcialmente seca durante los períodos de mayor estrés hídrico si ésta no fue capaz de alcanzar un nivel cercano a las 150 hectáreas durante la pasada época invernal. A su vez, si el cuerpo de agua de la laguna sobrepasa las 200 hectáreas de superficie durante la época de mayor precipitación, se puede esperar que el cuerpo de agua mantenga un nivel importante durante la época de escasez de precipitaciones. Esta situación, junto con el progreso del cuerpo de agua de la Laguna de Batuco entre enero 1986 y marzo 2010, se aprecia en la figura N°69.

**Figura N°69:** Progreso del cuerpo de agua de la Laguna de Batuco enero 1986 y marzo 2010.



**Fuente:** Elaboración propia, 2010.

Entre los períodos trabajados, hay 2 casos que son particularmente especiales, uno de ellos es el año hidrológico 1993. Dicho año rompe con las tendencias que se observan tanto en los períodos de déficit hídrico como en los de superávit, teniendo una cantidad inusual de precipitación, debido, en gran medida, al fenómeno del Niño, ocurrido durante 1992 y, a la existencia de una laguna capaz de albergar una gran cantidad de agua. El segundo caso es lo ocurrido en marzo de 2010, en el cual su escaso cuerpo de agua no se condice con la gran superficie de éste durante el pasado invierno del año 2009, donde la laguna presentó más de 260 hectáreas en el mes de octubre, contradiciendo el análisis del párrafo anterior.

La conducta de la Laguna de Batuco durante los más de 20 años considerados en el presente estudio no refleja de manera notoria las consecuencias del importante fenómeno del cambio climático que se está produciendo a nivel planetario, el cual puede ser crítico para este tipo de ambientes, como son los humedales. Éste es ampliamente reconocido como uno de los problemas ambientales globales más complejos y que mayores desafíos presenta a la sociedad. El efecto invernadero, fenómeno natural benéfico que permite la vida sobre el planeta está siendo afectado por las actividades antrópicas, que, a través de las emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>) y óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), están

modificando el grado de concentración de dichos gases en la atmósfera y generando, en consecuencia, efectos sobre el clima. Más aún, el Panel Mundial de Expertos sobre Cambio Climático<sup>20</sup> (IPCC por su sigla en inglés), asevera, en su Cuarto Informe de Evaluación (2007), con más de un 90% de certeza, que el hombre es el causante del aumento observado en las emisiones de estos gases y que ello ha provocado un aumento de la temperatura promedio mundial de 0,74°C (medida entre los años 1906 y 2005), lo que ha tenido una incidencia directa en los cambios observados en muchos sistemas biofísicos, en particular, desde comienzos de la década de los '70 (Searle y Rovira, 2008).

Ahora bien, considerando el panorama chileno en cuanto a alteraciones de temperatura y otros parámetros debido al cambio climático en el territorio nacional, al año 2040 se estima que aumente la temperatura superficial en poco menos de 2°C en la zona norte (hasta la Región de Coquimbo), y en cerca de 3°C en la zona central y la región austral, modificando variables cruciales para los ecosistemas, tales como heladas, horas de frío y ocurrencia de días cálidos.

Con respecto a la precipitación anual, para el mismo año 2040 se predicen cambios superiores al 30% en algunas áreas del país. Por ejemplo, en la zona donde se ubica la Laguna de Batuco, este parámetro disminuiría significativamente. Por el contrario, en otros lugares, como el altiplano, se incrementarían las precipitaciones, pero disminuirían hasta un 25% desde Antofagasta a Puerto Montt, y aumentarían nuevamente desde Chiloé al sur (Searle y Rovira *op cit.*). Como consecuencia, habría un aumento de la aridez en el norte y centro del país, llegando hasta la Región del Biobío.

En la misma línea anterior, es importante aclarar que los criterios para enfocar el problema de la aridez, como también los métodos de su medición, varían de manera notoria según si el análisis haya sido realizado por un meteorólogo, un climatólogo, un biólogo o un agrónomo; incluso dentro de una misma disciplina, existen sobre la aridez las más heterogéneas interpretaciones. Según di Castri y Hajek (1976), la razón de estas discordancias se debe principalmente a la dificultad de describir objetivamente en qué

---

<sup>20</sup> Panel especialmente creado por Naciones Unidas en 1988 para evaluar el cambio climático.

consiste este fenómeno; por ejemplo, en una escala biológica, las diferentes especies de animales y de plantas pueden reaccionar en forma muy distinta respecto a sus necesidades hídricas, siendo para algunas especies árido un período o una zona que para otras cumple con sus requerimientos óptimos.

Para Searle y Rovira (2008) la evidencia científica, en particular aquella proveniente del IPCC, permite inferir que las áreas protegidas se verán afectadas por el impacto del cambio climático sobre la biodiversidad que ellas contienen. En este sentido, el desplazamiento de especies y ecosistemas provocado por el cambio climático permite prever que los sistemas de gestión diseñados para proteger la biodiversidad por ejemplo, las áreas protegidas y los sitios prioritarios, debieran incorporar esta noción de desplazamientos ecosistémicos en su diseño físico.

Como ya se dijo anteriormente, la Laguna de Batuco se encuentra en la zona semiárida de Chile. Los humedales localizados en este tipo de áreas adquieren un valor singular debido a su especial contribución a la diversificación del paisaje, alta productividad y generación de microclimas de fuerte contraste con la aridez circundante. Además, en las regiones semiáridas se ubican la mayor diversidad de tipos de humedales (Figuerola *et al*, 2009). Dicho esto, es importante destacar que los humedales que se encuentran en zonas semiáridas se ven expuestos a condiciones muy variables a través del tiempo, y con mayor razón si éstos se encuentran en las proximidades de importantes centros urbanos, como es el caso de la Laguna de Batuco.

Smith y Romero (2009) establecen que los humedales urbanos o aquellos cercanos a las ciudades están continuamente sujetos a disturbios antrópicos como la contaminación, fragmentación del hábitat y uso recreacional. En este sentido, la urbanización es una de las principales fuentes de deterioro ambiental que genera homogeneización de la biota debido a la falta de terreno disponible de bajo costo para la construcción, siendo los impactos negativos para la biodiversidad aquellos que disminuyen la capacidad de carga del hábitat principalmente por la ya mencionada fragmentación, cambios en la vegetación e introducción de especies invasoras y para el caso de la avifauna también se consideran

aspectos de comportamiento y poblacionales (Kusch *et al*, 2008). Por otra parte, la modificación de cuerpos de agua por urbanización genera alteración del ciclo hidrológico, variación en profundidad del agua y cambios en la estructura y composición de la vegetación. Para las aves, fauna principal de la Laguna de Batuco, la perturbación sostenida también produce cambios conductuales afectando el éxito reproductivo, tiempo de alimentación o la tolerancia a la presencia humana (Milton *et al*, 1958 en Kusch *et al*, *op cit.*).

A pesar de la constante presión que el hombre y las actividades humanas infringen sobre este tipo de ecosistemas y la escasa valoración que éstos tienen socialmente, los humedales al interior de las ciudades o en las zonas periurbanas de éstas adquieren una gran importancia por las funciones y mecanismos naturales que poseen, los que reportan una serie de beneficios, entre los que se encuentran purificación del aire, regulación microclimática, reducción de ruido, drenaje de aguas lluvias, tratamiento de aguas residuales y oferta de espacios para la recreación. (Bolund y Hunhammar, 1999 en Smith y Romero, 2009).

No obstante, los humedales son actualmente los ambientes más amenazados por la intervención humana, que los drena, rellena, deseca, destruye su vegetación y contamina sus aguas y sedimentos (Ramírez *et al*, 2002). Así lo demuestran las cifras entregadas por la Convención RAMSAR (2006), que señala que en el último siglo más de la mitad de la superficie de humedales en el mundo ha desaparecido, quedando alrededor de 600 a 900 millones de hectáreas, de las cuales solo 60 o 70 millones (menos del 10%) se encuentran protegidas.

La intervención antrópica en la Laguna de Batuco es muy importante, más allá de los aspectos antes mencionados relacionados con los humedales urbanos y periurbanos, puesto que condiciona en gran medida la dinámica que se puede observar a lo largo del año al interior de ésta. Los diferentes pretiles colocados dentro de la laguna determinan un comportamiento específico, que distribuye de forma diferenciada la cantidad de agua que va siendo recibida por la laguna. Esta situación se puede apreciar de forma más clara

cuando el humedal todavía no ha alcanzado una cantidad cercana al máximo de su capacidad de almacenaje. El efluente artificial, junto con el pretil sur y la línea del tren, también modifican la conducta normal de la laguna, reduciendo la cantidad de agua disponible en ésta como también acotando su superficie. Por su parte, es evidente que los componentes asociados al ciclo hidrológico son importantes en la cantidad de agua disponible al interior de la Laguna de Batuco, pero la distribución y movimiento de ésta se explican más bien por la intervención que ha venido experimentando a lo largo de los años.

En cuanto a la Estrategia para la Conservación de la Biodiversidad en la Región Metropolitana de Santiago y la forma en que los organismos del Estado se vinculan con la Laguna de Batuco, se aprecia que existe una gran incompatibilidad en el hecho de tratarse ésta última de un sitio privado. Ésta se manifiesta en diferentes niveles; por ejemplo, en los contrastes que se producen entre los tiempos de acción y la cantidad de actores involucrados en la toma de decisiones que existen entre una aproximación pública o una privada sobre un territorio determinado; en este caso, un humedal.

La propia Estrategia especifica que “el patrimonio natural pertenece a la sociedad en su conjunto y, por esto, ella tiene el derecho a gozar de los beneficios derivados de la conservación así como también el deber de asegurar su protección para el beneficio de las generaciones actuales y futuras”, lo que en cierta medida va en contra del concepto de propiedad privada, más aún si se trata de una zona tan importante para la región como lo es el humedal de Batuco.

## X.- Conclusiones y recomendaciones

### 10.1.- Conclusiones

A partir del análisis realizado en la presente investigación, queda demostrado que el humedal de la Laguna de Batuco no ha estado experimentando una disminución progresiva de su cantidad de agua los últimos 20 años, sino que más bien ha venido mostrando un comportamiento fluctuante en cuanto a su superficie de agua con aumentos y descensos, los cuales no denotan un patrón claro, tanto de gran pérdida como de ganancia de agua. En cuanto a los meses de verano, es claro que éstos al ser los períodos de mayor déficit hídrico del año aumentan o acentúan, en algunos casos más significativamente que en otros, las pérdidas de superficie de agua en la laguna.

Desde el punto de vista físico, la Laguna de Batuco es un cuerpo de agua de muy baja profundidad (44 cm promedio), con zonas de aguas corrientes y otras de aguas estancadas. Corresponde a un humedal de tipo lacustre, según la clasificación de la Convención Ramsar, y a un humedal de tipo lagunar, según la propuesta de clasificación de humedales naturales de Chile, propuesta por Ramírez *et al*, 2002. Se sitúa en un lugar de la depresión intermedia, caracterizada por el relleno de sedimentos fluviales, y su formación se debe principalmente a la baja permeabilidad de los suelos que la sustentan. La Laguna de Batuco representa el sistema hídrico fundamental de la cuenca de Batuco y es parte importante de la red de drenaje de la provincia de Chacabuco.

Con respecto a las especies animales y vegetales dentro de la laguna, se tiene que son 2 las especies vegetales predominantes: *Typha angustifolia* (Totora) y *Scirpus californicus* (Totorilla), las cuales se encuentran adaptadas al exceso de nutrientes, alta salinidad y bajos niveles de agua que el humedal presenta. En cuanto a la fauna del lugar, la Laguna de Batuco exhibe una gran cantidad de especies de aves, sin embargo un muy bajo porcentaje de ellas son endémicas, entre las que se encuentran la Perdiz chilena (*Nothoprocta perdicaria*) y la Turca (*Pteroptochos megapodius*). No obstante, la laguna cumple un importante rol en cuanto a la reproducción, nidificación y crecimiento de dichas aves.

En cuanto a la intervención antrópica, tanto dentro de la laguna como en las zonas aledañas a ésta, se pudo comprobar que el grado de dicha intervención es muy importante para el funcionamiento general de la laguna, ya que condiciona en gran medida la cantidad de agua disponible en su interior como también la dinámica y distribución de ésta.

En relación a la cantidad de agua disponible al interior de la laguna, se tiene que gran parte de las entradas y salidas de caudal se explican por acción humana, fundamentalmente por el aporte recibido desde la PTAS La Cadellada (muy importante en verano) y por el agua perdida a través del efluente artificial. Con respecto a la dinámica y distribución del agua la Laguna de Batuco, se puede decir que es un sistema discontinuo que se encuentra acotado por pretilos de tierra, los que dan origen a 4 sub-lagunas que actúan de forma casi independiente, definiendo el comportamiento de la laguna en su conjunto.

Las actividades más peligrosas con respecto a la conservación de la biodiversidad al interior del área de estudio son las fábricas de cerámicas (Cerámicas Batuco y Cerámicas Santiago), el Bodegaje de Petcoke y la PTAS La Cadellada.

El análisis del año hidrológico 2009-2010 arrojó 4 superficies de agua totales al interior de la laguna, siendo la mayor la establecida en el mes de octubre del año 2009, con 269 hectáreas de cuerpo de agua, y la menor la del mes de marzo del año 2010, con tan sólo 7 hectáreas. A su vez, los períodos intermedios de junio de 2009 y enero de 2010 presentaron superficies totales de 228 y 143 hectáreas, respectivamente. Durante este análisis, también se pudo comprobar que no todas las sub-lagunas se encuentran cubiertas de agua todo el año. Esto sólo sucede en el caso de las sub-lagunas noroeste y central, mientras que la laguna norte se encuentra seca alrededor de 7 meses del año y la laguna sur lo hace cerca de 4 meses.

Por su parte, el análisis de los años 1986-2007 mostró un comportamiento claramente diferenciado entre los primeros años considerados (1986-1996) y la década del año 2000. Durante la primera década, la conducta de la laguna fue más bien errática, a diferencia de lo acontecido durante la segunda década trabajada (2000-2007), donde se observó una laguna

más constante en cuanto a la superficie de agua mostrada en todos sus períodos, estabilizándose ésta en alrededor de 250 hectáreas durante el invierno y en torno a las 150 hectáreas en verano.

El nivel máximo que se estableció en la Laguna de Batuco entre los años 1986 y 2007 fue en el mes de agosto del año 1993, donde la laguna presentó 319 hectáreas de superficie de agua. En oposición a lo anterior, fueron 3 las ocasiones en las que la laguna alcanzó su nivel mínimo, encontrándose en dichas oportunidades desprovista de cuerpo de agua alguno.

Las zonas de aumento y retroceso del cuerpo de agua bajo comparaciones directas en períodos de superávit hídrico mostraron un predominio importante de las primeras sobre las segundas, siendo los aumentos más importantes los exhibidos por la laguna de agosto de 1990 a junio de 2009 y de septiembre de 1996 a octubre de 2009. Por su parte, las comparaciones directas realizadas sobre los períodos de déficit hídrico manifestaron un predominio absoluto de las zonas de retroceso, evidenciando la escasa área que presentó la laguna en el final del verano 2010.

Ahora bien, las zonas de aumento y retroceso bajo comparaciones correlativas (es decir, períodos consecutivos) manifestaron un comportamiento similar tanto en períodos de superávit como de déficit hídrico, apreciándose en éstas una conducta orientada a comparaciones con predominio de zonas de aumento intercaladas con preponderancia de zonas de retroceso. De esta manera se configura una mecánica en la cual de las 10 comparaciones realizadas para este caso, en 5 oportunidades prevalecieron las zonas de aumento y en otras 5 lo hicieron las zonas de retroceso.

Considerando el análisis estadístico de los períodos de superávit hídrico trabajados, se puede esperar que en el futuro la laguna presente un nivel mínimo cercano a las 150 hectáreas y un máximo alrededor de las 300, lo que representa una buena cantidad de agua almacenada. En cuanto a lo arrojado por los períodos de déficit hídrico, el resultado no es tan claro, debido a lo problemático de tener posibilidades similares para realidades tan

distintas como lo son un cuerpo de agua casi inexistente y otro de un tamaño importante (más de 100 hectáreas), tomando en cuenta la estación del año.

En síntesis, el presente trabajo de investigación dio cuenta, en parte, del comportamiento estacional del humedal de la Laguna de Batuco. Esto último es de vital importancia para conocer la dinámica de la laguna y, de esta forma, poder anticipar de mejor manera lo que pueda ocurrir al interior del humedal.

En cierta forma, los resultados obtenidos muestran que la Laguna de Batuco ha estado experimentando una estabilización en cuanto a su superficie total de agua desde 1986 hasta la fecha. Sin embargo, esto puede cambiar rápida y drásticamente debido a la importancia de la intervención antrópica en el área de estudio.

Aunque ciertamente dichos resultados muestran un indicio de lo que podría ocurrir con la Laguna de Batuco en el futuro, la utilización de imágenes satelitales extras hubiese permitido entregar tendencias más claras y certeras de las que se pudieron realizar. En este sentido, el número de imágenes utilizadas, si bien cumplen con el objetivo principal de este proyecto, representan una limitación a la hora de poder profundizar y alcanzar un nivel de detalle mayor en relación al comportamiento que la laguna exhibe comúnmente.

Finalmente, esta memoria no sólo aporta con nuevos antecedentes sobre uno de los humedales más importante de la Región Metropolitana, sino que también discute sobre cómo estos ambientes, actualmente, se encuentran sometidos a una fuerte presión, tanto natural como antrópica. En el caso particular del humedal de Batuco, esto viene dado por el carácter creciente de la aridez en la región y la gran influencia que ejerce la ciudad de Santiago sobre él.

## **10.2.- Recomendaciones**

Algunas recomendaciones que surgen después de concluido el presente proyecto de título tienen que ver con continuar y mejorar el monitoreo de la laguna en cuanto a su calidad y nivel de agua, caudales de los afluentes y efluentes, perfiles de temperatura y batimetría. Junto con esto ampliar la delimitación de la laguna con datos de todo el borde de esta, idealmente realizar una estimación de los límites de la laguna al comenzar y terminar tanto el período invernal como estival. Además tratar de complementar todo lo anterior con información espacial pertinente, ya sea mediante el uso de fotografías aéreas o imágenes satelitales.

En relación a lo anterior sería bueno perfeccionar la información generada en este trabajo con un análisis hidrológico e hidrogeológico acabado y un balance hídrico de la cuenca de Batuco. Para poder realizar esto habrá que contar con una buena base de información hidrológica (precipitaciones, caudales, etc.) que permita precisar de manera certera de donde vienen los flujos superficiales y subterráneos alimentadores así como determinar y cuantificar las zonas de evacuación de la cuenca.

Finalmente, se recomienda continuar con las investigaciones en el área del humedal, así como también del cuerpo de agua de la laguna misma. Esto significa ampliar los antecedentes ya entregados tanto por organismos públicos (Ministerio del Medio Ambiente ex CONAMA, 2005; Aguirre, 2005; Universidad de Chile, 2007) como por trabajos de investigación particulares (Del Campo, 2000; Miranda y Dávila, 2005; Cox, 2007; Cortez, 2007; Mellado, 2008 y el presente estudio). De esta manera, es posible dar un paso más hacia una estrategia de conservación o manejo del humedal de Batuco.

## **XI.- Bibliografía**

- ❖ **Acuña, M.** 2005. “Caracterización y zonificación de la fauna de vertebrados terrestres presentes en la cuenca de la Laguna de Bатуco, Región Metropolitana”. Informe de Práctica Profesional.
- ❖ **Aguirre, I.** 2005. “Antecedentes medioambientales relativos al humedal de Bатуco”. Departamento de geología aplicada, SERNAGEOMIN.
- ❖ **Becerra, B., Castro, M., Cataldo, D., Gutiérrez, M.** 2007. “Plan de Manejo de los Recursos Naturales Renovables Humedal de Bатуco”. Facultad de Ciencias Agropecuarias y Ambientales, Universidad de Las Américas.
- ❖ **CASEN** (Caracterización Socioeconómico Nacional), 2006. Cuadros Comunales, 2006. Distribución de la población por pobreza.
- ❖ **Castillo, O., Falcón, E.** 1961. “Informe Preliminar sobre las Condiciones Geohidrológicas de las Zonas de Colina, Bатуco y Lampa”. Instituto de Investigaciones Geológicas, Santiago.
- ❖ **Cerámicas Santiago,** 2005. Estudio de Impacto Ambiental (EIA) del Proyecto: “Restauración, Replantación y Manejo en el área del Humedal de Bатуco”.
- ❖ **Chuvieco, E.** 2002. “Teledetección Ambiental”. Tercera Edición.
- ❖ **CIREN-CORFO.** 1981. “Descripciones de Suelos: Estudio Agrológico, Proyecto Maipo: Región Metropolitana”.
- ❖ **CONAF,** 2006. “Plan Integral de Gestión Ambiental del Humedal del Río Cruces”.
- ❖ **CONAMA,** 2004. “Estrategia para la Conservación de la Biodiversidad en la Región Metropolitana de Santiago”.

- ❖ **CONAMA**, 2005. “Estrategia Nacional para la Conservación y Uso Racional de los Humedales en Chile”.
- ❖ **CONAMA**, 2006. “Anteproyecto de Normas Secundarias de Calidad Ambiental para la Protección de las Aguas Continentales Superficiales de la Cuenca del Río Maipo”. Resolución Exenta N° 0261.
- ❖ **CONAMA**, 2010. Visita a página web correspondiente, <http://www.mma.gob.cl> ex <http://www.conama.cl>
- ❖ **CONAMA-Centro de Ecología Aplicada**, 2007. “Protección y Manejo de Humedales Integrados a la Cuenca Hidrográfica”.
- ❖ **Contreras, M.** 2006. “Guía de Evaluación Ambiental de Humedales”. Versión Borrador.
- ❖ **Contreras, R.** 2007. “Uso de Vegas y Bofedales de la Zona Cordillerana y Precordillerana de la Región de Atacama”. Memoria para Optar al Título Profesional de Ingeniero Forestal. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad de Chile.
- ❖ **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.
- ❖ **Cortez, A.** 2007. “Gestión Ambiental del Municipio de Lampa Respecto al Sitio Prioritario N°6, Humedal de Batuco”. Informe de Práctica Profesional.
- ❖ **Cox, C.** 2007. “Metodología de Diseño de una Red de Monitoreo de Recursos Hídricos para Humedales: Aplicación en la Laguna de Batuco”. Memoria de Título. Departamento de Ingeniería Civil, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile.
- ❖ **Del Campo, P.** 2000. “Antecedentes Florísticos y Vegetacionales del humedal Laguna de Batuco”. Monografía para Optar al Grado Académico de Licenciado en Ciencias y Arte Ambientales, Universidad Central de Chile.

- ❖ **Del Campo, P., Luebert, F., Teillier, S.** 2005. “Asociaciones Vegetales de la Laguna de Bатуco. Región Metropolitana. Chile”.
- ❖ **DGA,** 2005. “Declaración área de restricción sectores hidrogeológicos de aprovechamiento común de Tiltill, Chacabuco-Polpaico, Lampa, Colina Sur, Santiago Norte y Santiago Central”.
- ❖ **DGA,** 2010. Visita a página web correspondiente, <http://www.dga.cl>
- ❖ **Di Castri, F., Hajek, E.** 1976. “Bioclimatología de Chile”.
- ❖ **Dirección Meteorológica de Chile,** 2010. Visita a Página Web Correspondiente, <http://www.meteochile.cl>
- ❖ **Ferrando, F.** 1999. “Diagnostico del Sector Medio Ambiental”. Contexto Físico y Riesgos. Comuna de Lampa. Departamento de Geografía, Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Universidad de Chile.
- ❖ **Ferrando, F.** 2005. “Características Físico-Ambientales y Riesgos de la Comuna de Lampa, Región Metropolitana de Santiago, Chile”.
- ❖ **Figuroa, R., Suarez, M., Andreu, A., Ruiz, V., Vidal-Abarca, M.** 2009. “Caracterización Ecológica de Humedales de la Zona Semiárida en Chile Central”.
- ❖ **Gajardo, R.** 1994. “La Vegetación Natural de Chile. Clasificación y Distribución Geográfica”. Editorial Universitaria.
- ❖ **Grupo Chadule,** 1980. “Iniciación a los Métodos Estadísticos en Geografía”. Editorial Ariel. Colección ELCANO la Geografía y sus Problemas.
- ❖ **Habit, E., Tuckfield, C., Parra, O.** 2006. “Response of the Fish Community to Human Induced Changes in the Bío-Bío River in Chile”.
- ❖ **I. Municipalidad de Lampa,** 2009. Actividades de Monitoreo sobre la Laguna de Bатуco.

- ❖ **I. Municipalidad de Lampa**, 2009. Archivo fotográfico.
  
- ❖ **INE** (Instituto Nacional de Estadísticas), 2002. Resultados Generales. Censo de Población y Vivienda, 2002. Santiago, Chile.
  
- ❖ **Kusch, A., Cárcamo, J., Gómez, H.** 2008. “Aves Acuáticas en el Humedal Urbano de Tres Puentes, Punta Arenas (53° s), Chile Austral”.
  
- ❖ **Mellado, C.** 2008. “Caracterización Hídrica y Gestión Ambiental del Humedal de Batuco”. Tesis para Optar al Grado de Magister en Ciencias de la Ingeniería, Mención Recursos y Medio Ambiente Hídrico. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile.
  
- ❖ **Miranda, Y., Dávila, F.** 2005. “Propuesta de Conservación Bajo Estándares de la Convención Ramsar para el ecosistema Humedal Laguna de Batuco, Comuna de Lampa, Región Metropolitana. Trabajo de Titulación para Obtener el Título de Ingeniero de Ejecución Ambiental. Universidad de Santiago de Chile.
  
- ❖ **Mitsch, W., Gosselink, J.** 2000. “Wetlands”. Jhon Wiley y Sons, Inc. Tercera Edición.
  
- ❖ **Monsalve, G.** 1999. “Hidrología en la Ingeniería”. 2da Edición.
  
- ❖ **Muñoz, A., Moller, P.** 1997. “Conservación de Humedales”. Taller Bases para la Conservación de Humedales en Chile. Ediciones CEA. Valdivia, Chile.
  
- ❖ **NOAA & EPA**, 2003. “Restauración, Creación y Mejoramiento de Humedales”.
  
- ❖ **Odum, E., Sarmiento, F.** 1998. “ECOLOGIA. El Puente entre Ciencia y Sociedad”. McGraw-Hill Interamericana.
  
- ❖ **Peña Llopis, J.** 2006. “Sistemas de Información Geográfica Aplicados a la gestión del Territorio”.

- ❖ **Ramírez, C., San Martín, C., Rubilar, H.** 2002. “Una Propuesta para la Clasificación de los Humedales Chilenos”. En revista Geográfica de Valparaíso. N°32-33 (2001-2002), p. 265-273.
- ❖ **Ramsar,** 2004. “Manual de la Convención de Ramsar”: Guía de la Convención sobre los Humedales (Ramsar, Irán, 1971). 3era Edición.
- ❖ **RAUCH,** 2005. “Establecimiento de un Método para el Monitoreo de la Calidad del Humedal de Batuco”. Primera Etapa: Línea Base. Red Ambiental Universidad de Chile.
- ❖ **Searle, J., Rovira J.** 2008. “Cambio Climático y Efectos en la Biodiversidad: El Caso Chileno. Biodiversidad de Chile, Patrimonio y Desafíos. Capítulo IV: El Hombre y la Biodiversidad.
- ❖ **SERNAPESCA-Departamento de Administración Pesquera,** 1999. Documento de Recopilación “Listado de Humedales Costeros de Chile”.
- ❖ **Smith, P.** 2007. “Evolución Espacial y Temporal de la Calidad Ambiental del Paisaje de los Humedales de Concepción entre 1975 y 2006: Efectos Ambientales Provocados por la Urbanización”. Memoria Para Optar al Título Profesional de Geógrafo. Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Universidad de Chile.
- ❖ **Smith, P., Romero, H.** 2009. “Efectos del Crecimiento Urbano del Área Metropolitana de Concepción sobre los Humedales de Rocuant-Andalién, Los Batros y Lengua”.
- ❖ **Tabilo-Valdivieso, E.** 1997. “El Beneficio de los Humedales en América Central”.
- ❖ **Tricart, J., Michel, M.** 1963. “Informe sobre la Geomorfología de la Cuenca de Santiago y sus Relaciones con las Aguas Subterráneas”. Instituto de Investigaciones Geológicas, Santiago.
- ❖ **Unarte,** 2006. “Consultoría para Establecer una Línea Base y Zonificación para la Conservación de la Biodiversidad en el Sitio Prioritario N°6, Humedal Batuco, de la Región Metropolitana de Santiago”. Facultad de Ciencias Universidad de Chile.

- ❖ **Universidad de Chile**, 2007. “Plan Indicativo para el Sitio Prioritario N°6, Humedal de Batuco”. COREMA RM – Facultad de Ciencias, Universidad de Chile.
- ❖ **Vargas, R.** 2004. “El Desarrollo de Nuevos Espacios Industriales y sus Efectos en el Medio Ambiente en la Provincia de Chacabuco”. Diplomado: Ordenamiento territorial y Gestión en Áreas Metropolitanas.
- ❖ **Ven Te Chow**, 1999. “Hidrología Aplicada”. McGraw-Hill.
- ❖ **Wall, R.; Sellés, D.; Gana, P.** 1999. Área Tiltil-Santiago, Región Metropolitana. Servicio Nacional de Geología y Minería, Mapas Geológicos, No. 11, 1 mapa 1:100.000. Santiago.
- ❖ **Wetzel, R.** 2001. “Limnology: Lake and River Ecosystems”. Chapter 20: Shallow Lakes and Ponds. 3rd Edition, Academy Press.

## **XII.- Anexos**

### **Anexo A**

#### **Instrumentos de planificación ambiental, nacionales e internacionales**

##### **A.1.- Tratados internacionales relativos a los humedales suscritos por el país**

- Convención Ramsar

Como se ha mencionado anteriormente, dicha convención es un tratado intergubernamental que fue firmada en la ciudad de Ramsar (Irán) el 2 de febrero de 1971 y entró en vigor en 1975. Dicha convención se aboca principalmente al uso racional y conservación de los humedales. En el año 2010, 159 Estados miembros de todo el mundo se habían sumado a dicho acuerdo, protegiendo 1.888 humedales, con una superficie total de 185,2 millones de hectáreas, designados para ser incluidos en la lista de Humedales de Importancia Internacional de Ramsar.

Cada 3 años, los países miembros se reúnen para evaluar los progresos y compartir conocimientos y experiencias. Estos países pueden adherir aquellos humedales que cumplan con una serie de requisitos impuestos por la convención, recibiendo por parte de ésta apoyo técnico y económico para el conocimiento y preservación de dichos sitios (Mellado, 2008).

Chile adhirió a esta Convención el año 1981, la que se encuentra administrada por el Ministerio de Relaciones Exteriores, asesorado por el Comité Nacional de Humedales. Hasta la fecha, el país cuenta con 9 sitios Ramsar que cubren 160.154 hectáreas. Estos sitios se presentan en detalle en la tabla A-1.

**Tabla A-1:** Sitios Ramsar en Chile.

Nombre	Región	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.
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.
<b>TOTAL</b>		160.154	

*Fuente:* Estrategia Nacional de Humedales, CONAMA, 2005.

- Convención de Biodiversidad

Tratado internacional, adoptado en Nairobi el año 1992, que tiene como objetivo principal la conservación de la diversidad biológica, así como los recursos biológicos, ya sea por razones éticas, por los beneficios económicos que reportan o por la importancia de dichos recursos para la supervivencia de la especie humana (CDE, 1997 en Mellado, *op cit.*).

Este tratado fue ratificado por Chile el año 1994 y es administrado por el Ministerio del Medio Ambiente (ex CONAMA), Ministerio de Agricultura, Ministerio de Economía y Ministerio de Bienes Nacionales.

- Convención de Bonn

El objetivo de esta Convención es contribuir a la conservación de las especies terrestres, marinas y aviarias a lo largo de su área de migración. Ratificado por Chile en 1981 y en vigencia desde 1983, dicho tratado está administrado por el Ministerio de Relaciones

Exteriores, el que es asesorado técnicamente por un profesional reconocido por la Convención.

- Convención de Washington

Está abocada a la protección y conservación de todas las especies de flora y fauna nativas, en número y regiones lo suficientemente amplias como para evitar su extinción. Se preocupa, además, de preservar paisajes naturales que tengan gran valor estético, histórico o científico. Fue adherida por Chile el año 1967, depende del Ministerio de Relaciones Exteriores y del Ministerio de Agricultura a través de CONAF.

- Convención CITES

Su objetivo principal es regular el comercio internacional de especies de flora y fauna amenazada, así como sus productos. El país adhirió en 1975 a esta Convención, siendo administrada localmente por SAG (flora y fauna terrestre), CONAF (flora) y SERNAPESCA (flora y fauna marina).

#### **A.2.- Instrumentos nacionales y regionales de planificación**

- Estrategia para la Conservación de la Diversidad Biológica de la Región Metropolitana

Esta estrategia, aprobada por la COREMA RM, tiene como objetivo la conservación futura y el uso sostenible de la biodiversidad de la Región Metropolitana. Se origina principalmente por una serie de compromisos políticos adquiridos por el país, tanto a nivel nacional como internacional. Estos compromisos son los siguientes:

1. Convenio Internacional sobre la Diversidad Biológica, de la conferencia de las Naciones Unidas sobre el medio ambiente y desarrollo el año 1992, ratificado por Chile en 1994.

2. Agenda Ambiental del Gobierno 2002-2006, que establece la implementación de una estrategia y un plan de acción para la conservación nacional de la biodiversidad.
3. Estrategia Nacional de Conservación de la Biodiversidad, aprobada por el consejo de Ministros de CONAMA en diciembre de 2003.

La estrategia regional establece un marco oficial para la conservación de 23 sitios prioritarios (tabla A-2), que en total suman más de 1 millón de hectáreas. Dentro de éstos, el sitio prioritario N°6 corresponde al humedal de Batuco.

- Estrategia Nacional para la Conservación y Uso Racional de los Humedales en Chile

Dicha Estrategia Nacional de Humedales tiene por objetivo promover la conservación de los humedales prioritarios de Chile y de sus funciones y beneficios en un marco de desarrollo sustentable. Ésta cuenta con 6 objetivos específicos, los cuales quedan detallados a continuación:

1. Desarrollar una conducta de valoración ambiental, económica, social y cultural de los humedales, es decir, despertar en la comunidad una mayor conciencia de las funciones y beneficios que tienen los humedales.
2. Incrementar el conocimiento de los humedales. Uno de los mayores problemas que enfrenta la conservación de humedales es la escasa información básica y aplicada con la que cuenta la población en general.
3. Implementar un marco de acción legal e institucional para lograr la conservación y el uso sostenible de los humedales en el país.
4. Promover la participación del sector privado, organizaciones no gubernamentales, instituciones académicas, pueblos originarios y comunidad en general en la conservación y el uso sustentable de humedales.
5. Desarrollar e implementar instrumentos de planificación y gestión participativa para la conservación y uso sustentable de los humedales prioritarios.

6. Reforzar la participación de Chile en el quehacer internacional y obtener los apoyos externos necesarios para el logro de esta estrategia nacional.

La Estrategia Nacional para la Conservación y Uso Racional de los Humedales se aboca a la protección de “Humedales Prioritarios”, los que pueden o no ser sitios Ramsar. Aunque no se define explícitamente un humedal como prioritario, éstos deberán ser representativos de la biodiversidad en sus distintos niveles, condiciones y características.

**Tabla A-2:** Sitios Prioritarios para la Conservación de la Biodiversidad en la Región Metropolitana de Santiago.

Nº	Nombre	Superficie (ha)	Ubicación
1	Cordón de Cantillana	205.378	Sur de la región entre la C. de la Costa y el valle.
2	El Roble	88.520	Área norponiente de la Cordillera de la Costa.
3	Altos del Río Maipo	126.622	Tercio superior de la cuenca del río Maipo.
4	El Morado	141.827	Cordillera de los Andes.
5	Río Olivares, Río Colorado, Tupungato	110.438	Área norte de la Cordillera de los Andes.
6	Humedal de Bатуco	14.788	Sector norponiente de la región.
7	Contrafuerte Cordillerano	13.352	Piedemonte andino.
8	Cuenca Estero El Yali	10.252	Parte superior de la cuenca del estero Yali.
9	Río Clarillo	62.346	Parte centro - sur de la Región Metropolitana.
10	Zona Alto Andina	83.366	Extremo oriente de la Región Metropolitana.
11	Corredor Limítrofe Sur (Angostura)	8.388	Extremo sur de la Región Metropolitana.
12	Chacabuco - Peldehue	66.633	Cordón de Chacabuco.
13	Fundo Huechún	691	Zona norte del valle central de la región.
14	Altos de la Cuenca del Mapocho	76.996	Parte sur de la Cordillera de Los Andes.
15	Colina - Lo Barnechea	15.907	Zona norte de la Región Metropolitana.
16	Mallarauco	8.641	Zona central de la Cordillera de la Costa.
17	San Pedro Nororient	4.690	Cordillera de la Costa (al poniente del Cordón de Cantillana).
18	Cerro Lonquén	4.296	Poniente de la carretera Panamericana Sur entre Buin y Calera de Tango.
19	Cerro Águilas	9.144	Cordillera de la Costa (límite poniente de la región).
20	Cerros Limítrofes Melipilla - San Antonio	6.269	Cordillera de la Costa (límite poniente de la región).
21	Las Lomas - Cerro Pelucón	9.002	Cordillera de la Costa (al poniente de Peñaflor y al norte de Melipilla).
22	Cerros Alto Jahuel - Huelquén	7.415	Parte sur de la región.
23	Cerro Chena	1.188	Poniente de la carretera Panamericana Sur frente a San Bernardo.

*Fuente:* Elaboración propia, 2010 en base a Estrategia para la Conservación de la Biodiversidad RM, 2004.

**Anexo B**

**Organismos nacionales vinculados con la conservación de humedales**

**Tabla A-3:** Organismos vinculados con la conservación de humedales en Chile.

Organismo	Ministerio	Materia	Utilidad	
			Operatividad	Potencial
<b>General</b>				
Ministerio del Medio Ambiente	Secretaría General de la Presidencia	Mención directa a los humedales en ley de Bases Generales sobre el Medio Ambiente Ley 19.300.	Baja	Alto
Dirección de Políticas Especiales	Relaciones Exteriores	Convención de Biodiversidad. Administra la Convención Ramsar, participa en la convención de Bonn, la convención de Washington y CITES.	Medio	Alto
<b>Agua</b>				
Dirección General de Aguas	Obras Públicas	Aprovechamiento de aguas.	Alta	Alto
SISS	Obras Públicas	Evitar contaminación de aguas, derechos de aprovechamiento de aguas. Conservación de aguas, normativa sobre residuos líquidos industriales.	Baja	Alto
DIRECTEMAR	Defensa	Ley de navegación DL 2.222, contaminación de aguas DS 425, DS 476.	Alta	Medio
Autoridad Sanitaria	Salud	Contaminación SFL 382 1989, DS1 1992, Ley 18.902.	Medio	Medio
SAG	Agricultura	Regulación en el uso de pesticidas.	Bajo	Medio
<b>Suelo y subsuelo</b>				
Minvu	Vivienda	Planes de desarrollo urbano, intercomunales, reguladores seccionales (Ley de urbanismo y construcciones).	Alta	Bajo
CONAF	Agricultura	Cambios de uso suelo. Convención de Washington.	Alto	Medio
SAG	Agricultura	Cambios de uso suelo. Conservación de suelo. Ley 18.378, DL 3.557.	Alta	Bajo
		Regulación en el uso de pesticidas.	Baja	Medio
Ley 1.939	Bienes Nacionales	Administración, concesiones ley 1.939.	Baja	Alto
Comisión Nacional de Riego	Economía	Ley 18.902.	Baja	Medio
SERNAGEO MIN	Minería	Emisiones de anhídrido sulfuroso, material particulado y arsénico. DS 185.	Baja	Bajo

Organismo	Ministerio	Materia	Utilidad	
			Operatividad	Potencial
<b>Aire</b>				
Autoridad Sanitaria	Salud	Normas de emisiones. Código sanitario, DS 185, DS 144.	Medio	Medio
SAG	Agricultura	Regulación en el uso de pesticidas.	Baja	Medio
<b>Flora</b>				
SAG	Agricultura	Regulación en el uso de pesticidas.	Baja	Medio
CONAF	Agricultura	Conservación de flora silvestre. Convención de Washington <sup>21</sup> y CITES <sup>22</sup> .	Bajo	Alto
<b>Fauna</b>				
SAG	Agricultura	Conservación de fauna silvestre DS 133. CITES.	Bajo	Medio
CONAF	Agricultura	Conservación de fauna silvestre el SNASPE. Convención de CITES.	Bajo	Alto
SERNAPESCA	Economía	Conservación de fauna acuática. CITES.	Media	Alta

*Fuente:* Elaboración propia, 2009 en base a Möller & Muñoz, 1997.

<sup>21</sup> Convención para la Protección de la Flora, la Fauna y las Bellezas Escénicas Naturales de América.

<sup>22</sup> Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres (CITES). Tiene como principal objetivo regular el comercio internacional de especies de flora y fauna amenazada y sus productos.

**Anexo C**

**Red de drenaje principal con incidencia en el área de estudio**

En la zona de estudio se desarrolla un sistema de flujos bastante errático, en donde se distinguen la Laguna de Batuco, Estero Colina, Estero Lampa y Canal Batuco como aquellos más permanentes y notorios (ver tabla A-4). Ésto, sumado a los orígenes de la cuenca, un nivel freático somero, a las características propias de los suelos del sector y a problemas de evacuación de aguas lluvias, han causado problemas de inundaciones que se mantienen hasta estos días (Mellado, 2008).

**Tabla A-4:** Descripción de los diferentes acuíferos con incidencia en la Laguna de Batuco.

Nombre del acuífero	Descripción
<b>Laguna de Batuco</b>	La fosa de Batuco es de tipo endorreico. Ésta retiene los flujos de las laderas circundantes, dando origen a la Laguna de Batuco, así como a otras lagunas más pequeñas en períodos de alta precipitación. Este sistema de lagunas es de baja profundidad, y algunas de sus principales pérdidas de agua ocurrirían por evaporación y evapotranspiración. Dada esta característica, ha sido común que en el pasado la Laguna de Batuco se secase durante el verano, aunque en algunas ocasiones ha presentado un almacenamiento de agua bastante significativo.
<b>Esteros Lampa</b>	El Estero Lampa se origina al oriente de Polpaico (comuna de Til-Til), desplazándose por la comuna de Lampa en dirección sur, hasta su confluencia con el Estero Colina. Se trata de una extensa superficie de canales divagantes que se desbordan en períodos de crecidas, dando origen a suelos de mal drenaje, lo que se explica en gran parte por escurrir sobre un área de hundimiento significativo, donde también se ubica la Laguna de Batuco.
<b>Esteros Colina</b>	El Estero Colina se origina en los cordones montañosos preandinos situados al oriente de Peldehue (Comuna de Colina) y se desplaza por la comuna en dirección NE-SW, desde Estación Colina hasta la localidad de La Primavera. El Estero Colina ha dado origen a suelos evolucionados de aptitud agrícola, con drenaje relativamente bueno hacia el oriente, mientras que hacia el SW, el nivel freático superficial da origen a suelos salinos de mal drenaje.
<b>Canal Batuco</b>	Nace en el sector de Las Canteras, en el cerro Pan de Azúcar. Corresponde al principal ramal del canal El Carmen en la zona de Santiago norte. En primera instancia, el canal se desarrolla paralelo al canal El Carmen para luego bordear los cerros de Chicureo. Finalmente, el canal se dirige en dirección norponiente cruzando la carretera General San Martín hacia el Estero Colina.
<b>Tranque San Rafael</b>	Tranque en el cual se emplaza la planta de tratamiento de aguas servidas La Cadellada, propiedad de la empresa SERVICOMUNAL S.A. Se ubica en el fundo San Rafael, comuna de Lampa. Su conformación física consta de 4 cuerpos de agua, separados entre sí por pretilos. La superficie total cubierta por agua es de 50 hectáreas aproximadamente, en su capacidad máxima.

*Fuente:* Elaboración propia, 2009 en base a Ferrando, 1999.

## **Anexo D**

### **Conceptos de teledetección, sistemas de información geográfica e imágenes satelitales Landsat 5**

#### **D.1.- Teledetección**

El concepto de teledetección o percepción remota se refiere al uso de los llamados sensores para la adquisición de información sobre objetos o fenómenos sin que se produzca contacto directo. Estos sensores son equipos capaces de reunir energía proveniente del objeto que se quiere registrar, convirtiéndola en una señal posible de ser registrada, presentándola en forma adecuada para la extracción de información. Ahora bien, los sensores remotos son sistemas fotográficos u óptico-electrónicos capaces de detectar y registrar, en forma de imágenes o no, el flujo de energía radiante<sup>23</sup> reflejado o emitido por objetos distantes.

#### **D.2.- Sistemas de información geográfica**

En la década de los '60 y '70 emergieron nuevas tendencias en la forma de utilizar los mapas para la valoración de recursos y de planificación. Al apreciar que las diferentes coberturas sobre la superficie de la tierra no eran independientes entre sí se hizo patente la necesidad de evaluarlas de una forma integrada y multidisciplinaria. Una manera sencilla de hacerlo era superponiendo copias transparentes de mapas de coberturas sobre mesas de luz y encontrar puntos de coincidencia en los distintos mapas de los diferentes datos descriptivos.

A principios de los años 80, los sistemas de información geográfica (SIG) se habían convertido en sistemas plenamente operativos. A medida que la tecnología computacional se perfeccionaba, se hacía menos costosa y gozaba de una mayor aceptación, los SIG cobraban una mayor importancia. En la actualidad, son utilizados por organismos públicos, laboratorios o institutos de investigación, instituciones académicas, la industria privada y en el ámbito militar.

---

<sup>23</sup> La energía radiante es la energía que poseen las ondas electromagnéticas como la luz visible, las ondas de radio, los rayos ultravioletas, los rayos infrarrojos, etc.

Considerando lo anterior, se puede decir que los sistemas de información geográfica son una nueva tecnología que permite gestionar y analizar la información espacial que surgió como resultado de la necesidad de disponer rápidamente de información para resolver problemas y contestar preguntas de modo simple y rápido.

Lo cierto es que es realmente complejo explicar el concepto de SIG, debido a que integra dentro de un mismo concepto tanto los componentes como las funciones. Asimismo, existen otras definiciones de SIG, algunas de ellas acentúan su componente de base de datos, otras sus funcionalidades y otras el hecho de ser una herramienta de apoyo a la toma de decisiones; pero todas coinciden en que se trata de un sistema integrado para trabajar con información espacial, herramienta esencial para el análisis y toma de decisiones en el ámbito de la geografía y en muchas áreas del conocimiento.

Como “sistema de información” se entiende la unión de la información y herramientas informáticas (softwares) para su análisis con objetivos específicos. Ahora bien, al incluir el término “geográfica” se asume que la información se encuentra espacialmente explícita. Por lo tanto, la base de un SIG es una serie de capas de información espacial en formato digital que representan diversas variables, o bien capas que representan objetos a los que corresponden varias entradas en una base de datos enlazada, en otras palabras, información de diferente tipo y clase unida entre sí. Esta estructura permite combinar en un mismo sistema información con orígenes y formatos muy diversos, incrementando la complejidad del sistema (Peña, 2006).

Revisando algunas definiciones propuestas por algunos autores, se tiene que para Star y Stes, 1990 en Gutiérrez, 1994 un SIG es un “sistema de información diseñado para trabajar con datos georreferenciados mediante coordenadas espaciales o geográficas”, es decir, con información geográfica. Finalmente, como se ha mencionado con anterioridad, se trata de una extensión del concepto de base de datos. Un SIG es “una base de datos computarizada que contiene información espacial” (Cebrián, 1988a en Peña, 2006) En 1987 Berry en Peña (2006) definió un sistema de información geográfica como “un sistema informático diseñado para el manejo, análisis y cartografía de información espacial”.

### **D.3.- Imágenes satelitales Landsat 5**

En primera instancia, una imagen satelital se puede definir como la representación visual de la información capturada por un sensor montado en un satélite artificial. Dichos sensores recogen información reflejada por la superficie de la tierra que luego es dirigida a ésta y que, procesada adecuadamente, entrega valiosa información sobre las características de la zona representada.

El número de píxeles que componen el sensor de un satélite define su poder de resolución. Es decir, la capacidad de distinguir objetos o detalles de un determinado tamaño en las imágenes captadas. Entre mayor sea el número de píxeles por unidad de superficie, mayor resolución tendrá el fotosensor, pero también será mayor el volumen del archivo informático generado.

Una imagen satelital se caracteriza por las siguientes modalidades de resolución:

- Resolución espacial: designa al objeto más pequeño que se puede distinguir en la imagen. Está determinada por el tamaño del píxel, medido en metros sobre el terreno, los cuales dependen de la altura del sensor con respecto a la Tierra, el ángulo de visión, la velocidad de escaneado y las características ópticas del sensor.
- Resolución espectral: consiste en el número de canales espectrales (bandas) que es capaz de captar un sensor.
- Resolución radiométrica: se la llama a veces también resolución dinámica. Se refiere a la cantidad de niveles de gris en que se divide la radiación recibida para ser almacenada y procesada posteriormente.
- Resolución temporal: es la frecuencia con que un satélite pasa por un mismo punto de la superficie terrestre. Es decir, cada cuánto tiempo pasa el satélite por una misma zona de la Tierra.

El satélite Landsat 5 fue puesto en órbita el 1 de marzo de 1984, portando el sensor TM (Mapeador Temático), que opera con 7 bandas espectrales diferentes. Estas bandas fueron elegidas especialmente para el monitoreo de vegetación a excepción de la banda 7, que se agregó para aplicaciones geológicas. El Landsat 5 pertenece al programa Landsat, financiado por el gobierno de los Estados Unidos y operado por la NASA.

- Banda 1: (0,45 a 0,52 micrones<sup>24</sup> - azul) diseñada para penetración en cuerpos de agua, es útil para el mapeo de costas, para diferenciar entre suelo y vegetación y para clasificar distintos cubrimientos boscosos, por ejemplo coníferas y latifoliadas. También es útil para diferenciar los diferentes tipos de rocas presentes en la superficie de la Tierra.
- Banda 2: (0,52 a 0,60 micrones - verde) especialmente diseñada para evaluar el vigor de la vegetación sana, midiendo su pico de reflectancia o radiancia verde. También es útil para diferenciar tipos de rocas, al igual que la banda 1.
- Banda 3: (0,63 a 0,69 micrones - rojo) es una banda de absorción de clorofila, muy útil para la clasificación de la cubierta vegetal. También sirve en la diferenciación de las distintas rocas y para detectar limonita.
- Banda 4: (0,76 a 0,90 micrones - infrarrojo cercano) es útil para determinar el contenido de biomasa, para la delimitación de cuerpos de agua y para la clasificación de las rocas.
- Banda 5: (1,55 a 1,75 micrones - infrarrojo medio) indicativa del contenido de humedad de la vegetación y del suelo. También sirve para discriminar entre nieve y nubes.

---

<sup>24</sup> El micrómetro o micra es la unidad de longitud equivalente a una millonésima parte de un metro.

- Banda 6: (10,40 a 12,50 micrones - infrarrojo termal) el infrarrojo termal es útil en el análisis del estrés de la vegetación, en la determinación de la humedad del suelo y en el mapeo termal.
- Banda 7: (2,08 a 2,35 micrones - infrarrojo medio) especialmente seleccionada por su potencial para la discriminación de rocas y para el mapeo hidrotermal. Mide la cantidad de hidróxilos (OH) y la absorción de agua.

Estas 7 bandas pueden combinarse de a 3 o más, produciendo una gama de imágenes de color compuesto que incrementan notablemente sus usos y aplicaciones, especialmente en el campo de la geografía y los recursos naturales.

El mapeador temático (TM) tiene mayor sensibilidad radiométrica que su antecesor, el MSS (Multispectral Scanner), y una mejor resolución espacial. Esto se debe a que el tamaño del píxel en todas sus bandas excepto la 6, es de 30 metros. Lo que permite la clasificación de zonas tan pequeñas como 2,5 o 3 hectáreas. La banda 6 (banda termal) tiene un píxel de 120 metros. Cada imagen cubre 185 x 185 km.