



UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN
FACULTAD DE ARQUITECTURA, URBANISMO Y GEOGRAFÍA
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFÍA

ANÁLISIS DE CAMBIO EN LA CUENCA DEL LAGO LAJA (1986-2014).
APORTES PARA UNA COMPRENSIÓN INTEGRADA DEL CONFLICTO DEL
AGUA EN LA PROVINCIA DE BIOBÍO.

Tesis para optar al grado de Magister en Análisis Geográfico

PATRICIO DIAZ ARELLANO
PROFESORA GUÍA: DRA. EDILIA JAQUE CASTILLO

CONCEPCIÓN – 06 de Marzo de 2015

*El espectáculo termina, van apagándose las luces,
Termina tu rutina y vienen las conclusiones,
Pensar en las sonrisas, en las miradas y los rostros que provocaste,
Sentir ese orgullo, por lo que entregaste, paso a paso, intentando, equivocando,
acertando y aprendiendo.*

*Se cierra tu puerta, dejas el escenario de una etapa,
Dejas la llave con el consejero, las personas que te rodearon,
Tomas tus maletas y continúas tu rumbo,
Hacia un nuevo teatro de la vida, hacia una etapa de nuevas vidas.*

*Pero nadie dice que quizás vuelvas a ese teatro, quizás la gente espera otra
función,
En algún momento, deberá ser así,
Solo por mientras señalar, el espectáculo término, las luces se apagaron,
Tomemos rumbo hacia el teatro de lo desconocido, tomemos rumbo hacia un
nuevo momento de la vida.*

Esta vez, en comparación con hace 2 años atrás, sentía la necesidad de poder escribir estas palabras, de poder expresar de alguna forma todo el cariño, apoyo y paciencia entregada a mi persona.

Hoy, llegó el momento que, quizás desde mi persona, no espere o no estaba sinceramente preparado, el momento no de decir adiós, si no de decir hasta luego, de poder compartir quizás uno de mis últimos esfuerzos a nivel de universidad con aquellas personas que dieron desde todo, para que fuese lo que hoy soy, hasta las que dieron una palabra de ánimo o aliento en los minutos que se creía no llegaría a buen puerto.

Siempre, y en primer lugar, agradezco a mi familia cercana, a mis padres, que hicieron todos los esfuerzos necesarios para poder lograr cada meta o desafío que se fue produciendo, de la preocupación infinita que han tenido desde el momento que nací, del esfuerzo entregado y de las ganas de confiar y de generar a una persona, de la cual siempre estará orgullosa de haber tenido a tan gratos maestros de vida, como ellos lo han sabido ser.

Si bien, a veces hacia otras cosas, o no les prestaba atención suficiente, fue por un simple hecho y que siempre he recalcado, me cuesta expresar emociones o he perdido un poco la costumbre a ello, eso sí, y creo que lo han notado, siempre estoy al pendiente de saber cómo están, de conversar lo máximo que pueda las veces que los visito, de interiorizarme y empatizar con ustedes, porque de verdad estoy en aquel proceso de querer ser aún mejor persona, y aún mejor hijo, ya que siento que es la única forma de poder devolver todo el cariño, entrega, sacrificios, trasnoches y preocupaciones que solo ustedes me han entregado.

En segundo lugar, quisiera agradecer a mi mentora, a la Dra. Edilia Jaque Castillo por confiar en mí, a pesar de que costó al principio, pero se fue forjando una bonita relación, de cercanía y a momentos de confianza, en eso agregar algo, cuando confió en una persona logro expresarme quizás no del todo, pero si dar los pasos para aquello, y creo que usted profesora lo logro, gracias por apoyarme, por empujarme a seguir creyendo, a seguir luchando y a seguir avanzando día a día en esta difícil misión, pero de igual forma una misión disfrutada, por todo el aprendizaje acarreado, a su vez, debo agradecer a su escudera, a una persona que también abrió sus puertas desde el momento que entre en este círculo, a la Alejandra, por tener paciencia en ciertos momentos, apoyar, aportar risas y momentos gratos, de estar siempre positiva, al final, fue una relación recíproca, ya que si uno estaba mal, el otro la ayudaba y la levantaba, le daba el ánimo y las energías para seguir, lejos una de las mejores partners que he tenido, y lógico, espero que el futuro nos vuelva a juntar a los tres, porque sencillamente daría cualquier cosa, para seguir trabajando y aprendiendo de ustedes.

También, quiero agradecer a cada uno de mis profesores, que colaboraron y generaron conocimiento durante estos 7 años, mención especial en estos últimos 2 que pude conocer otras características de algunos ya conocidos, e interiorizarme con otros, cada uno sabe cómo es, y creo que genéricamente me llevo una grata impresión, sinceramente gracias por tener la confianza de creer en esta persona cuando fue necesario.

Por último, y siempre se dice que se deja lo bueno para el final, quiero agradecer a cada uno de mis amigos, conocidos y gente presente en este lugar, por estar ahí, por dejar entrar en sus vidas, por permitir conocerlas, por ser partícipe de momentos de diversión, relajo, compañía, por ser alguien quien pudo escucharlas, animarlas, por dejarme estar y por estar presente en sus vidas, por enseñarme varias cualidades y por ir permitiendo forjar más aún a la persona la cual ven hoy, aquí adelante, leyendo esta pequeña nota.

Solo espero, de corazón, que este no sea un adiós, solo espero que este sea un hasta pronto, que la vida nos encuentre, que nos mantenga en contacto y que todo lo aprendido acá pueda traspasarlo a la gente que sea posible, porque el sueño de docente no se olvida, y las motivaciones se generan día tras día.

INDICE

RESUMEN.....	10
I. INTRODUCCIÓN.....	12
1.1 Antecedentes.....	12
1.2 Motivación y relevancia del tema.....	16
1.3 Problemática Geográfica	18
1.4 Objetivos	21
1.4.1 Objetivo General.....	21
1.4.2 Objetivos específicos.....	21
II. CONTEXTO.....	22
2.1 Área de Estudio	22
2.2 Antecedentes geomorfológicos.....	25
III. MARCO DE REFERENCIA	27
3.1 Cambio Climático.....	27
3.2 Escasez hídrica.	35
3.2.1 Sector agropecuario-silvícola y forestal.	39
3.2.2 Producción de energía eléctrica.....	40
IV. METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN	43
4.1 Metodología.....	43
4.1.1 Tipo de estudio	44
4.1.2 Diseño de investigación.....	44
4.1.3 Recolección de imágenes.....	44
4.1.4 Programas y Funciones utilizadas	45
4.1.5. Recolección de Datos.....	46
4.2 Técnicas de Investigación.....	49
4.2.1 Investigación Bibliográfica:	49
4.2.2 Estudio de campo:	49
4.2.3 Analisis de cambio.....	49
5.1 Dinámica de las coberturas de suelo de la cuenca superior del lago Laja.	52
5.2 Análisis de indicadores climáticos en estaciones de la Cuenca.	67
5.2.1 Análisis de precipitaciones anuales estaciones para estaciones Digüillín y Caracol.	
67	
5.2.2 Análisis de precipitaciones anuales estaciones Abanico y Tucapel.	70

5.3	Implicancia de la entrega de concesiones de derechos de agua en la cuenca del Lago Laja.	72
5.4	Variaciones promedio anuales de las Cotas de nivel Lago del Laja.....	83
5.5	Análisis de índice de vegetación de diferencia normalizada (NVDI) y temperatura superficial en el área de estudio.	86
VI.	CONCLUSIONES.....	93
6.1	Conclusiones de la investigación.....	93
6.2	Limitaciones.....	96
6.3	Aportes del Proyecto	96
VIII.	ANEXOS	102
Anexo 1.	Datos coberturas de suelo del Área de estudio.....	102
Anexo 2.	Derechos de agua concedidos por Provincia, según tipo de extracción.....	103
Anexo 3.	Derechos de agua solicitados por Provincia, según tipo de extracción.	103
Anexo 4.	Tipo de uso de los derechos de agua concedidos por Provincia.....	104
Anexo 5.	Tipos de uso de los derechos de agua solicitados en la Comuna de Antuco.	104
Anexo 6.	Temperatura Estación meteorológica Digüillín 1965-2014.....	105
Anexo 7.	Temperatura estación Caracol 1988-2012.....	106
Anexo 8.	Precipitación promedio anual en Estación Abanico 1964-1999.....	107
Anexo 10.	Nivel de cotas registradas Lago Laja 1985-2014.	109

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1	Síntesis de la problemática	20
Fig. 2.	Localización área de estudio	23
Fig. 3.	Acciones para la implementación del Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático.	31
Fig.4	Proyecciones de cambio climático periodo 2011-2050	33
Fig.5	Impactos Cambio Climático en Chile	34
Fig. 6	Disponibilidad del recurso hídrico en Chile, 2009	39
Fig. 7	Minuta de reforma al código de aguas	42
Fig. 8	Síntesis metodológica de la investigación	48
Fig. 9	Clasificación coberturas de suelo año 1986	52
Fig. 10	Clasificación coberturas de suelo año 1999	52
Fig. 11	Clasificación coberturas de suelo año 1989	53
Fig. 12	Clasificación coberturas de suelo año 1990	53
Fig. 13	Clasificación coberturas de suelo año 1999	53
Fig. 14	Clasificación coberturas de suelo Febrero 2000	54
Fig. 15	Clasificación coberturas de suelo año Diciembre del 2000	54
Fig. 16	Clasificación coberturas de suelo año 2001	54
Fig. 17	Clasificación coberturas de suelo año 2002	55
Fig. 18	Clasificación coberturas de suelo año 2003	55
Fig. 19	Clasificación coberturas de suelo año 2005	55
Fig. 20	Clasificación coberturas de suelo año 2006.	56
Fig. 21	Clasificación coberturas de suelo año 2007.	56
Fig. 22	Clasificación coberturas de suelo año 2008	56
Fig. 23	Clasificación coberturas de suelo año 2013	57
Fig. 24	Clasificación coberturas de suelo año 2014	57

Fig.25	Comparación coberturas de suelo 1986-2014	59
Fig.26	Distribucion porcentual de las coberturas de suelo cuenca del lago Laja año 1986	60
Fig. 27	Distribucion porcentual de las coberturas de suelo cuenca del lago Laja año 2014.	60
Fig. 28	Comparación de coberturas de suelo Espejo de Agua y Arenas Volcánicas para área de estudio	61
Fig. 29	Variaciones superficie inundada 1976 -1999	61
Fig. 30	Variaciones superficie inundada 1999 a 2009	62
Fig. 31	Variaciones superficie inundada 2010-2014	62
Fig. 32	Comparación Espejo de agua y niveles de cota 1999-2014	65
Fig. 33	Promedio de temperaturas anuales, estación Digüillín, aplicando gradiente térmico	67
Fig. 34	Promedio de temperaturas anuales, correspondiente a estación Caracol, aplicando gradiente térmico	68
Fig. 35	Promedio de precipitaciones anuales estación Abanico 1966-1999	70
Fig. 36	Promedio de precipitaciones anuales estación Tucapel 1976-2013	70
Fig. 37	Comparación precipitaciones promedio anual estaciones Tucapel y Abanico	71
Fig. 38	Derechos de agua concedidos entre 1915 y 2014 en la Región del Biobío	72
Fig. 39	Derechos de agua concedidos periodo 1915-2014 para la comuna de Antuco, Región del Biobío	73
Fig. 40	Derechos de agua cedidos 1915 a 2014	74
Fig. 41	Derechos de agua concedidos entre 1999 y 2014 por provincias, Región del Biobío	75
Fig. 42	Tipo de extracción derechos de aguas concedidas Región del Biobío	75
Fig. 43	Tipo de derechos de aguas concedidas Región del Biobío	76
Fig. 44	Tipo de derechos de aguas solicitadas Región del Biobío	77
Fig. 45	Derechos de agua concedidos y no concedidos Región del Biobío	78
Fig. 46	Tipos de usos de derechos concedidos para Región del Biobío	79
Fig. 47	Tipo de extracción de derechos de agua, comuna de Antuco	80
Fig. 48	Tipos de usos de derechos de agua para comuna de Antuco	81
Fig. 49	Variaciones promedio de cotas de inundación del Lago Laja 1985-2014	82

Fig. 50	Comparación cotas promedio y precipitaciones anuales 1985-2014	84
Fig. 51	Índice de vegetación de diferencia normalizada, Marzo 2013	88
Fig. 52	Índice de vegetación de diferencia normalizada, Agosto 2013	88
Fig. 53	Índice de vegetación de diferencia normalizada, Febrero 2014	88
Fig. 54	Índice de vegetación de diferencia normalizada, Junio 2014	88
Fig. 55	Mapas temperatura superficial, Septiembre 1999	91
Fig. 56	Mapa de temperatura superficial, Febrero 2005	91
Fig. 57	Mapas temperatura superficial, Septiembre 2009	91
Fig. 58	Mapas de temperatura superficial, Febrero 2013	92
Fig. 59	Mapas de temperatura superficial, Marzo 2014	92
Fig. 60	Mapas temperatura superficial, Noviembre 2014	92

RESUMEN

Los ambientes lacustres de alta montaña son, en el contexto climático mediterráneo, ambientes altamente sensibles a modificaciones climáticas y antrópicas. Este estudio busca definir los principales factores que explican el estado actual de uno de los sistemas lacustres de montaña más intervenidos en las últimas décadas en Chile Central, el Lago Laja.

El objetivo de esta investigación es analizar los cambios en las coberturas de uso de suelo de la cuenca superior del Lago Laja (1986-2014) con énfasis en la cobertura asociada a la superficie inundada del Lago, con el fin de encontrar tendencias en el comportamiento de la dinámica de esta cuenca y asociarlos a factores naturales y/o antrópicos que nos permitan explicar la escasez hídrica y el conflicto del agua, en la provincia del Biobío.

Mediante el análisis de datos climáticos de la Dirección General de Aguas (DGA-MOP) y la clasificación supervisada de imágenes satelitales (Chuvienco, 1998), del sistema Landsat (1986 – 2014) utilizando los software ENVI 5.0©, ArcGis 10.2 © y Erdas Imagine 2011©, aplicación de modelos de Índice Normalizado de vegetación (NDVI), análisis de superficie termal y trabajo de campo.

Los resultados muestran fluctuaciones de la superficie inundada, en los últimos 38 años, de un máximo de 9.994, 63 Ha, alcanzado en 1985, a un mínimo de 5.135,6 Ha para Marzo de 2013, es decir, de una superficie original de 12.000 Ha, para el primer periodo se alcanza el 83,3% de la superficie total, mientras que para el segundo periodo, el de mayor descenso, solo alcanza al 42,8% de la superficie total, es decir, una reducción entre periodos de cerca del 50% de la superficie inundada.

Esto permite inferir dos forzantes externos de este proceso: en primer lugar ; la acción antrópica, asociada a la intervención de la cuenca, expresada en el aumento sostenido de la entrega de derechos de agua y la extracción del recurso a través de túneles subterráneos desde el lago, para producción hidroeléctrica y en segundo lugar, los efectos del cambio climático, expresado en una tendencia a la disminución de las precipitaciones en el periodo 1985-2014 de 970 mm

(estación Abanico) 780 mm (estación Tucapel) considerando que el promedio normal alcanzaba entre los 1500 y los 2000 mm anuales para ambas estaciones. En cuanto a las temperaturas están muestran aumentos relativos de 1,3 °C, para el periodo estudiado.

Palabras Claves: Cambio climático, sistemas Lacustres, acción antrópica, análisis de cambio.

I. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

Esta investigación busca mostrar desde la perspectiva del conflicto del agua, un fenómeno que, producto de la implementación de un modelo económico e histórico se ha manifestado en la cuenca del Lago Laja. A partir de diversos análisis temporales de coberturas de uso de suelo, precipitaciones, temperaturas y de usos del recurso hídrico, se generaran evidencias para demostrar un deterioro progresivo que experimenta el espejo de agua o superficie inundada del lago Laja; en la cordillera andina de la región del Biobío. Por otro lado se busca profundizar las relaciones de ese proceso, con las dinámicas de las variables climáticas locales para finalmente, analizar la repercusión de las acciones antrópicas en el conflicto del agua en la región y particularmente en la cuenca del Laja.

Los ambientes de alta montaña son territorios poco favorables para el asentamiento humano, ya que por el tipo de condiciones climáticas y su bajo nivel de intervención contienen un rico valor ambiental y cultural, como elemento de distracción, de contemplación y de protección natural; sin embargo, el ser humano a encontrado para estos territorios diversos nuevos usos, desde el área del turismo hasta el de la explotación intensiva de los recursos hídricos lo que se ha traducido en diversos niveles de modificación y alteración de los paisajes de montaña Universidad de Cantabria (2011). Frente a estos sucesos, diversos organismos internacionales (UNESCO, ONU), han comenzado a generar políticas de protección de estos paisajes como lo son la declaración de patrimonio de la humanidad, o reserva de la biosfera, a estos espacios para evitar, o limitar su destrucción.

Los cambios, más representativos que se han estudiado para estos paisajes de alta montaña son según García (2011) los siguientes:

- Desaparición de la nieve y de los glaciares (y, por tanto, reducción de los caudales y del agua disponible en primavera).
- Modificación de la intensidad y localización de diversos procesos geomorfológicos capaces de influir en la distribución de los seres vivos.
- Desplazamiento altitudinal de muchos animales y plantas. Ello desorganiza el sistema preexistente de relaciones interespecíficas ya que no todas las especies responden del mismo modo y reduce la superficie de los pisos situados en las zonas más altas hasta causar su desaparición.
- Alteración de los calendarios naturales o del comportamiento de muchas especies (pero no de todas, lo que produce desajustes entre ellas).
- Aparición de condiciones más favorables para la presencia humana o la explotación de las áreas de montaña.

La problemática a investigar para la cuenca del Lago Laja se enmarca en la reducción de los caudales y del agua disponible, situación que ha sido explicada hasta ahora como una respuesta frente al cambio climático (reducción de precipitaciones, desaparición de la nieve, reducción de glaciares), y que sin embargo pareciera verse más afectada por acciones antrópicas asociadas al manejo en la entrega de los recursos hídricos , la extracción irracional del agua, para el desarrollo de actividades que van desde la agricultura hasta la producción energética.

En Chile, Larraín y Poo (2010), han documentado diversos conflictos en materia de recursos hídricos analizados por zonas geográficas; así en la zona norte, donde el conflicto del agua se produce asociado a la explotación minera y sus altos requerimientos de agua , es el caso de las mineras , principalmente Barrick y los Pelambres, en la III y IV Región. En la zona centro, los conflictos del agua se acentúan por la diversidad de actividades que se sustentan en el recurso hídrico como la generación de energía (AES GENER) en el Valle del Maipo, (Agrosuper y el consumo de las napas subterráneas) en la zona de Melipilla y la contaminación

del río Mataquito, con la acción de LICANCEL (Forestal Arauco) la sobre explotación hidroeléctrica de la cuenca del Maule (Jaque y Díaz 2014));

En la zona sur destacan la acción en las cuencas hídricas que afectarían al corredor biológico de nevados de Chillan-Río Digüillín por parte de Hydrochile, Hydroaustral y acciones con el código de aguas (solicitudes y no uso de estos, para su acumulación y posterior construcción de centrales hidroeléctricas en la zona del Parque Nacional de Puyehue), entre otras. La denominación de zona de escasez hídrica en la zona de Los Ángeles durante el 2013, el rol de las forestales en el consumo de aguas subterráneas, etc.

Uno de los conflictos más fuertes en la problemática hídrica está dado por el tipo de normativas que rigen el recurso hídrico en Chile la modificación del código de agua en 1981 CIPER (2013-2014), mediante esta normativa legal se entregó a privados el dominio sobre el agua a través de derechos de aprovechamiento cedidos de manera gratuita, ilimitada y a perpetuidad, dejándole al mercado la responsabilidad de asignar el recurso. Las principales consecuencias de esta política del agua se traducen en que ha llevado a situaciones extremas la Dirección General de Aguas (DGA) ha decretado zona de catástrofe en las comunas de Salamanca, Illapel, Canela, Andacollo y La Higuera, en la Cuarta Región, las que se suman a la Ligua, Petorca y Cabildo, en la Quinta Región, que ya se encontraban en esa condición. Asimismo, entre las regiones de Copiapó y El Maule, la DGA ha declarado, zona de escasez, en cinco provincias, seis comunas y tres cuencas.

A fines del año 2012 y según datos del Ministerio de Agricultura, 108 comunas de Chile (31% del total nacional) se hallaban en condición de emergencia agrícola, producto del déficit hídrico, el doble de las registradas en 2011. La situación no sólo se remite a la zona centro-norte, 41 comunas de la Región del Biobío sufren de escasez de agua, la que afecta incluso el consumo humano, según denunció

recientemente el presidente de la Asociación de Municipalidades de esa región (CIPER, 2013).

El término correcto para explicar el colapso hídrico, que hoy vive Chile es el de escasez más que el de sequía; lo que aquí sucede es que la demanda supera con creces la oferta y los derechos otorgados a particulares en muchas partes están muy por sobre la disponibilidad real de agua, lo que ha producido el agotamiento del recurso. El problema es grave porque no hay agua para sustentar el modelo de desarrollo que se instaló en Chile en los años '80. (CIPER, 2013).

La dramática situación que se vive en varias regiones del país, tiene su origen, en parte, en un lucrativo mercado paralelo de los derechos de agua cuyas transacciones millonarias no han dejado de crecer en los últimos años. Así lo establece un informe de 2011 del Banco Mundial -encargado por la DGA-, el que estima que entre 2005 y 2008, se realizaron casi 25 mil transacciones de compra y venta de derechos de agua entre privados por un valor anual cercano a los US\$ 1.2 billones (mil doscientos millones de dólares). La cifra que anualmente mueve el mercado de las aguas en Chile, y que deja en el bolsillo de muchos de los que allí intervienen exuberantes utilidades, es igual a la que fue destinada para la reparación de caminos, puentes, puertos, aeropuertos y edificios públicos tras el terremoto de febrero de 2010 o al incremento del presupuesto en educación durante 2013 (CIPER, 2013).

El Estado chileno no cumple siquiera con los estándares mínimos a nivel internacional que protegen y aseguran el derecho humano al agua, es lo que se desprende del Informe de Derechos Humanos en Chile de la Universidad Diego Portales que este año incluyó a Petorca y la grave escasez de agua que vive la provincia, como uno de los casos emblemáticos de violación a los derechos humanos en Chile (CIPER, 2014). “En la asignación del agua debe concederse prioridad al derecho de utilizarla para fines de consumo personal y doméstico;

asimismo, debe darse prioridad a los recursos hídricos necesarios para evitar el hambre y las enfermedades” (UDP, 2013).

El Lago Laja localizado en la alta cordillera de la región del Biobío y que forma parte de la cabecera de la cuenca del mismo nombre, no se escapa de esta problemática, ya desde la década del 50, se han establecido cuatro centrales hidroeléctricas, llevando a un colapso de esta cuenca hídrica a tal nivel de que se extrae agua de este acuífero para poder cumplir las cuotas de generación eléctrica, sin medir las consecuencias que acarrea para el entorno en el cual este se encuentra.

Tal es el nivel de extracción, que se han debido aplicar restricciones por parte del Ministerio de Obras Públicas, a través de la Dirección General de Aguas para decretar a este lugar como zona de escases y riesgo (Enero 2014, DGA), esto es consecuencia, a su vez, de la privatización de la industria energética. Esta situación ha influido directamente en la disminución del espejo de agua es decir en una reducción del cuerpo lacustre.

1.2 Motivación y relevancia del tema

El interés por trabajar en esta temática se inicia en los trabajos de campo realizados durante mis estudios de pregrado, los análisis hechos en las tutorías de las cuales fui participe, en las asignaturas de Geografía de Chile I y II, Geografía Física I y Análisis integrado de Sistemas Naturales, que me aportaron nuevas visiones sobre el análisis de los paisajes de alta montaña y los conflictos de uso de sus recursos asociados..

El propio trabajo desarrollado en las asignaturas del Magister complemento aún más este interés, ya que el uso de diferentes Sistemas de información Geográfica, tales como clasificación de usos de suelo, generación de zonas de estudio a través de redes cuenca hídricas, estudio a nivel termal, generación de cartografía

de índices vegetacionales y otros llevaron a profundizar, de manera autodidacta, los contenidos entregados para generar un trabajo de mayor calidad.

El área de estudio en particular permitió continuar el trabajo realizado en el pregrado, “Modificaciones en ambientes lacustres de alta montaña; efecto antrópico o cambio climático: caso de estudio laguna del Laja”, en la cual se abordó un análisis de carácter histórico y en segundo plano de análisis de datos, tomando un periodo amplio de tiempo, pero sin un estudio detallado, por etapas, de esta problemática; (1997 y 2007), evaluando escenarios extremos de cambio; en comparación con este trabajo de fin de magister , en el que pretendo analizar con una mayor cantidad de datos recopilados, un periodo más amplio de estudio (1986-2014) y análisis más variados de datos.

Esta investigación se complementa con la necesidad de comprender el uso de los recursos hídricos a través de los derechos o concesiones de agua, la entrega de estos y como se genera una sobreexplotación del agua, responsabilizando solo a algunos sectores de generar esta problemática, como lo son la industria agrícola, o la forestal, a sabiendas de que algunos de estos, inclusive, pueden ser víctimas de este proceso, ante la amenaza de grandes industrias, como lo son la de producción eléctrica,.

Por otro lado existe un interés por el estudio de procesos históricos, económicos y sociales que ha influido en la construcción de la problemática actual en el sector de estudio; asociado a fenómenos de interés social, económico y político como lo es la escasez hídrica no tan solo en la cuenca de estudio sino que en otros sectores que deberían verse beneficiados por el uso de estos recursos.

Este tema, generara un complemento al debate de los recursos hídricos y su mal manejo, utilizando diversas herramientas de análisis de datos que permiten evidenciar científicamente los impactos en los sistemas lacustres clarificando los diversos factores que provocan esta crisis.

1.3 Problemática Geográfica

El problema geográfico presentado se centra en la modificación que ha sufrido el ecosistema lacustre del Laja, fundamentado en la disminución de su espejo de agua, todo lo que implica la generación de otros conflictos con usuarios del sistema hídrico como los agricultores de las comunas que están dentro de la cuenca tanto los organizados como los canalistas del Laja y aquellos que no se encuentran en ninguna organización (Figura 1).

De acuerdo a lo señalado por Mardones y Vargas (2005), existe un uso extensivo de los recursos hídricos, debido a los beneficios que se logran en los ambientes de alta montaña, ya que estos espacios poseen una amplia cantidad de recursos hídricos como consecuencia de las reservas nivales durante la estación invernal, principalmente, y por qué estos territorios son aptos para la producción de carácter forestal, asociadas directamente al consumo a consecuencia de la tala excesiva y el constante uso de estos territorios sin dar los tiempos necesarios de crecimiento a las diferentes especies.

Alarcón (2001) y Mardones y Vargas (2005), plantean de igual forma que existe un déficit pluviométrico en estas zonas de alta montaña, que se estima en 76,8 mm anuales para la parte andina de la cuenca, es decir, que para las precipitaciones normales que existen para la zona, esto sería un déficit de 3,7%, sin embargo, existe otro detalle importante, y es que si bien hay registros negativos en la zonas altas, también lo existen de forma positiva en zonas bajas (Rio Polcura), en los cuales existe una esorrentía superior a un 20,8% por sobre las precipitaciones normales a la zona, hace ver el efecto que genera la extracción de aguas por ducto en la zona del Lago Laja.

También se habla de disminución en las precipitaciones en alrededor de un 20% en partes de la cuenca, pero en el global, existen reducciones por sobre el 35% en lo que respecta al balance hídrico de la zona (Mardones y Vargas, 2005), en los

que se muestra como, a pesar de existir disminuciones en zonas, se ven descompensadas por las salidas sin retorno de 83 m³/s desde este espejo de agua, lo cual genera una disminución constante en caso de no existir precipitaciones continuas o que existan periodos de disminución de estas.

Otro factor relevante, es la incidencia que provoca la construcción de diversas hidroeléctricas y centrales de paso en la cuenca, lo cual genera un consumo excesivo de los recursos y de forma constante para mantener la producción hidroeléctrica a niveles, necesarios y prioritarios para no generar un desbalance eléctrico en el país (Endesa Cdec-Sic, 2000),

Por último, y como consecuencia, se genera la declaración de escasez hídrica para la zona y cuenca del Laja, realizado por el Ministerio de Obras Públicas (DGA-MOP, 2014), en el cual se establece el acuerdo para la reducción en la extracción de recursos del lago, y así dar prioridad a las actividades agrícolas que se ven afectadas ante la escases hídrica que vive la zona.

Endesa, empresa encargada de administrar el embalse El Laja, no ha disminuido su extracción para generación hidroeléctrica, actualmente la central El Toro se encuentra pronta a dejar de funcionar, ya que el nivel del lago es demasiado bajo. Por este motivo se “cerrará” momentáneamente la extracción de agua del embalse, para asegurar la recuperación de un volumen óptimo. Actualmente, El Laja se encuentra al 6,9% de su capacidad. (El desconcierto, 2014)

Además, se suman las variables naturales, como disminución de precipitaciones (Mardones y Vargas, 2005) (Alarcón, 2001) y algunas antrópicas, como la intervención en la extracción del recurso hídrico desde el lago, para la producción de centrales eléctricas (Abanico, El Toro, Antuco y Rucúe) (Endesa – Cdec-Sic, 2000), lo que genera una sobreexplotación de la cuenca y consigo una alteración tanto en los caudales, como en los niveles de cota del Lago.

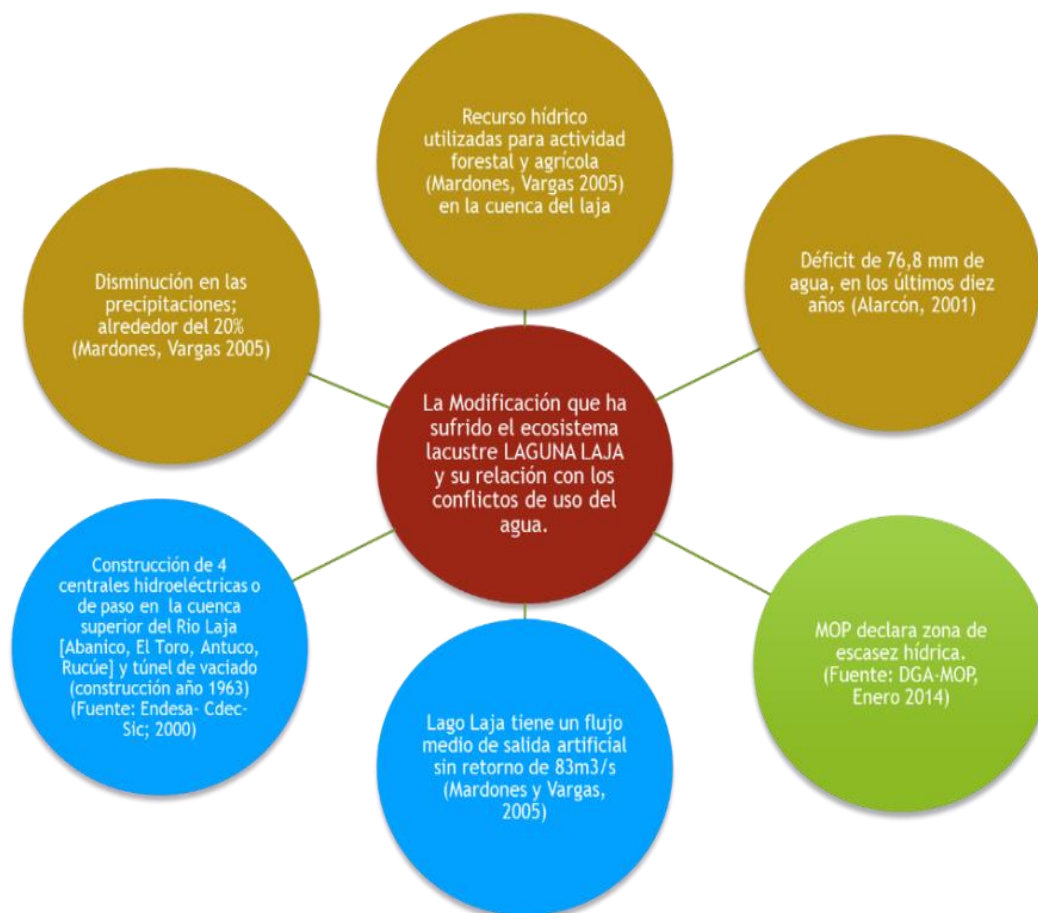


Figura 1: Síntesis de la problemática

Fuente: Elaboración Propia

Ante esto, la pregunta principal es que si la disminución que presenta el Lago Laja responde a un proceso progresivo, el cual es de forma permanente y que conlleva a su desaparición, o si es un proceso reversible que puede generar un proceso de cambio gracias a la no intervención o disminución en la extracción de recursos por parte de las centrales hidroeléctricas aledañas a este cuerpo de agua, y así dejar este ecosistema natural solo para la producción hídrica utilizada en la actividad agrícola sin forzar a elevar los niveles de salida desde este curso.

Otra cuestión es que, si la acción antrópica es la única en generar este daño al ecosistema lago Laja, o también el cambio climático resulta ser un agente importante o secundario en este proceso.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General.

Describir los diversos cambios temporales en las coberturas de suelo de la cuenca superior del Laja 1986-2014, con énfasis en la cobertura del espejo de agua; con el fin de evaluar la dinámica de este ecosistema y sus incidencias en el conflicto del agua de la provincia del Biobío.

1.4.2 Objetivos específicos.

- a) Evaluar la dinámica de las coberturas de suelo de la cuenca superior del lago Laja, a través del análisis de imágenes satelitales multitemporales entre los años 1986 a 1990, 1999 a 2012 y 2013-2014.
- b) Describir información de temperaturas y precipitaciones en la cuenca superior del Laja. De manera de relacionar las implicancias de estas variables climáticas en las modificaciones experimentadas en las coberturas de suelo de la cuenca superior del Laja.
- c) Describir y evaluar la dinámica térmica de superficie, a través del análisis de bandas termales de las imágenes Landsat, que permitan relacionar las variaciones térmicas de superficie, con las modificaciones de las coberturas de suelo de la cuenca superior del Laja
- d) Describir la distribución espacial de los derechos de agua entregados a los regantes de la cuenca y su relación con los niveles alcanzados por el Lago Laja en las últimas décadas.

II. CONTEXTO

2.1 Área de Estudio

La cuenca del Laja se sitúa entre los 36° 50' y 37° 40' S y los 71° 7' y 72° 45' W, en el centro-sur de Chile (Figura N° 2), tiene una extensión de 4.634,8 km²; emplaza su cabecera en la Cordillera Andina entre los complejos volcánicos de Antuco-Sierra Velluda y Nevados de Chillán. Su altitud fluctúa entre 3.585 m en Sierra Velluda y 40 m en el límite occidental. El río Laja, nivel de base de la hoya, es una de las principales subcuencas del río Biobío; nace en el lago Laja a los 1.368 m.s.n.m., transcurre hacia el oeste por la Depresión Central y confluye en el río Biobío, próximo a la ciudad de San Rosendo. La longitud total del río Laja es de 124,8 km. Tiene régimen mixto (nivopluvial); un caudal medio anual de 170 m³ a la salida de la Cordillera Andina y de 194,7 m³/s en la confluencia con el río Biobío (DGA, 2000; Niemeyer y Cereceda, 1984).

La cuenca lacustre del Laja (600 - >2.000 m.s.n.m.) está estructurada en rocas sedimentarias y plutónicas del Cenozoico inferior a medio, sobre las que se disponen en discordancia rocas volcánicas Pleistocénicas y depósitos volcano-clásticos, procedentes del complejo volcánico Antuco-Sierra Velluda (Moreno y Varela, 1987; Niemeyer y Muñoz, 1983). La Depresión Central está modelada por un gran abanico aluvial, denominado “cono de arenas negras del Laja” (300-100 m.s.n.m.), el que sobreyace a la Formación lahárica Banco del Laja. Este abanico se cierra en el contacto con la Cordillera de la Costa, estructurada en granito Paleozoico (200-300 m.s.n.m), desde donde drena la subcuenca del río Claro. El cono de arenas negras tiene suelos permeables (INIA, 1985) que incrementan la aridez del clima mediterráneo en verano.

Sin embargo, el piso lahárico impermeable, debiera permitir la formación de una importante reserva de agua subterránea. Las características hidrológicas y morfométricas de la hoya, particularmente su área, caudal, control lacustre y

pendiente longitudinal en la sección media, son aspectos que favorecen el uso hidroeléctrico.

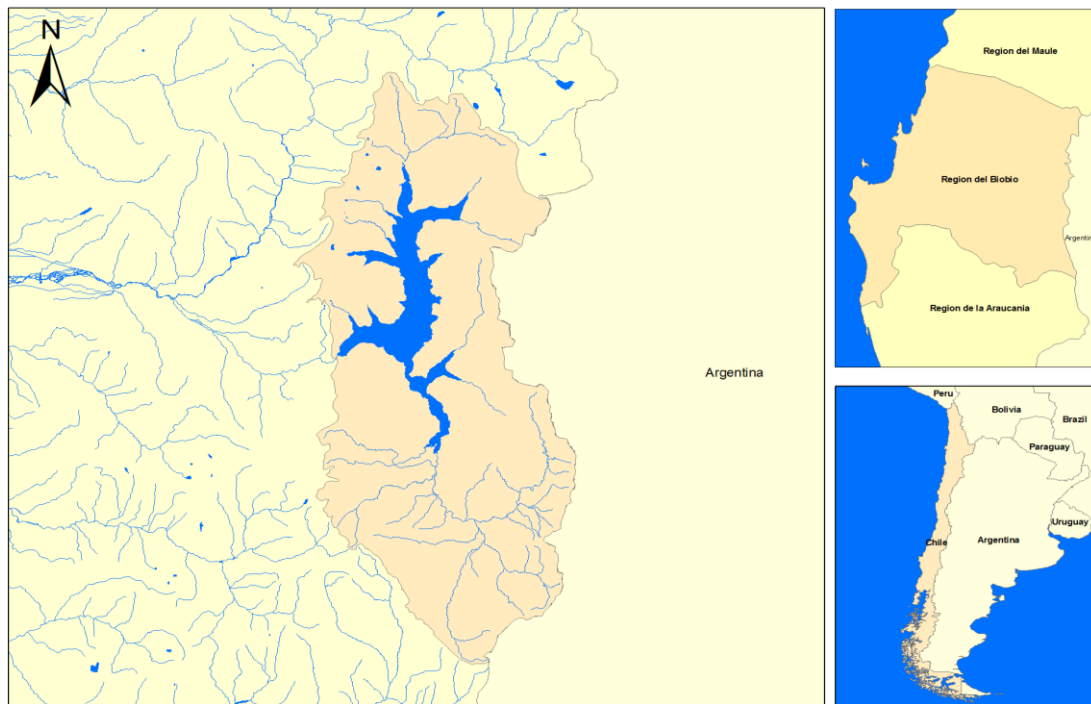


Figura 2: Localización área de estudio, Lago Laja.

Fuente: Elaboración propia.

El río Laja es regulado en el curso superior: naturalmente por el lago Laja y artificialmente por el uso hidroeléctrico. El lago tiene 33 km de longitud, un ancho medio de 3 km, una profundidad media de 75 m con respecto a la cota de 1.368 m y una superficie aproximada de 851 km² (Mardones y Vargas, 2005) . El caudal medio de la hoya afluente al lago es de 66.6 m³/s y el caudal medio efluente de 60 m³/s. La descarga del lago se realiza por la bocatoma de la Central Hidroeléctrica El Toro con un caudal medio anual de 39,6 m³ s, además del drenaje subterráneo en su frente, producto de la naturaleza volcánica del suelo, con un caudal medio anual de 27 m³/s; estas filtraciones se concentran en los Ojos del Laja localizadas 3 km al Oeste del frente lacustre.

El lago Laja puede almacenar un volumen máximo cercano a los 7.500 millones de m³, lo que le atribuye el carácter de un embalse multianual. Con fines hidroeléctricos es posible utilizar 4.000 millones de m³, volumen que permite realizar transferencias interanuales de energía, independizando la producción del régimen de afluentes. (Mardones y Vargas, 2005) El volumen útil para la generación de hidroelectricidad está almacenado entre las cotas 1.310 y 1.368 m.s.n.m. En casos extremos, se permite su uso bajo la cota 1.310 m.s.n.m. (Mardones y Vargas, 2005)

Según lo señalado por Mardones y Jaque (1992) el dispositivo meridiano del relieve, genera una gradiente climática de W-E, que favorece la formación de reservas hidrológicas en la Cordillera Andina. Desde el punto de vista climático, en la Depresión Intermedia, se registran en promedio 6 meses templado-secos y 6 meses frío-húmedos (clima mediterráneo). Los montos anuales de precipitación se incrementan de 1.200 mm en el sector oeste, concentrados en invierno, a 1.500 mm en el sector E. El mes más cálido es enero con un promedio de 21°C y el más frío julio con 8°C. (Devinck J. 1970). En la Cordillera Andina, la altitud determina marcados pisos climáticos; sobre los 500 m, la temperatura disminuye y los montos pluviométricos superan los 2.300 mm, precipitación que ocurre principalmente en forma de nieve entre junio y septiembre. En el sector del lago Laja, la temperatura media anual es inferior a 10°C, variando entre temperaturas medias mensuales de aproximadamente 6°C en julio y de 15°C en enero. En la alta cordillera, a partir de 1.500 m-2.000 m, ningún mes es árido y 6 meses o más son fríos y húmedos (clima frío de altura). La línea de neviza se sitúa sobre los 2.600 m, lo que explica que la presencia de glaciares actuales, se restrinja solo a las cumbres más altas de las cuencas emplazadas en la Sierra Velluda.

Para Mardones-Vargas, (2005) estas características físicas son relevantes al momento de analizar y comprender la disponibilidad del recurso hídrico y para evaluar los efectos producidos por el uso agrícola e hidroeléctrico en dicho recurso. En este sentido cuatro centrales hidroeléctricas utilizan las aguas

fluviales y lacustres de la alta cuenca del Laja. El manejo hidroeléctrico en esta se ha desarrollado progresivamente entre los años 1948-1998. En 1948 se construye la Central Abanico que aprovecha las filtraciones del lago Laja y sus posibles vertimientos. En 1953, se construye un vertedero en el frente del lago, cuyo umbral se ubica a 1.368 m.s.n.m., y un sistema de compuertas. En 1963, se implementa un túnel de vaciado, destinado a proveer un volumen de emergencia para regadío y bajar la cota del lago, al momento de construir una nueva obra. La Central Hidroeléctrica El Toro entra en funcionamiento en 1973. Esta extrae agua directamente desde el lago Laja y a través de un sistema de galería y tuberías en presión, las aguas son llevadas al valle del río Polcura. En 1977 queda habilitada la Captación Alto Polcura, que permite llevar el agua de la parte alta de la cuenca del río Polcura, hacia el lago Laja. Entre 1981 y 1998, entran en funcionamiento las centrales Antuco y Rucúe, respectivamente. De esta forma se totaliza una potencia instalada en el sistema hidroeléctrico del río Laja de 996 MW.

En Junio del 2011, este sector se declara reserva de la biosfera, por parte de la Unesco, ya que, según resolución de esta, los principales tipos de ecosistemas y paisajes se encuentran representados en esta red.

2.2 Antecedentes geomorfológicos.

El vaso que ocupa actualmente este lago formaba parte del antiguo valle del río Laja, el que fue bloqueado hace unos doscientos mil años por flujos de lava provenientes de las erupciones de los volcanes predecesores del Antuco. Estos flujos formaron una verdadera presa de lava, tras la cual se embalsaron las aguas del río, dando así origen a un lago similar al actual, pero cuyo nivel era unos cien metros más alto (Mardones M. y Jaque E. 1991). Con posterioridad, durante las épocas glaciales, los grandes ventisqueros que ocuparon este vaso erosionaron la presa de lava, rebajando su altura a una inferior a la que se observa en la actualidad. Finalmente, las erupciones del volcán Antuco, especialmente las de

mediados del siglo pasado, la modelaron hasta dejarla con el aspecto que tiene en la actualidad.

Debido a la naturaleza permeable propia de las lavas que forman esta presa natural, del orden del 40% de las aguas afluentes al lago Laja se filtran a través de ella para aflorar varios kilómetros aguas abajo, en el lugar conocido como los "Ojos de Agua". Estas filtraciones, si bien dependen del nivel del lago, el cual, a su vez, está mejor influido por el tipo de año hidrológico que se trate, existen siempre y alimentan constantemente al río Laja, dándole una regularidad inusual a su caudal, característica que lo hace especialmente atractivo para su aprovechamiento en producción de energía hidroeléctrica. El volumen del lago se maneja artificialmente con el fin de producir energía eléctrica. Lo anterior es muy significativo en la gestión del Sistema Interconectado Central (SIC) que distribuye la energía eléctrica a lo largo del país (Valdovinos, 2006).

Según lo que señala Fica (1998), En la época de la conquista española, se pudo registrar con algún grado de exactitud, la actividad volcánica del Antuco. Desde 1750 se contabilizaron al menos 10 erupciones mayores, siendo la del año 1853 la de más importancia, esto a causa de que modificó para siempre el paisaje existente hasta ese entonces. En aquel entonces, enormes flujos de lava bajaron por el flanco norte del cono y fueron a morir sobre el curso medio del río Laja, formando un gigantesco dique de 200 metros de altura de cenizas y piedras que bloquearon las aguas del río, generando un lago en su interior. Este evento, generó un fértil territorio para el desarrollo de flora y fauna, cuya difícil preservación a mediados del Siglo pasado, motivó la creación en el año 1958 del Parque Nacional Laguna del Laja, comprendiendo todo el macizo montañoso Sierra Velluda y la ribera sur del Lago.

III. MARCO DE REFERENCIA

3.1 Cambio Climático.

El concepto de **Cambio Climático** se comienza a masificar desde la década de los 70, en Europa y Norteamérica, siendo en el viejo continente, específicamente en Gran Bretaña, donde recibe su denominación. Desde aquella década hasta la actualidad, han progresado diversos estudios sobre la problemática, agregando diferentes variables y, a su vez, generando modelos predictivos, ante los cuales se tiende a concientizar a la población, para que asuma los riesgos de diversa índole que puede acarrear las diversas variaciones.

El tipo de variaciones, los define el IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), en el IV Informe de evaluación de Cambio Climático (2007), en el cual define a esta problemática como una *“Importante variación estadística en el estado medio del clima o en su variabilidad, que persiste durante un período prolongado (normalmente decenios o incluso más). El cambio climático se puede deber a **procesos naturales internos o a cambios del forzamiento externo**, o bien a cambios persistentes antropogénicos en la composición de la atmósfera o en el uso de las tierras”*, a su vez, la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMCC), en su Artículo 1, define **Cambio Climático** como un **cambio de clima** atribuido directa o indirectamente a la **actividad humana** que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la **variabilidad natural del clima** observada durante períodos de tiempo comparables. En esta última definición, tienden a acuñarse dos parámetros en comparación a lo señalado por el IPCC, la acción del ser humano como un factor predominante en los cambios vividos durante las últimas décadas.

Una forma de dimensionar estas variables, son los efectos o cambios que se generan como consecuencia de este proceso, evidenciados a través de cambios físicos relevantes, que afectan, por ejemplo, a la actividad agrícola y que se

visualizan bajo los siguientes escenarios climáticos señalados por el Banco Mundial (2004):

- Aumento en las temperaturas atmosféricas y del suelo.
- Alteraciones en las concentraciones de CO₂ en la atmósfera.
- Alza del nivel del mar.
- Cambios en el ciclo hidrológico así como en la calidad del agua y su disponibilidad.
- Intensificación y aumento de eventos climáticos extremos (tales como: sequías e inundaciones, que afectan, por ejemplo, a Sudamérica).
- Modificaciones en el nivel altitudinal de los puntos de rocío, entre otros.

Algunos de estos cambios, como señala el documento de debate del Banco Mundial (2004), tienden a ser graduales y unidireccionales, es decir, que irán acrecentándose o disminuyendo en el tiempo y que serán constantes, es decir, si se genera una disminución de las precipitaciones, esta será aún más radical a medida que pasen los años, durante un periodo de tiempo incierto.

Y es que, el IPCC, en su informe sobre el Cambio Climático del 2007, y en sus resultados de trabajo por grupos, para el V informe de evaluación, señalan una época de quiebre en el desequilibrio y generación de cambios a nivel mundial, se señala que: *"desde la década de 1950, muchos de los cambios observados no han tenido precedentes en los últimos decenios a milenios. La atmósfera y el océano se han calentado, los volúmenes de nieve y hielo han disminuido, el nivel del mar se ha elevado y las concentraciones de gases de efecto invernadero han aumentado"*. (IPCC, 2013), el problema se grafica en que aún estamos en procesos de estudio de lo acontecido en épocas pasadas, más aún, teniendo en cuenta que muchas series de datos existentes, registros climáticos, y otros, o son de nueva tecnología, o son registros alterados y poco fiables, por lo cual, y solo a través de la historia, podemos saber de qué forma se representaron o si han sido

de igual o menos dimensión que los actuales procesos y cambios en materia climática.

Esto podría generar cambios desastrosos, basados en los diferentes modelos existentes y aplicados, por ejemplo, al caso de Chile, a una variación de las precipitaciones; constantes olas asociadas a una alza en las temperaturas (véase más adelante modelos predictivos para el caso Chileno), y con ello mayores situaciones de emergencia, tales como inundaciones o sequías, y sus consecuentes efectos hacia la población derivados en escases hídrica, problemas para la producción de alimentos, problemáticas en ciudades, desastres asociados a aludes, entre otros, según la zona afectada.

Uno de los sectores afectados, y preponderantes a la hora de generar conciencia respecto al tema, es la agroindustria en cualquiera de sus formas, ya que, al existir variaciones en las precipitaciones, pueden generar pérdidas en esta industria, asociadas a una baja de producción agrícola, debido tanto al aumento de precipitaciones como a la escasez de ellas. La FAO (2000) y el Banco Mundial (2004), señalan que esta actividad económica genera un consumo de agua importante, pero que en América Latina y el Caribe, no dependen de gran forma de la irrigación, es decir, del riego tecnificado (caso diferente para Chile, en el cual se ha potenciado esta técnica por sobre el proceso natural de lluvias como abastecedoras para los territorios agrícolas), con cerca del 90% de territorios sin irrigación, en comparación o antítesis con otros lugares del Asia-Pacífico, en el cual, la utilización de nuevas tecnologías e infraestructura y una importante inversión, los convierten en importantes productores y exportadores en materia agrícola a consecuencia de la sobreexplotación de las tecnologías para el riego, eso sí, conllevando un mayor traslado referente al recurso agua, generando escasez en diversos lugares y sin un retorno apropiado de estos recursos al subsuelo.

En Chile, el Cambio Climático ha influido significativamente en los diferentes problemas que se han visto evidenciados en los últimos años, tales como sequías o mejor llamada escasez hídrica continuas en las regiones de Coquimbo, Valparaíso y algunas del centro-sur de Chile, generando problemas especialmente para la industria agrícola, los que a través de diversas iniciativas buscan la mejor utilización de los recursos hídricos, como medidas paliativas, sin generar una solución real ante la situación extrema que se vive en estos lugares.

Si bien, nuestro país se ha comprometido en diversos foros para generar cambios respecto a esta temática, aún se ha ido a paso lento respecto a cambios tangibles para la población, en primer lugar, y para las industrias relacionadas con el recurso hídrico; Chile, por ejemplo acordó aunar esfuerzos para dar un impulso político a las negociaciones bajo la CMNUCC (Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático) con miras a fortalecer el régimen climático bajo la Convención y, en ese sentido, reconocen la exitosa creación del Grupo de Trabajo ad hoc sobre la Plataforma de Durban para la Acción Fortalecida (ADP) con el fin de adoptar en el marco de la CMNUCC, un protocolo, otro instrumento jurídico o acuerdo con valor jurídico, que debe adoptarse en el 2015, aplicable a todas las partes y guiado por los principios y disposiciones de la CMNUCC, en particular el principio de responsabilidades comunes pero diferenciadas y respectivas capacidades (Cumbre Celac, 2014).

Esto último, es de vital importancia, más aun sabiendo, y como lo señala la 2ª Comunicación Nacional de Cambio Climático (2011), que nuestro país en cierto sentido “vulnerable” a estos procesos, a causa de que *“cuenta con áreas de borde costero de baja altura; con zonas áridas, semiáridas; zonas con cobertura forestal y zonas expuestas al deterioro forestal; es un país propenso a desastres naturales; presenta zonas propensas a la sequía y la desertificación; presenta zonas urbanas con problemas de contaminación atmosférica; y zonas de ecosistemas frágiles, incluidos los sistemas montañosos”*, lo que conlleva a que nuestro territorio sea un sector apto para cambios radicales en tema climático y,

junto con ello, generar consecuencias para los sectores productivos y población, como señala con anterioridad.

Ante ello, se ha formado una estructura jerárquica (Fig.3), para ir generando conocimientos al respecto de este tema, en la cual tiende a darse prioridades a la investigación científica, a la educación y participación de la población afectada ante alguna de las consecuencias, con la intención de ir sorteando y preparando tanto nueva reglamentación, como a su vez nuevas formas de preparar a la población y mitigar los efectos de una forma más responsable y certera con el territorio.

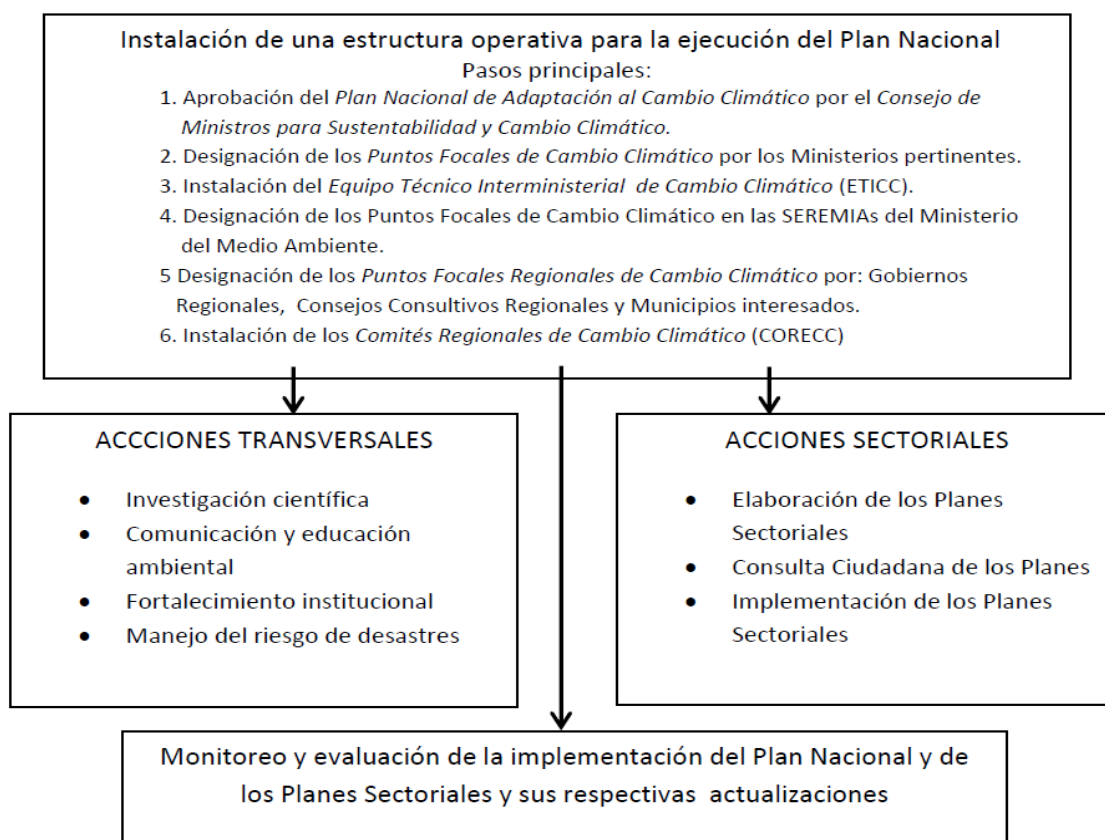


Fig.3: Acciones para la implementación del Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático

Fuente: Ministerio del Medioambiente, 2014.

Al momento de plantear el escenario para nuestro país, varios son los estudios, en base a diferentes modelos predictivos, que plantean diversas realidades según el sector o territorio estudiado, estos son por ejemplo los realizados por CONAMA (2007), en el cual plantea diversas realidades para el territorio nacional:

- En primer caso, las proyecciones a nivel país muestran aumentos graduales de temperatura en todas las regiones, entre 2 y 4°C, siendo más acentuado hacia las regiones andinas (Sector Altiplánico en el norte, y lo que respecta a la Cordillera de los andes en su totalidad), y disminuyendo de norte a sur. Sólo en la Región Austral, bajo el escenario más suave, hay sectores pequeños con calentamiento menor a 1°C. Estacionalmente, el calentamiento es mayor en verano, excediendo los 5°C en algunos sectores altos de la Cordillera de los Andes (CONAMA, 2007, Citado en Abdón y Meza, 2008).
- En cuanto a precipitación, existe una gran influencia de la Cordillera de los Andes, que divide las tendencias en aumentos hacia Argentina, y disminuciones hacia Chile, particularmente en latitudes medias (zona Centro-Sur del país) y en las estaciones de verano y otoño. Este contraste es más acentuado en el escenario A2 durante el verano, en que la precipitación sobre ciertos sectores de Chile centro-sur se reduce a la mitad e incluso a un cuarto del valor actual, al mismo tiempo que la precipitación futura se duplica inmediatamente al este de la cordillera de los Andes.

El detalle regional permite establecer que:

- En el altiplano se prevé un aumento de precipitaciones en primavera.
- En el norte Chico las precipitaciones aumentan entre los 20 y 33°S en otoño, pero en invierno esto sólo afecta la región andina.
- En la zona central de Chile tienden a producirse disminuciones que pueden llegar al 40% en las tierras bajas.

- En la región sur, la precipitación tiende a mantenerse en invierno y otoño, pero a disminuir cerca del 40% y 25% en verano y primavera respectivamente.
- Por último, la región Austral tiende a perder cerca de un 25% de sus precipitaciones de verano, pero en la zona sur, existe un aumento (CONAMA, 2007, Citado en Abdón y Meza, 2008).

En tanto, el Ministerio del Medioambiente (2014), basado en diferentes modelos (Fig. 4 y 5), señala proyecciones algo más conservadoras al respecto, tal como el aumento promedio de entre 0,5 y 1,5 °C para 2030, sobre todo para sectores altiplánicos, y más aún específico, para el norte grande, además de una disminución de entre un 5 y 15% de precipitaciones entre el Río Copiapó y la cuenca del Río Aysen, mientras que en otros sectores del territorio nacional, no se proyectan grandes cambios o si lo existen, serán de menor relevancia.

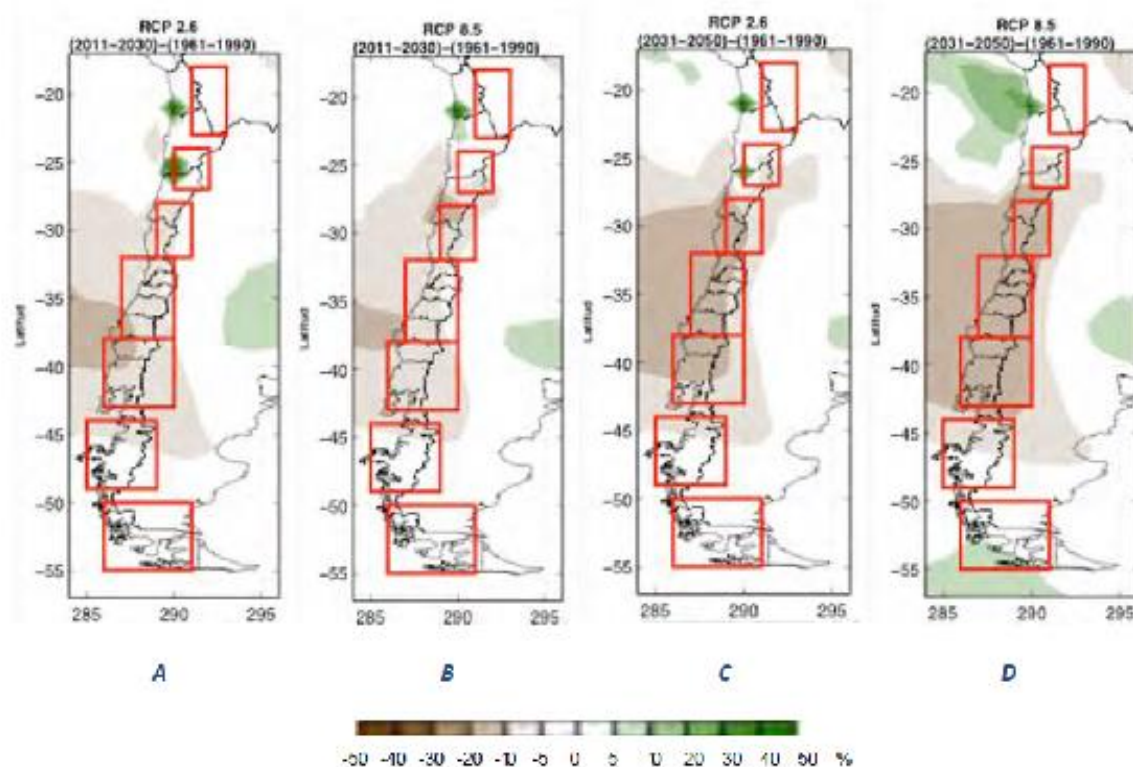


Fig.4 Proyecciones de cambio climático periodo 2011-2050.

Fuente: Ministerio del Medio Ambiente, 2014

Las consecuencias se ven en diferentes aspectos, el más relevante, es el tema hídrico, por lo que conlleva a la población, la producción y utilización del recurso en diversas formas y del diario vivir, tales como sector sanitario, el riego, la generación hidroeléctrica, la industria, la minería, los ecosistemas, entre otros. También se vería afectada la capacidad de almacenamiento nival, esto como causa de la elevación en la isoterma 0°C, producto del aumento en las temperaturas, reduciría la capacidad de almacenar nieve a lo largo del año, además de alterar la fecha en que los caudales se manifiestan en las cuencas, especialmente aquellas de influencia nival, tales como las de los ríos Limarí e Illapel, en las cuales se afectará de manera significativa esta componente, reduciendo los caudales disponibles en época estival (Abdon y Meza, 2008).

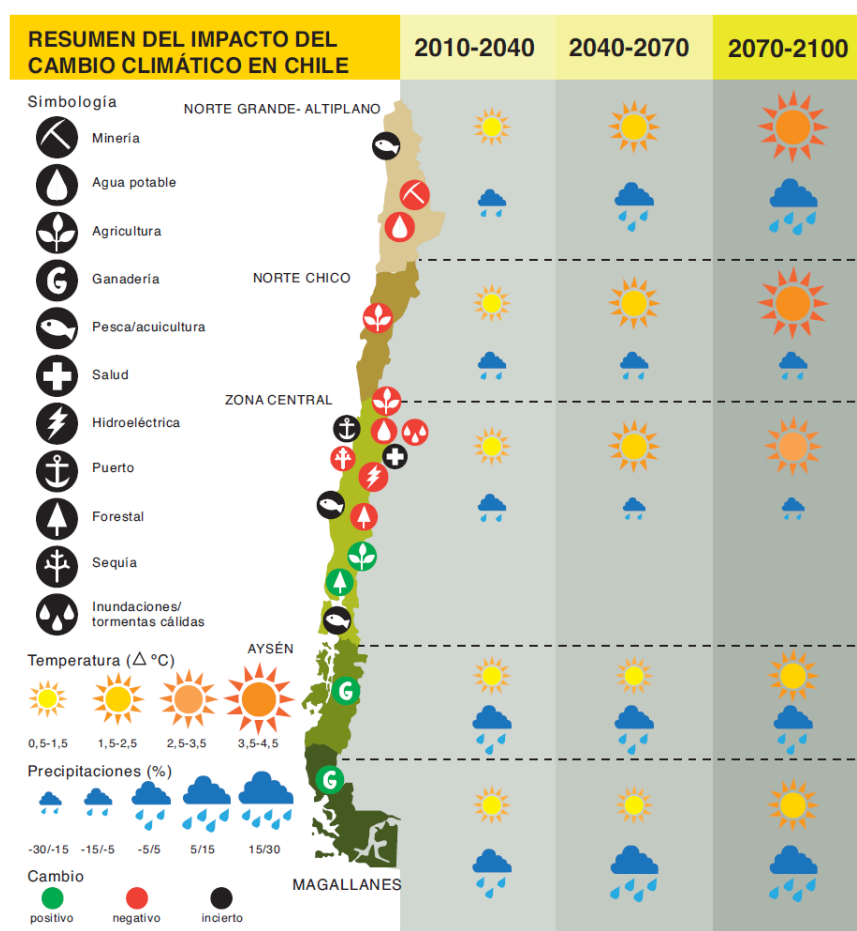


Fig. 5: Impactos Cambio Climático en Chile

Fuente: CEPAL, 2012

3.2 Escasez hídrica.

La escasez hídrica es una de las problemáticas emergentes en la actualidad, esto a causa del elemento que se encuentra en juego, y que es de utilidad diaria tanto para el consumo humano, como para la utilización en la generación de materias primas y producción de diversos productos, hablamos del agua dulce, el cual es un elemento vital para el desarrollo de la vida humana y que está escaseando a nivel mundial, principalmente en zonas áridas, semiáridas y mediterráneas y como sucede también en la zona norte y centro de nuestro país.

La demanda mundial de agua (solo lo referente a extracción de aguas) aumentará por sobre el 50 % de aquí al año 2050, esto a causa del creciente uso para la producción industrial y minera (cercana a un 400 %), para la generación de energía en sus diversas formas (cercana a un 140 %) y por último, para lo referente al consumo doméstico (por sobre el 130 %). Esto deriva en que, la disponibilidad del recurso hídrico, específicamente agua dulce, estará bajo una fuerte presión durante los próximos años, y que, como consecuencia, más del 40 % de la población mundial vivirá en zonas con problemas para la captación de recursos hídricos inclusive antes del 2050. Además, en los últimos años se ha evidenciado una clara muestra de que las reservas de agua subterránea están disminuyendo gravemente; ante esto, se estima que cerca de un 20 % de los acuíferos a nivel mundial se encuentran en estado de sobreexplotación, muchos de estos de forma crítica. Otro tema aparte, pero cercana a esta problemática, es deterioro constante de los humedales, los cuales, gracias a su intervención y reducción o desaparición, en variados casos, están generando una reduciendo de la capacidad de estos ecosistemas para ser un elemento purificador del agua. (ONU, 2014).

En Chile, el Código de Aguas de 1981 considera *este vital elemento como un bien nacional de uso público y a su vez un bien económico que puede ser transable en el mercado. Esto significa que el agua se reconoce como un patrimonio colectivo*

de todos los chilenos, sin embargo su aprovechamiento y gestión quedan amparados por las garantías constitucionales del derecho de propiedad y bajo los criterios del mercado. (IEB Chile, 2014).

Nuestro país basa su economía en la explotación y exportación de diversas materias primas, provenientes, del sector minero y agroforestal preponderantemente, estas son industrias que utilizan grandes cantidades de agua dulce. Para poder generar estos niveles de producción de materias primas, las grandes firmas acaparan la propiedad de los derechos o propiedades de agua y, con ello, generan prácticas productivas que disminuyen la capacidad de los diversos suelos de retener agua tanto a nivel superficial como subterránea (en el caso de la industria forestal, y al ser una producción cada 10 o 15 años, las talas generan un constante cambio de plantación, lo que genera una absorción de agua en grandes cantidades, a su vez, la agricultura, principalmente los monocultivos y cultivos de estación, generan un consumo de agua de alrededor de 22,8 % del caudal del río Laja, aumentando a cerca de un 50% del caudal en el mes de Marzo de cada año (Mardones y Vargas, 2005), sin considerar la erosión de suelos que conllevan a su improductividad y con ello pase de una producción agrícola, a una forestal), como a su vez, son causantes de la contaminación del agua en sus diversos procesos productivos (ejemplo de esto, se encuentran los relaves mineros, la producción de celulosa, entre otros). La gran mayoría de las cuencas importantes del centro-norte de nuestro país se encuentran en una situación de colapso por contaminación o sobreexplotación hídrica que conlleva a una escases del recurso en ciertos sectores (IEB Chile, 2014).

Además, relacionado con derechos de agua, *el modelo de gestión en Chile está centrado en criterios de asignación de oferta y demanda en transacciones de mercado, permitiendo la especulación especialmente en zonas de mayor escasez como el norte y centro del país (IEB Chile, 2014).* Esto se debe a la alta concentración en la propiedad de los derechos de agua y que, por consecuencia, la excesiva extracción o sobreexplotación del recurso hídrico genera una escasez

que se incrementa y que deriva en un aumento generalizado de precios, ante esto, la especulación aumenta y *los derechos de aprovechamiento de agua se hacen inalcanzables para los habitantes rurales, que no pueden competir frente a sectores altamente rentables como el minero o agrícola* (AIDS Chile, 2014).

Ante este escenario, un problema fundamental del Código de Aguas es que no presenta prioridades de uso, quedando el consumo humano en desmedro de las grandes actividades económicas que acaparan los derechos de aprovechamiento y contaminan las aguas, entre estas la industria, la generación hidroeléctrica y la producción agroindustrial (Banco Mundial, 2011).

La Dirección Meteorológica de Chile informó que, el año 2013, se convirtió en uno de los años más secos desde 1866. En base al índice pluviométrico, que grafica el promedio de agua caída en el país por año, desde que se tengan registros hasta la actualidad, se generó un mayor déficit hídrico en el año 1998, a causa del fenómeno de la Niña, seguido por el año 1968, mientras que los años 1924, 2007 y 2013 comparten el tercer lugar de este listado de periodos críticos concernientes a escases de lluvias y por consecuente, escases hídrica (Dirección Meteorológica de Chile, 2014).

La escasez hídrica, no afecta a todo el país, pero si a gran parte del territorio nacional -desde la región de Atacama hasta la del Biobío-, la cual abarca a cerca del 80% de la población (MOP, 2013), por lo consiguiente, se vuelve más relevante observar el cómo genera consecuencias a la población, en primer lugar, y a las diversas actividades que se generan en base a estos recursos.

Una de las áreas afectadas, aparte del consumo de la población es el sector sanitario, dedicado a la producción de agua potable. Esto a causa de que, debe asumir el constante desafío de contar con cantidades aptas de los recursos hídricos necesarios para así abastecer de forma constante a la población. En segundo plano, está el desafío en lo que compete a la calidad de este proceso, ya

que, en el contexto de escasez hídrica, en algunas localidades a nivel país ha surgido contaminación de las aguas por falta de este recurso, a lo que se debe tomar lo disponible, sin medir consecuencias, para mantener la oferta corriente de agua; en este contexto, algunos de los elementos encontrados son nitratos y arsénico, además de que las lluvias de verano con altas temperaturas en diversas regiones (principalmente la Región Metropolitana y la de Valparaíso), han causado problemas, como el corte de suministro a consecuencia de los altos niveles de turbiedad en las fuentes de agua y en sus respectivas plantas de tratamiento (Biobío, 2013).

Ante esto, también se genera otra discrepancia, la cual se deriva en la disponibilidad del recurso hídrico, la cantidad de agua disponible por persona a nivel país; en este contexto, posee un nivel promedio de escorrentía total de alrededor de 53.000 m³/persona/año (Fig. 6), mucho mayor a la media mundial que solo se acerca a los 6.600 m³/persona/año, y aún más elevado que el valor promedio que es considerado como el umbral racional para una persona común, alrededor de 2.000 m³/persona/año (Banco Mundial, 2011); sin embargo, lo que no cuenta este índice, es la realidad país respecto al recurso, es decir, las zonas con menor y mayor cantidad de este, y es aquí donde los datos son devastadores, por no decir inequitativos: mientras que desde Santiago hacia el norte existen climas o condiciones de tipo árido, que como consecuencia generan una disponibilidad de agua menor a los 800 m³/persona/año, ocurre un hecho totalmente diferente desde Santiago al sur, ya que la variabilidad de climas genera que la media disponible de agua sea superior a los 10.000 m³/persona/año, es decir, más de 100 veces de diferencia entre una zona y otra del país (Banco Mundial, 2011).

Respecto a que sectores son los mayores consumidores del recurso hídrico, hay que tomar en consideración diversos elementos, ya que no solo afecta a los recursos hídricos superficiales, sino que también provocan un agotamiento de las reservas subterráneas o napas, con la consiguiente consecuencia de la

generalización de la escases, estos, y según como lo indica el Banco Mundial (2011, 2014), son los siguientes:

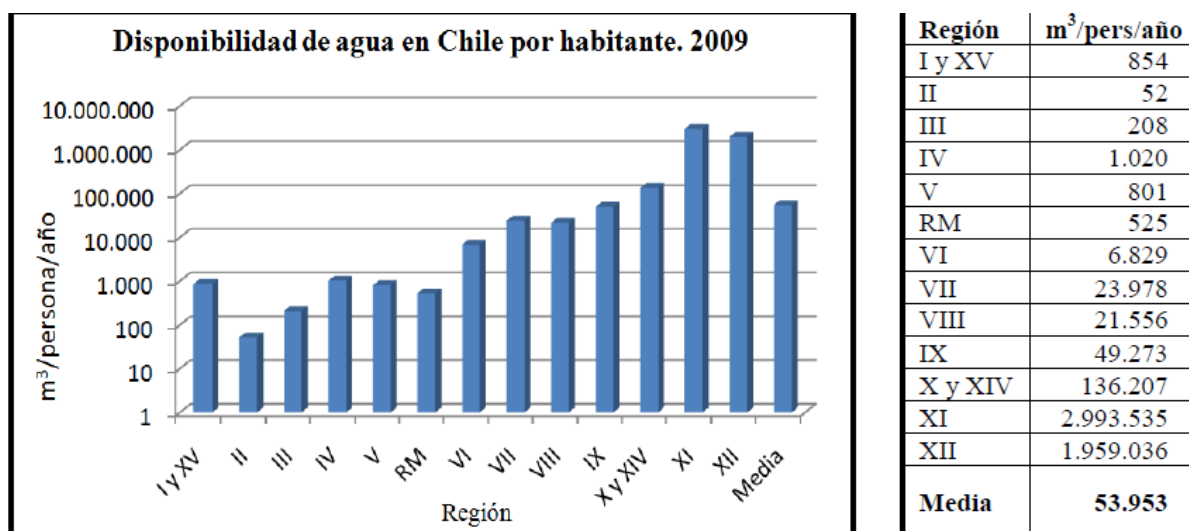


Fig. 6: Disponibilidad del recurso hídrico en Chile, 2009.

(Fuente, Banco Mundial, 2011)

3.2.1 Sector agropecuario-silvícola y forestal.

Según lo señalado por Frene y Núñez (2010), el Decreto Ley 4363 dictado en 1931, más conocido como “Ley de Bosques”, tuvo como objetivos fundamentales normar el uso del fuego y proporcionar incentivos a la reforestación, para evitar el déficit proyectado en la disponibilidad futura de madera. A partir de la segunda mitad del siglo XX, junto con el inicio de un proceso de reforestación en áreas abiertas y degradadas, se crearon empresas del Estado en el área forestal, como por ejemplo Forestal Arauco, Celulosa Arauco y Celulosa Constitución, todas iniciativas de CORFO. Posterior al golpe de estado de 1973, en 1974 se dictó el Decreto Ley 701 sobre Fomento Forestal, cuyos objetivos estaban orientados hacia la protección, incremento, manejo racional y fomento de las actividades forestales en Chile (CONAF-INFOR 2004, citado en Frene y Núñez, 2010). Este se focaliza en la regulación del manejo y uso de los bosques, otorgando incentivos para la forestación y recuperación de suelos agrícolas y degradados.

El fomento mediante el DL 701 desencadenó que durante el periodo 1980-1997 se forestaran 822.428 hectáreas, concentrándose un 88% entre las regiones del Maule y Los Lagos (Frene y Nuñez, 2010). Paralelamente, a partir de la primera década de este periodo se inicia un proceso privatizador de las grandes empresas estatales, el que logró sólo en 5 años (1985- 1989) que el Estado de Chile vendiera más de 30 grandes empresas, con enormes pérdidas monetarias debido a los bajos precios de venta negociados (Monckeberg 2001, citado en Frene y Nuñez 2010). Esta Ley tuvo como consecuencia directa el abandono de la actividad productiva en los bosques nativos y una fuerte expansión de la industria maderera basada en plantaciones de especies exóticas, que se manifestó, por ejemplo, en el aumento de la madera aserrada de pino en desmedro de las maderas nativas.

Este sector exporta productos como bienes primarios, que en su conjunto significaron el 7% del valor de las exportaciones de Chile en 2009, principalmente a países de la OCDE y emplea alrededor del 9% de la fuerza laboral. La agricultura se desarrolla principalmente de la región IX al norte, con un área regada (con seguridad de riego del 85%) del orden de 1,1 millones de ha. El riego es particularmente importante para la agricultura chilena porque de él depende el 40% del área cultivada y una gran parte de los productos de alto valor de exportación. El riego es también importante por la gestión de los recursos hídricos porque representa el 73% de las extracciones de agua (Banco Mundial, 2011)

3.2.2 Producción de energía eléctrica.

La “Política de Desarrollo Eléctrico” definida por nuestra legislación fue diseñada a principios de la década de los ochenta e implicó la entrega total al sector privado de la conducción del desarrollo eléctrico. A partir de este hito, las empresas han tomado las decisiones de inversión en generación de acuerdo a las señales que el mercado entrega, definiendo también de este modo la estructura de nuestra matriz de generación eléctrica. Ha primado la idea de que el crecimiento requiere

energía. Queremos ser categóricos: sin energía no habrá crecimiento (Ministerio de Energía, 2014).

Si bien el modelo tuvo resultados en el pasado calzando oferta y demanda, es evidente que hoy resulta insuficiente para enfrentar los nuevos desafíos: disminuir sus riesgos en relación a los combustibles fósiles (acceso y volatilidad de precios); desarrollar sus fuentes energéticas a precios accesibles; minimizar y gestionar los impactos ambientales del sector incrementando el involucramiento de las comunidades locales en los beneficios de los desarrollos energéticos; usar de manera eficiente la energía, tanto por hogares como industrias; dinamizar las inversiones del sector y promover la competencia (Ministerio de Energía, 2014).

La matriz de energía eléctrica de Chile tiene una capacidad instalada de 15.547 MW de la cual cuales las centrales hidroeléctricas representan 35%, las térmicas 64% y las eólicas 1%; las dos primeras requieren agua para la producción de electricidad. Las centrales térmicas se ubican principalmente en la parte árida y semiárida del país (RM al norte), mientras las regiones VII y VIII agrupan la mayor parte de la energía hidráulica. El uso medio anual de agua para la hidroelectricidad está estimado en alrededor de 4.190 m³/s/año. No se ha conseguido datos sobre el uso de agua por las centrales termoeléctricas. El uso de agua para la producción de energía eléctrica ha crecido fuertemente. Eso se explica por el crecimiento importante de la demanda eléctrica, consecuencia del crecimiento sostenido de la economía en los últimos 30 años y de su dependencia en procesos de producción que requieren una gran cantidad de agua. Asimismo, después de la crisis del gas, se incorporaron centrales térmicas abastecidas con carbón y petróleo. De hecho, la evolución de la potencia instalada de energía hidroeléctrica en Chile ha sido notable en las últimas tres décadas.

Hasta 1981 (fecha emblemática, por la entrada en vigor del Código de Aguas, y la creación de Derechos de Agua de uso no consuntivos), sólo se llevaba el 33% de la potencia instalada según el informe anual 2009 sobre energía eléctrica (INE,

2010). Desde entonces, el crecimiento de la potencia instalada ha sido intenso (Banco Mundial, 2011, 2014).

Durante las últimas décadas, específicamente a comienzos del año 2000, en Chile se está avanzando hacia la elaboración de una propuesta con el fin de generar un cambio en la regulación de los derechos de agua (Fig.7), esto con el fin de cuidar los recursos hídricos y mantener estos según las necesidades prioritarias de la población, de la industria agropecuaria en primer lugar, y el resto de la industria a nivel secundario, y con esto generar una protección ante diversas dificultades o desastres como los que ocurren en la actualidad en materia de escasez de precipitaciones u otras que afecten al territorio nacional:

Recursos Hídricos en el Programa de Gobierno

Problemas asociados al modelo chileno de mercado de derechos de aprovechamiento

- Insuficiente resguardo del patrimonio ambiental
- Escaso acceso del mundo rural al agua.
- Sobreexplotación de acuíferos.
- Insuficiencia e ineffectividad de la Institucionalidad pública
- Aumento de las transacciones sobre derechos de aprovechamiento

Propuesta de soluciones a los problemas descritos

- Nombramiento de un Delegado Presidencial para los Recursos Hídricos.
- Avance en una normativa que posibilite la coexistencia de una finalidad social en el recurso hídrico y que redefina la utilización de los acuíferos sobre-otorgados, de acuerdo al uso efectivo de los derechos
- Creación de normativa que permita el intercambio de derechos provisionales y eventuales por aquella proporción no utilizada de los derechos
- Definir volúmenes de agua extraíbles, en plazos determinados, sin generar efectos ambientales adversos, sobre los acuíferos con baja recarga pero con gran volumen almacenado

Fig. 7 Minuta de reforma al código de aguas.

Fuente: DGA, 2014

IV. METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

4.1 Metodología

Esta investigación busca o indaga, una problemática espacial desde una perspectiva basada en las ciencias sociales, específicamente la geografía, y que tiene como fin el crear conocimiento de diferentes realidades, como por ejemplo los cambios que se experimenta un sistema, o algunos componentes que se encuentran presentes en este, y busca, a su vez, unirse a los conocimientos ya existentes, como forma de complemento, con el fin de buscar nuevos elementos, originales, para cruzar y sobreponer diversos antecedentes a un tema específico, o comprobar con mayor fuerza los resultados previamente detallados en otras investigaciones; el fin es siempre generar mayor claridad a uno o más problemas de conocimiento y que, será válida, mientras no existan nuevas propuestas con mayor fundamentación y aceptada, por los pares según el nivel de conocimientos y por la comunidad en general (Briones, 1996).

La investigación realizada es de carácter cuantitativo, basado en un paradigma explicativo, ya que la investigación utiliza parámetros de información cuantificables, con el fin de describir o tratar de explicar los diferentes fenómenos que aquí se estudian tratando de generarlo con un nivel de estructuración lógica inserto dentro de las ciencias sociales actuales.

Dentro del modelo cuantitativo, tenemos un estudio de carácter descriptivo, el cual Centty (2011) define como aquel proceso que se interesa, por describir, explicar la influencia, importancia, las causas o factores que intervienen en una determinada realidad; puede darse casos de combinaciones y podemos encontrar investigaciones descriptivas y explicativas, o descriptivas evolutivas, o explicativas comparativas. Este es el carácter exploratorio que se desarrollará en esta investigación.

4.1.1 Tipo de estudio

Para esta investigación, se utilizó un tipo de estudio de carácter descriptivo, ya que es de carácter concluyente, que tiene como objetivo principal la descripción de algo, generalmente de características o funciones de un problema en cuestión, en este caso, la problemática hace referencia al análisis de cambios en el lago Laja, y a su vez como esto repercute en la problemática hídrica, todo esto tomando diferentes datos y elaborando otros para comprobar y analizar el problema planteado.

4.1.2 Diseño de investigación

La investigación parte con un trabajo de gabinete, con el fin de recolectar diversa información, tanto actual (noticias, reportajes u otros), como histórico (material bibliográfico existente, tanto en línea, como investigaciones a la cuenca de estudio realizada con anterioridad), con el fin de tener una base sólida respecto a la problemática hídrica existente en la cuenca de estudio, además, se analizan los derechos de agua, tanto a nivel regional como de la comuna de estudio, con el fin de ver las implicancias existentes ante el uso que se da sobre la cuenca en cuestión, los tipos de usos que se dan al recurso hídrico tanto de la región como de la comuna, su método de obtención o extracción y algunos datos relevantes sobre el cómo se ha ido avanzando respecto a esta parte de la problemática y sus incidencias.

4.1.3 Recolección de imágenes

En segundo lugar, se generara un análisis comparativo de la condición actual del lago con la digitalización y conversión de imágenes satelitales que se obtienen desde servidores de Estados Unidos (Earthexplorer, dependiente de la U.S Geological Survey) desde 1976 al 2014, de las cuales para esta investigación se tomaron en cuenta alrededor de 22 imágenes satelitales (de un total de 75

recopiladas), para llevar un mejor perfil respecto a la capacidad máxima del lago y perfilar las diversas consecuencias generadas a la cuenca en estudio.

Posterior a ello, se pretende estudiar la dinámica del uso de suelo de la cuenca, para así poder determinar consecuencias por sobreexplotación del recurso hídrico, todo esto a partir de diversas clasificaciones de imágenes satelitales existentes y de origen gratuito para el periodo 1986-2014, para así llevar un seguimiento continuo y no solo de escenarios extremos para el Lago.

Además del estudio de la dinámica de coberturas de suelo, se busca también generar un análisis de datos climáticos, entregados por Endesa y por las estaciones existentes cercanas o próximas a la cuenca que posee DGA-MOP.

Un elemento a considerar, será el estudio y aplicación de técnicas para la medición de temperaturas superficiales para el tramo 1999-2014, todo gracias a la medición de temperaturas superficiales, a través de las diferentes bandas termales incorporadas en Landsat 5 (Banda 6), Landsat 7 (Bandas 6.1 y 6.2) y Landsat 8 (Banda 10) y Evaluación NDVI para el periodo 2013-2014, con el fin de buscar concordancias a esta problemática, con lo relacionado a aumento de temperatura y radiación de superficie con respecto al Índice de Vegetación. Por último, y no menos importante, es el proceso de validación de clasificaciones y la comprobación visual de la problemática, todo ello gracias a la visita en terreno y, una vez obtenido los puntos, la generación de una matriz de confusión, para determinar cuál es el porcentaje de exactitud entre las clasificaciones más actuales, y la realidad en campo.

4.1.4 Programas y Funciones utilizadas

- Arcgis © 10.2: Re-clasificación de imágenes satelitales, análisis termal y elaboración de diversos mapas y cartografías, generación imágenes

temperatura superficial Landsat 8 OLI (2013-2014), NDVI Landsat 8 OLI (2013-2014).

- Envi Classic © 5.0: Clasificaciones coberturas de suelo para diversas imágenes satelitales.
- Erdas Imagine © 2011: Generación de imágenes temperatura superficial para Landsat 5 TM y Landsat 7 ETM+ (periodo 1999-2011).

Recursos Utilizados:

- Imágenes satelitales desde 1976 a 2014, Landsat 5, Landsat 7 y Landsat 8

4.1.5. Recolección de Datos

A continuación, se describe cómo se gestó la recolección de datos para la elaboración de esta investigación, según el tipo en que se enmarca cada una de estas.

a) Publicaciones del gobierno

El Estado a través de sus diversas instituciones realiza análisis de sus sectores en forma periódica, generando una importante base de datos, que nos permiten, utilizar en beneficio de diversas investigaciones, además que por ser el estado la fuente adquieren carácter de oficial y de seriedad. La ventaja de los estudios del estado es el tamaño de la población que es objeto de su investigación que muchas veces se convierte en universal es decir analiza el total de la población como es el caso de los censos poblacionales, fuente más rica de información sobre la cual giran diversas investigaciones; en el caso de este estudio, se tomaran en cuenta diversos datos que solo estas instituciones manejan, tales como datos de estaciones meteorológicas gestionadas por MOP- DGA, información referente a cotas de nivel de embalses y lagos que se encuentran disponibles por parte del Ministerio de Obras Públicas, Informes del Ministerio del Medioambiente como el 2° comunicado de acción frente al cambio climático, entre otros, que reflejan datos y acciones por parte del estado ante diferentes problemáticas relacionadas al caso de estudio.

b) Otras investigaciones

Los temas sociales y económicos resultado de una serie de análisis publicados como resultados de investigaciones asociadas a temáticas sociales y económicas, sirven de marco referencial al estudio de la problemática del agua, han sido utilizados en beneficio de nuestra investigación.

En el caso de este estudio , se tomaran datos de fuentes oficiales como Endesa en materia de precipitaciones y estado actual del Lago, y se complementaran con otras investigaciones en el área de estudio (Mardones y Jaque 1992; Mardones y Vargas en el año 2005), además de otros estudios que analizan la aplicación de Sistemas de Información Geográfica para el análisis espacial de fenómenos de cambio en otras latitudes.

c) Periódicos y revistas.

En este caso, se toman en cuenta revistas científicas internacionales y nacionales, artículos y otros, para generar una sólida base que complemente el desarrollo de la investigación. Las que se consideraron para este estudio, fueron netamente periódicos digitales, tales como Ciper Chile, que a través de una serie de reportajes realizados entre mediados de 2013 y 2014, realizaron una indagación del estado actual del agua en Chile; además de la legislación y problemáticas existentes en relación con el código de aguas y los derechos o concesiones que se entregan de estas, y como están generando la crisis hídrica actual a nivel del Chile central.

d) Datos internacionales

En este caso, la obtención de imágenes satelitales, ya que el país no dispone de tal material y más aún, de libre y gratuito acceso. Estas se obtienen desde servidores de Estados Unidos (Earthexplorer, dependiente de la U.S Geological Survey), en la cual se pudieron recopilar imágenes desde el año 1976 hasta el 2014, no de forma continua, pero si con un intervalo cercano de año, a excepción de los años 90, en la cual se genera una pérdida de datos desde 1991 hasta 1998.

e) Información en internet:

Este aspecto, se deriva en la extracción de diversos artículos de internet, como los citados de los diversos ministerios (MOP, Ministerio del Medio Ambiente), de estudio de la cuenca como el de Parra y Valdovinos (2006), sobre las cuencas del Biobío, además de artículos del Banco Mundial sobre el estado del Cambio climático en Chile y otras zonas del mundo.

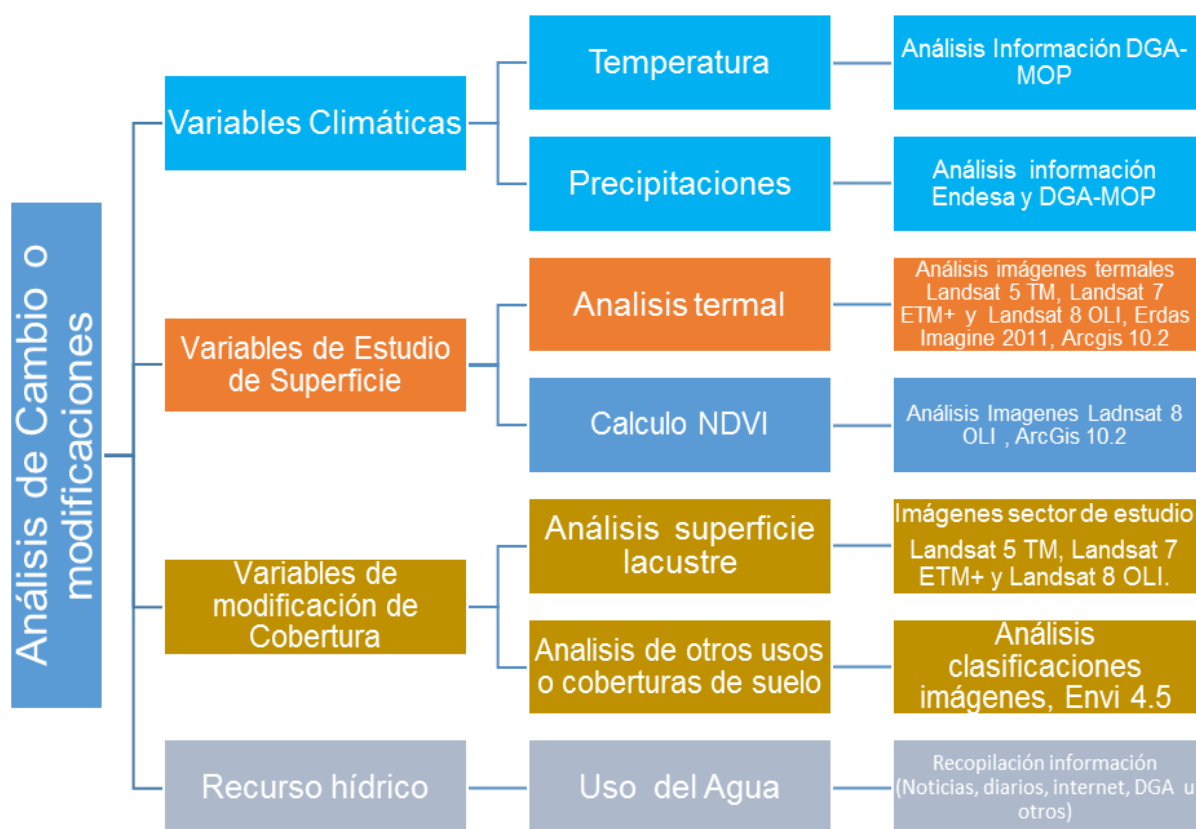


Fig.8: Síntesis metodológica de la investigación.

Fuente: Elaboración Propia

4.2 Técnicas de Investigación

4.2.1 Investigación Bibliográfica:

En esta investigación el uso de material bibliográfico fue relevante en el desarrollo del marco teórico y en las fuentes de datos se transformaron en el pilar del cumplimiento de algunos de los objetivos específicos especialmente aquellos que dicen relación con las variables climáticas.

4.2.2 Estudio de campo:

Se desarrollaron dos instancias de trabajo de campo; una al inicio de la investigación, que nos permitió reconocer la expresión espacial de la problemática de reducción del cuerpo lacustre, además de aportar los antecedentes necesarios para iniciar la fase de clasificación de imágenes satelitales.

Finalmente en el mes de diciembre de 2014 se realizó la segunda visita a terreno donde pudimos constatar el retroceso del espejo de agua del Lago y las principales modificaciones del paisaje de la cabecera de la cuenca lacustre, además de corroborar las clasificaciones de coberturas del último periodo evaluado.

4.2.3 Análisis de cambio

Se utilizó para este estudio imágenes satelitales que pertenecen al sistema de satélites Landsat, para el *Procesamiento de imágenes satelitales* fue necesario corregir las imágenes (software ENVI 5.0 ©). luego se procedió a la *Selección de áreas de entrenamiento y clasificación de la imagen*, para lo cual se utilizó el método de clasificación supervisada; que implicó seleccionar píxeles que representaron los patrones de los tipos de cobertura del suelo (áreas de entrenamiento) que fueron reconocidos o que se identificaron con ayuda de otras fuentes auxiliares como fueron fotografías aéreas y mapas (Segura y Trincado,

2003; citado en Ortiz y Pérez, 2009). Para la fase de asignación, se aplicó la función probabilística de máxima verosimilitud. Este clasificador asume que los datos siguen una función de distribución normal (Gaussiana) para asignar la probabilidad de que un píxel cualquiera pertenezca a cada una de las clases (Jensen, 2005; citado en Ortiz y Pérez, 2009).

Para el análisis de las modificaciones de coberturas de suelo, se utilizaron los mapas de cobertura levantados a partir de las clasificaciones de imágenes satelitales para el periodo 1986 - 2014, estos revelaron los principales cambios expresados en superficie (hás) para lo que se utilizó el software ArcGis 10.2.

Para obtener el análisis de datos climáticos (temperatura y precipitaciones) se recopilan los datos desde diversas fuentes, principalmente registros históricos obtenidos desde DGA-MOP para el caso de Digüillín, y de Endesa para la estación abanico, en lo que hace alusión a precipitaciones, luego de obtener estos datos, se generan los diferentes gráficos que señalan las variaciones existentes en esta materia; en lo referente a temperatura, los datos fueron obtenidos desde las estaciones citadas en este trabajo, las cuales fueron modificadas para aplicar la relación gradiente térmico ($0,6\text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{ mts}$), a posterior de esta transformación, se generan los gráficos que abarcan periodos superiores o iguales al de la época de estudio (1986-2014, en algunos casos se tomaron desde mediados de 1970, para tener un espectro más amplio de análisis)

Por último, cabe señalar que la generación de las diferentes cartografías (mapas térmicos, mapas de localización, NDVI y otros) fueron realizados desde dos programas utilizados en este espectro: Erdas Imagine 2011 y ArcGis 10.2; para generar el cálculo de estos, se genera una fórmula para aplicar a la banda correspondiente, en el caso de los mapas termales y dependiendo del año en que fueron extraídas (Banda 6 en Landsat 5, 6 y 7; y Banda 1 en el caso de Landsat 8) se aplica la siguiente fórmula: $TC = (1321.08 / \ln(774.89 / (3.3420E-04 * \text{"banda10.tif"} + 0.10000) + 1)) - 273.15$, en el cual se obtiene datos grosso modo, pero las restas

generan el resultado en grados Celsius; mientras que para la obtención de datos NDVI, se obtiene también en ArcGis pero con otra fórmula utilizando float y restando las bandas 5 y 4 en Landsat 8, y 4 y 3 en otros formatos de Landsat, y así obtener los datos de índice normalizado de vegetación y como afecta a las diversas superficies.

V. ANALISIS DE LOS RESULTADOS

5.1 Dinámica de las coberturas de suelo de la cuenca superior del lago Laja.

El análisis de las imágenes satelitales desde el año 1986 hasta 2014 en la cabecera de la cuenca del Laja, muestra que se han desarrollado procesos espaciales con un comportamiento dinámico de algunas coberturas de suelo, es así como en este periodo de 38 años las coberturas que más se han visto modificadas son la correspondiente al espejo de agua o superficie inundada, la cobertura de arenas volcánicas, y la cobertura de nieve, esta última va en directa relación con la estacionalidad en que se realiza la clasificación de uso de suelo (Fig. 9 a 24).

Estas modificaciones implican cambios en los paisajes de la cuenca, ya que generan un ambiente propenso al desarrollo de vegetación en sectores donde el espejo de agua alcanza niveles más bajos, pero puede variar y sobre todo verse afectado en caso de que el lago vuelva a ocupar una superficie por sobre las 12.000 ha; estos procesos no se han dado de forma masificada aún, pero podría darse en caso de mantenerse constante el nivel actual del lago.

Se observa también que hay una constante variación entre suelos desnudos y áreas de renovales o vegetación nativa, esto ya que se van masificando las zonas de renovales o nativas según el aporte hídrico o las condiciones climáticas que favorezcan al crecimiento o generen una pérdida de estas plantaciones, esto se puede observar en el análisis de imágenes satelitales durante el periodo de estudio (1986-2014), en el cual no existe una gran variación en la superficie total de ambas áreas, es decir, cantidad de hectáreas totales para cada cobertura de suelo, en comparación con otras que ven diferentes grados de modificación según los comportamientos de crecida o disminución del lago y de reservas de nieve existentes en la zona.

Fig. 9: Clasificación coberturas de suelo 21 de Septiembre 1986.

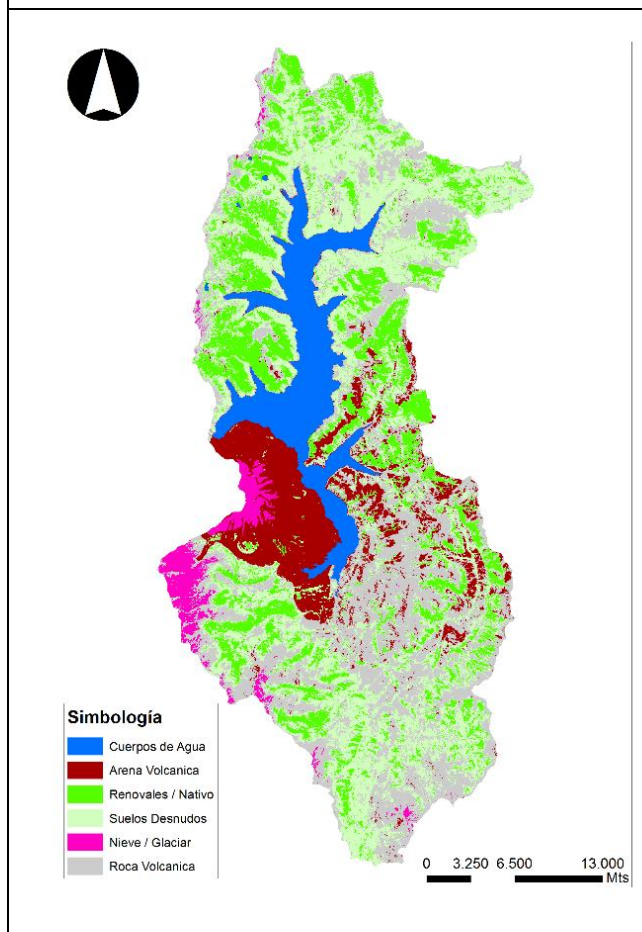
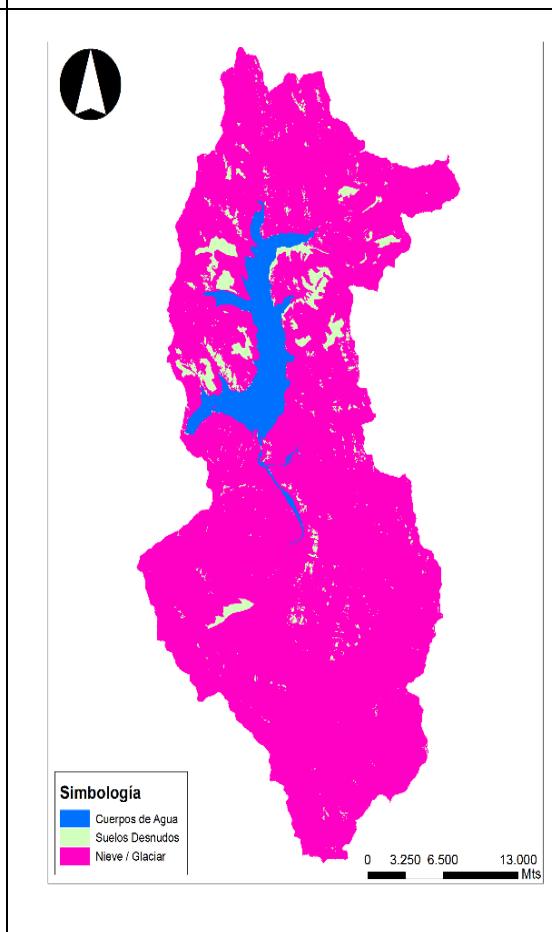


Fig. 10: Clasificación coberturas de suelo 21 de Septiembre 1999.



Fuente: Elaboracion propia.

Fig. 11: Clasificación coberturas de suelo año 1989.

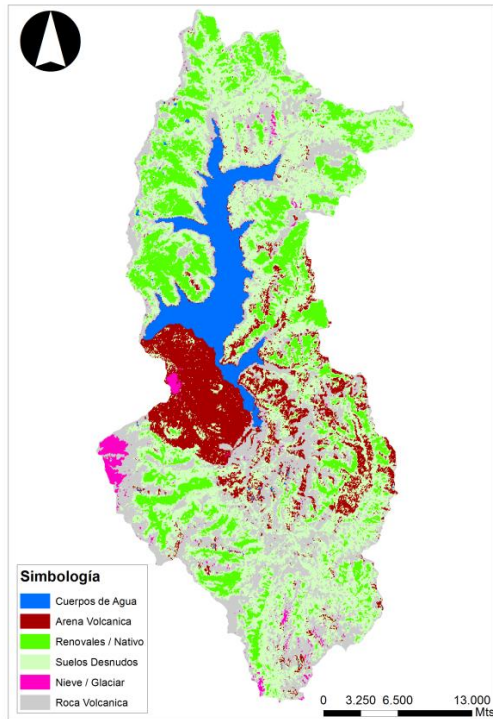


Fig. 12: Clasificación coberturas de suelo año 20 de Febrero 1990.

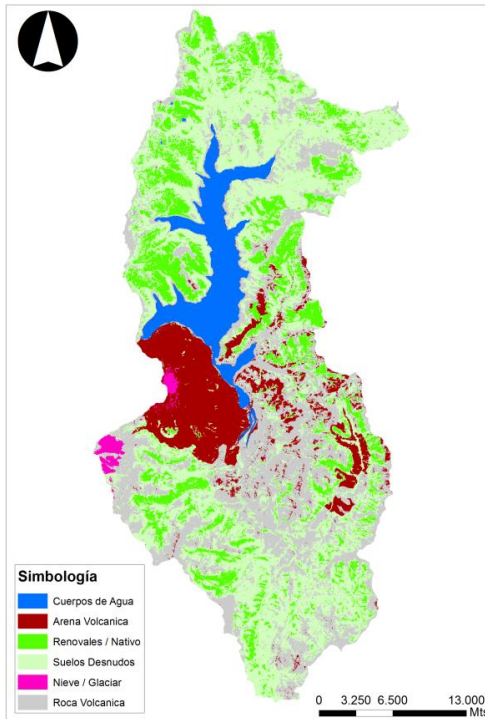
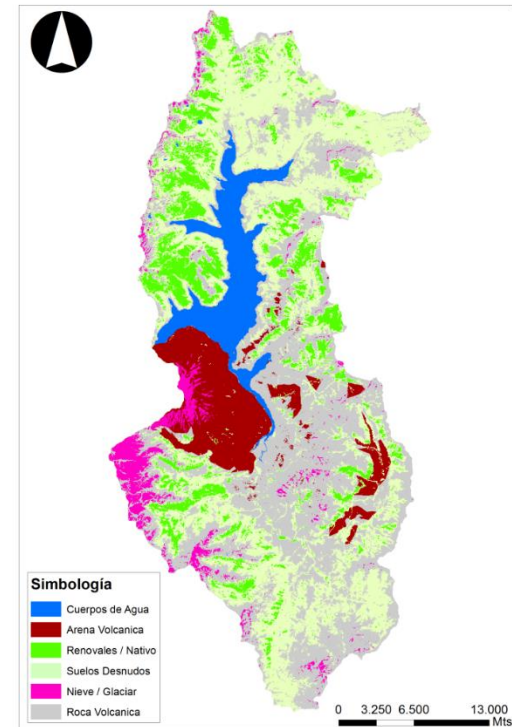


Fig. 13: Clasificación coberturas de suelo año 20 de Octubre 1999



Fuente: Elaboracion propia.

Fig. 14: Clasificación coberturas de suelo 28 de Febrero 2000

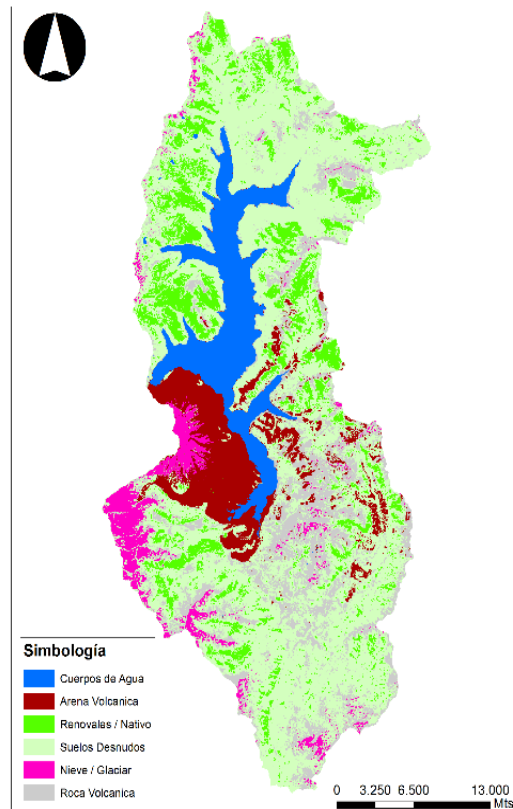


Fig. 15: Clasificación coberturas de suelo año 12 de Diciembre del 2000.

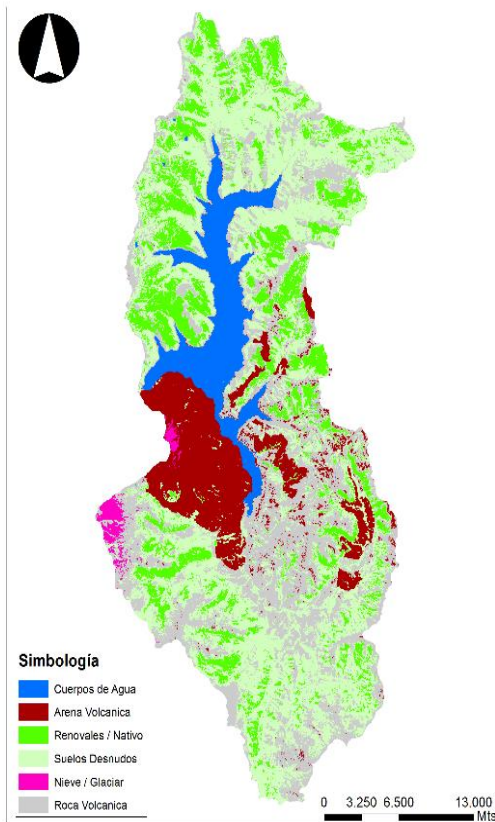
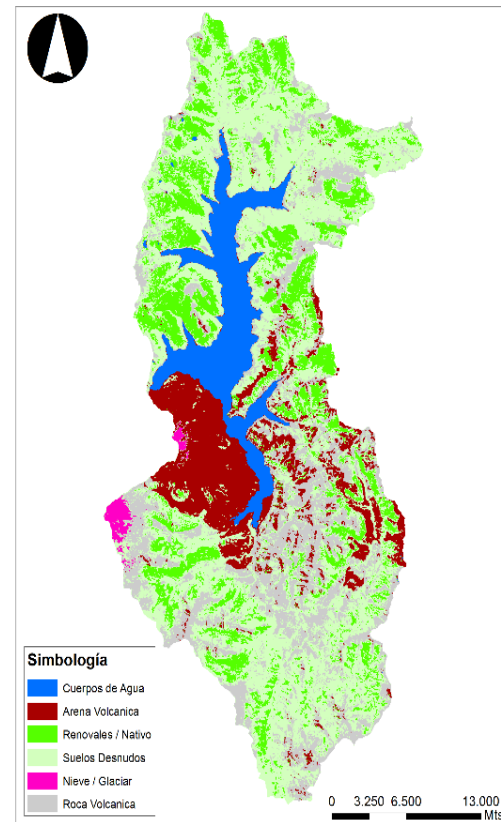


Fig. 16: Clasificación coberturas de suelo 15 Diciembre 2001.



Fuente: Elaboracion propia.

Fig. 17 :Clasificación coberturas de suelo 02 de Diciembre 2002.

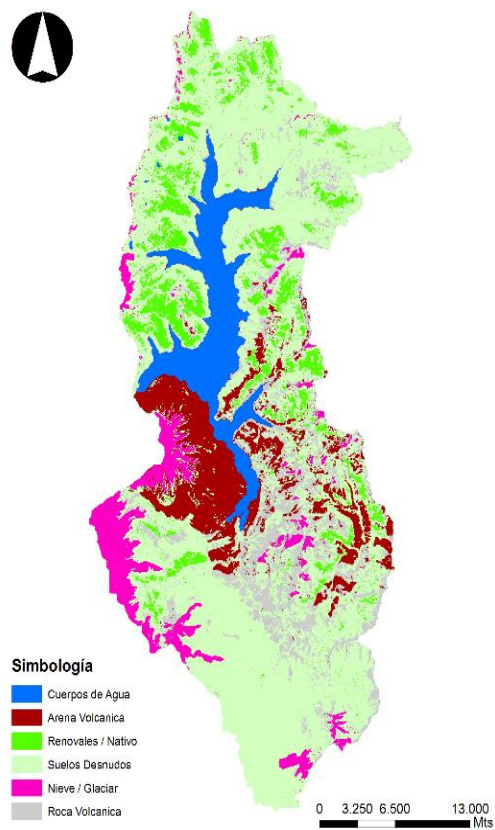


Fig. 18: Clasificación coberturas de suelo 04 de Febrero de 2003.

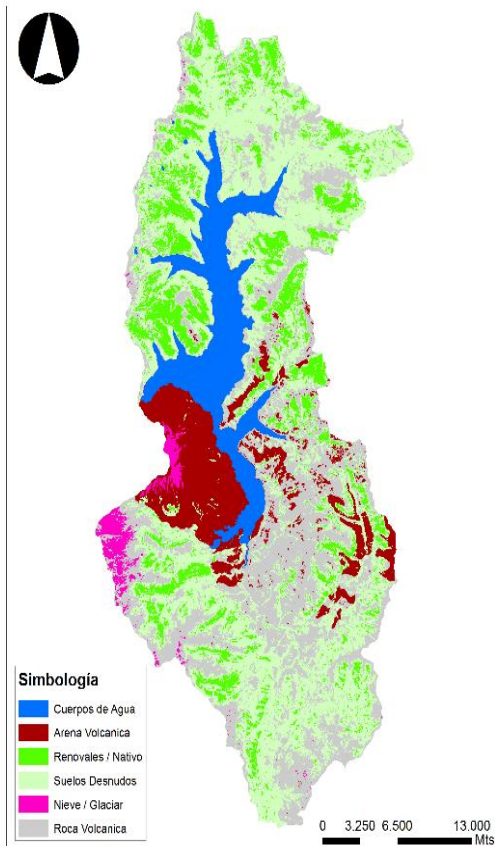
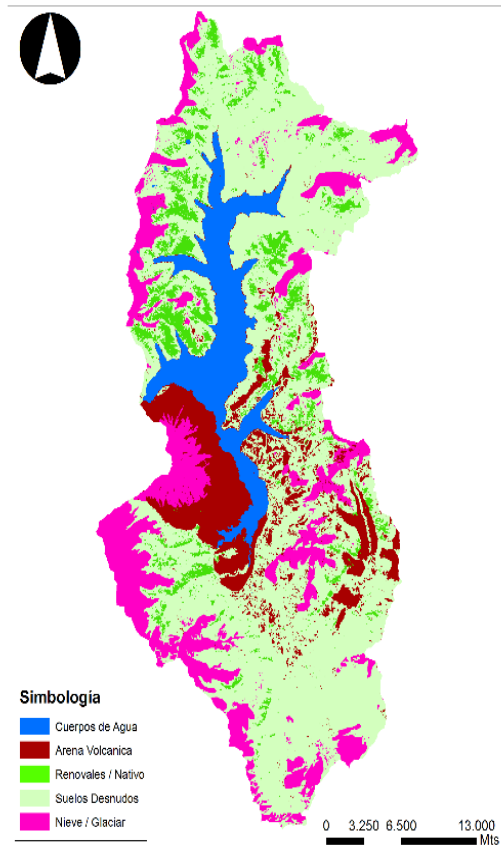


Fig. 19: Clasificación coberturas de suelo 31 de Octubre de 2005.



Fuente: Elaboracion propia.

Fig. 20: Clasificación coberturas de suelo 20 de Febrero de 2006.

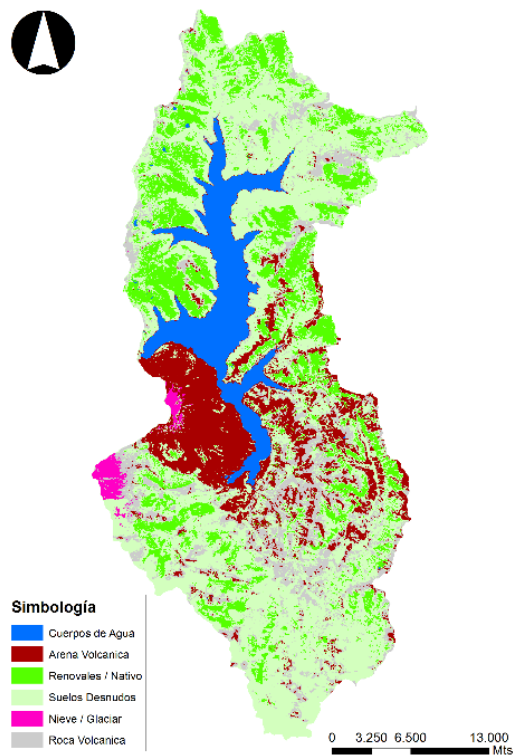


Fig. 21: Clasificación coberturas de suelo 06 de Enero 2007.

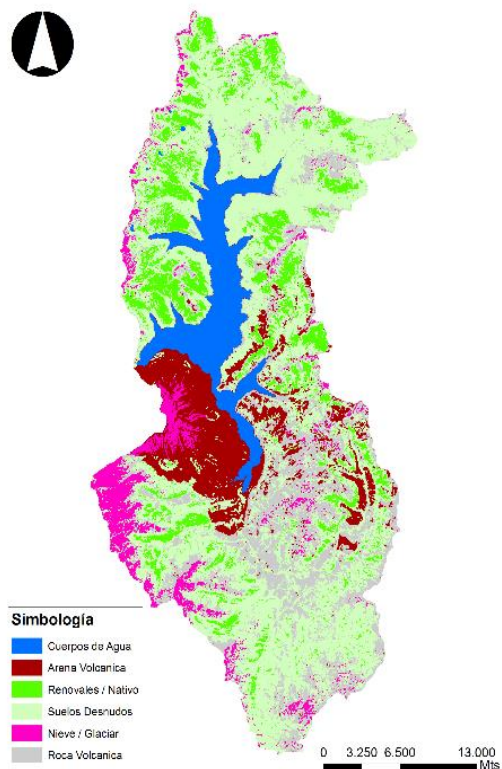
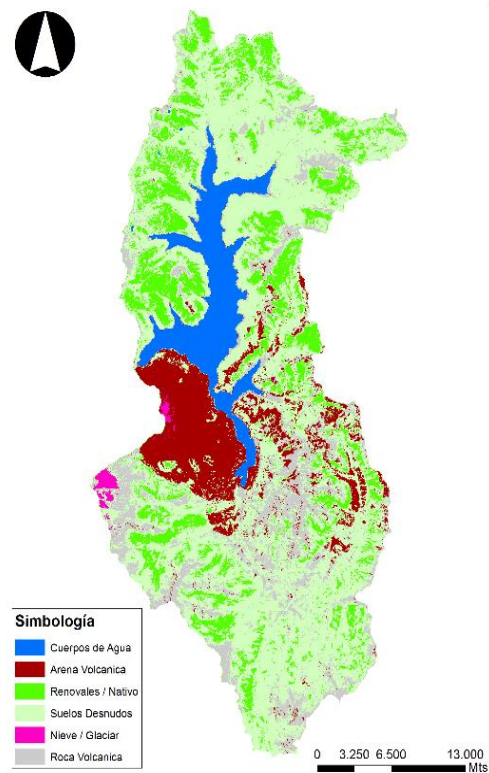


Fig. 22: Clasificación coberturas de suelo 10 de Febrero de 2008.



Fuente: Elaboracion propia.

Fig. 23: Clasificación coberturas de suelo
05 de Octubre de 2013.

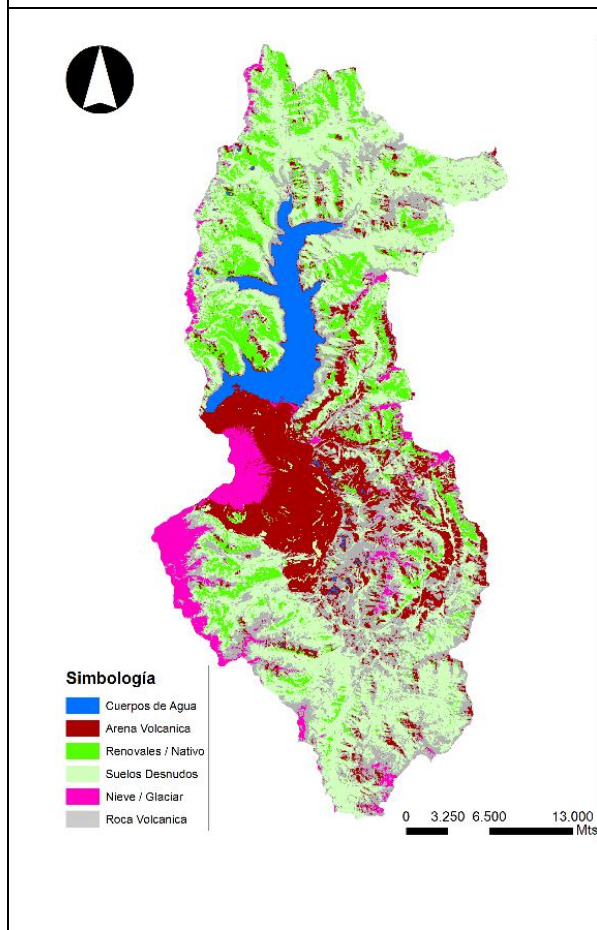
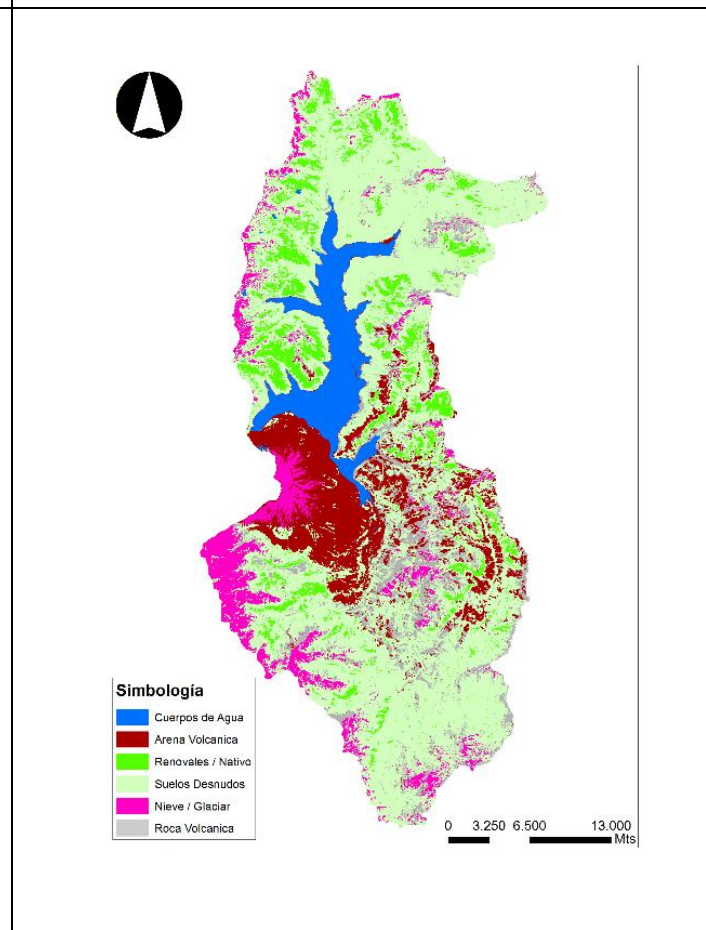


Fig. 24: Clasificación coberturas de suelo
25 de Noviembre de 2014



Fuente: Elaboracion propia.

Como se puede observar en las figuras (fig.24) un constante cambio en la superficie lacustre, en periodos con amplia capacidad hidrica y en otros donde practicamente desaparece el sector sur de este lago, correspondiente al complejo sierra velluda, y a su vez, al interior del parque laguna del Laja.

Sin embargo, hay que tomar en cuenta una variable, y es que las imágenes corresponden a diferentes estaciones de los años citados con anterioridad, por ejemplo, la imagen de 1999, corresponde al fin del invierno, antes de los deshielos, mientras que la imagen del año 2013 corresponde al otoño y la de 2014 a la de primavera; esto, en todo caso, muestra la fragilidad de este ambiente lacustre sin importar la temporada del año en la cual se encuentre, ya que, si existe alguna especie de crisis hidrica, toda época es vulnerable a estos cambios, y no necesariamente las estaciones más extremas en materia de temperatura, como lo es principalmente el verano.

Dentro del periodo restante (1986-2014) hay grandes cambios, como los presentados, pero tambien hay constancias (Ver anexo) las cuales denotan un estancamiento en la superficie lacustre, sin grandes variaciones y muy por al contrario, con perdidas extremas por momentos.

A continuación, se presentan una serie de graficos (Fig. 25 a Fig. 31), en la cual se muestra con mayor detalle, los diversos cambios sufridos durante 1986 a 2014, en diferentes imágenes satelitales clasificadas, a traves de porcentajes y superficie por hectareas (ver anexo para visualización de los totales en hectareas para cada clasificación seleccionada), para su analisis y comparación.

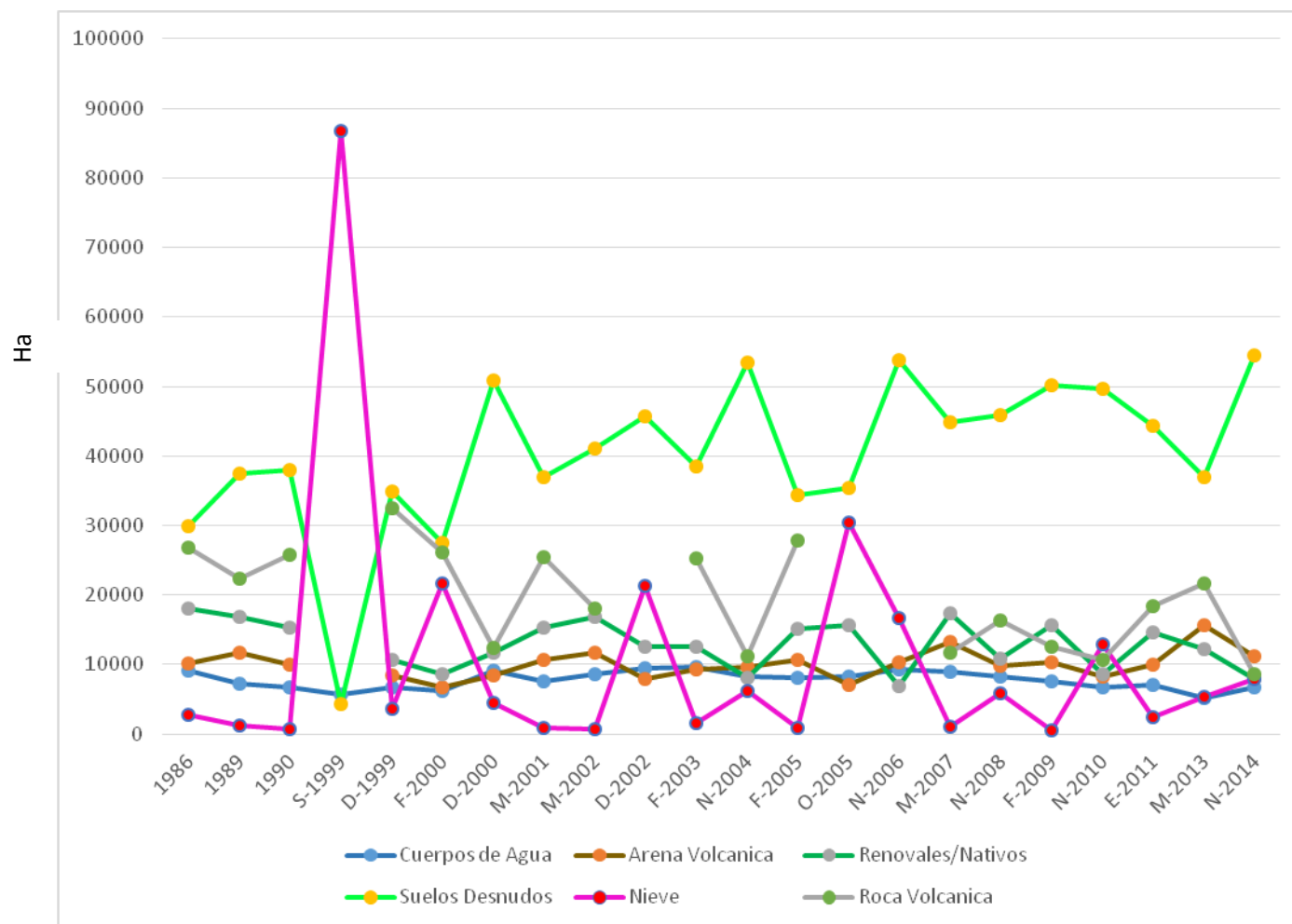


Fig.25: Comparacion de coberturas de suelo 1986-2014.

Fuente: Elaboracion propia

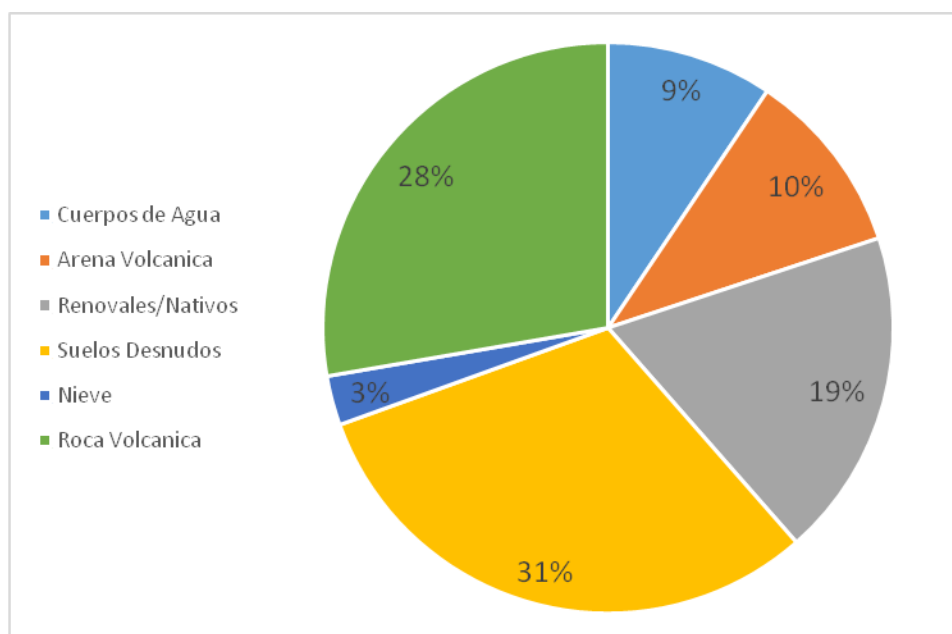


Fig.26: Distribucion porcentual de las coberturas de suelo cuenca del lago Laja año 1986.

Fuente: Elaboración Propia.

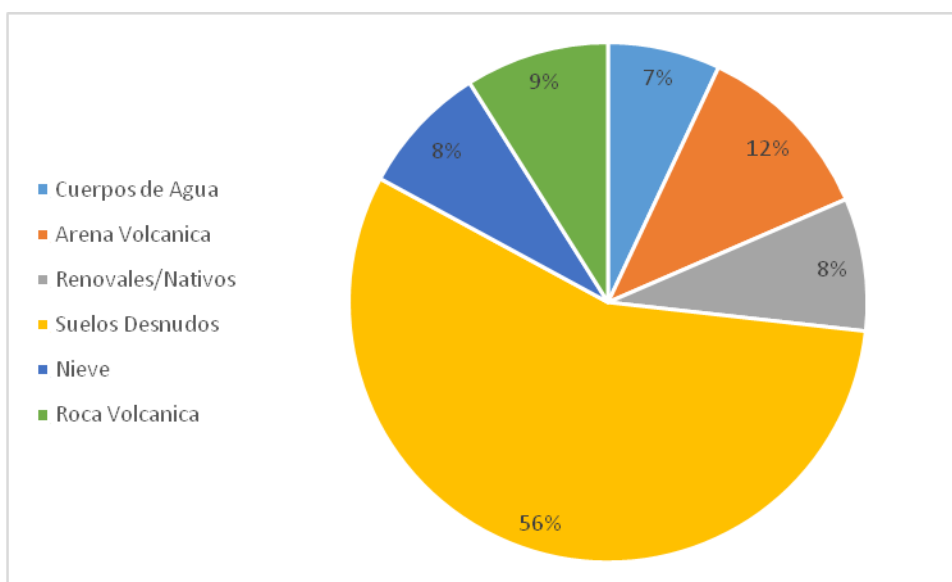


Fig. 27: Distribucion porcentual de las coberturas de suelo cuenca del lago Laja año 2014. Fuente: Elaboración Propia.

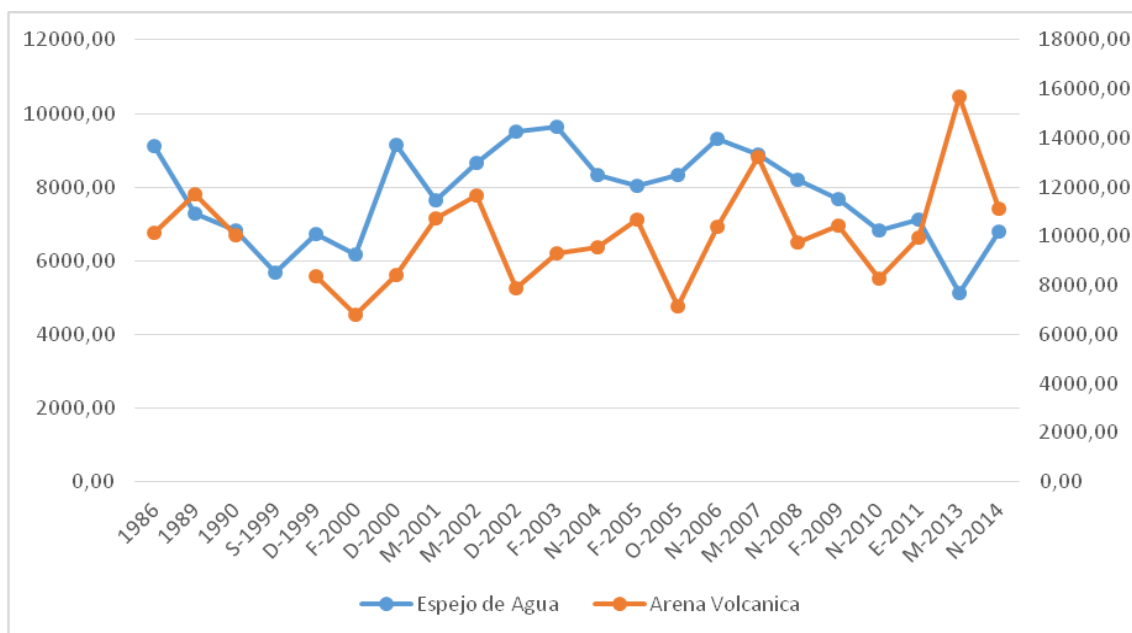


Fig. 28: Comparacion de coberturas de suelo Espejo de Agua y Arenas Volcánicas.

Fuente: Elaboración Propia.

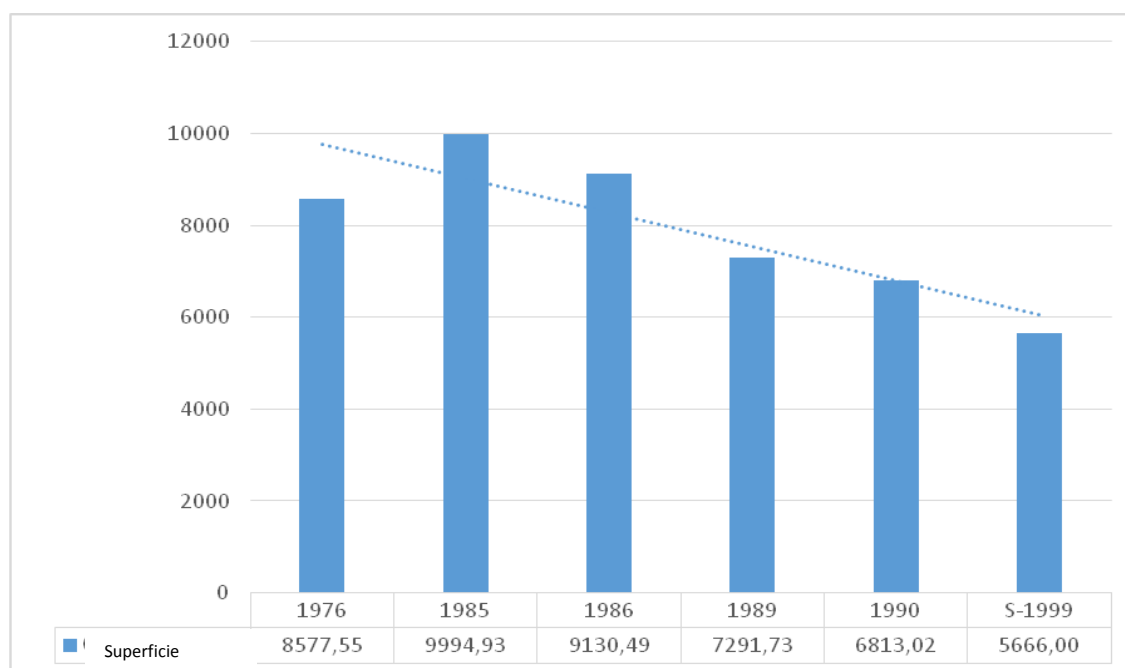


Fig. 29: Variaciones superficie inundada (Espejo de Agua) 1976 -1999.

Fuente: Elaboración Propia.

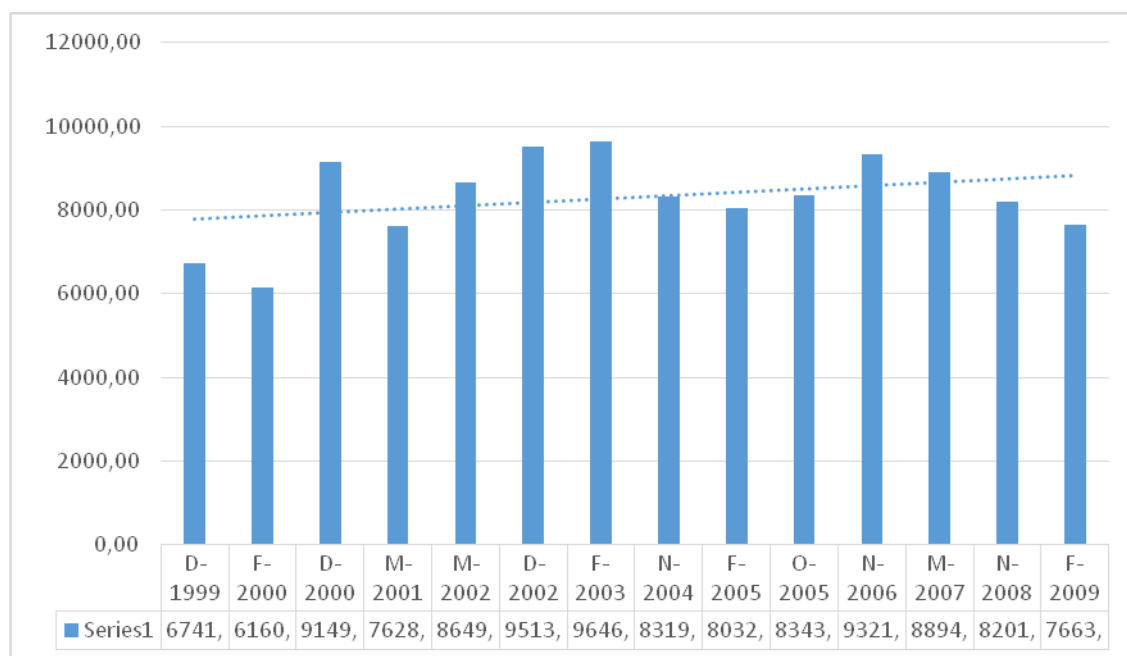


Fig. 30: Variaciones superficie inundada 1999 a 2009.

Fuente: Elaboración Propia.

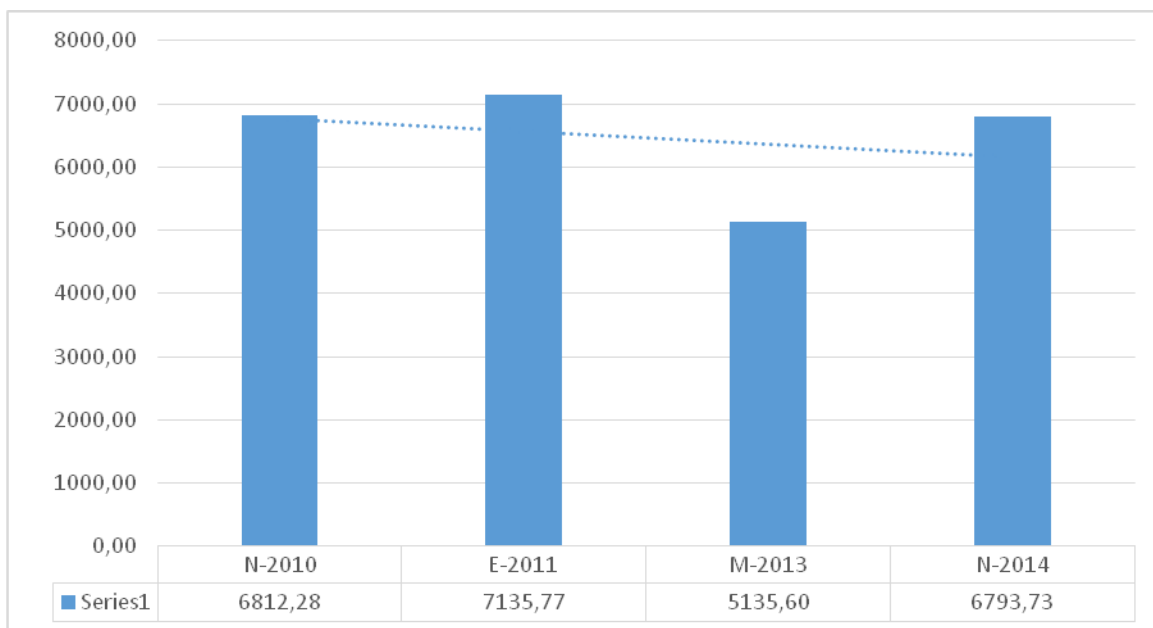


Fig. 31: Variaciones superficie inundada 2010-2014

Fuente: Elaboración Propia.

Como se observa en la figura 25, la principal cobertura de suelo variables la cobertura de nieve y el suelo desnudo, las cuales abarcan una extensión de cerca de 90.000 Ha (nieve) en su temporada más alta (invierno y primavera), mientras que los suelos desnudos poseen un promedio cercano a las 50.000 Ha. en casi toda época, disminuyendo ante el avance de la nieve, como señalamos anteriormente en cierta estaciones y los renovales, que son plantaciones que se dan únicamente en temporadas aptas para el crecimiento y propagación de vegetación en lo que corresponde a las estaciones de primavera y verano.

Mientras que los superficie de agua, que son lo relevante de esta investigación, se ven aplacados y no se considera como tan relevante en cantidad de terreno que esta abarca, al igual que el resto de superficies, como lo son las arenas volcánicas, los renovales y la superficie de roca volcánica, las cuales tienen un menor porcentaje dentro de la zona estudiada, alcanzando máximas de más de 9.000 Ha en el caso de cuerpos de agua y un promedio por sobre las 10.000 Ha. En las siguientes figuras (Fig. 26 y 27), dentro de una superficie aproximada de 97.000 Ha, correspondientes a la zona de estudio, hacen referencia al cambio en porcentajes de las superficies estudiadas, para los años 1986 (primer registro de coberturas de suelo para este estudio) y para noviembre de 2014, que fue el último mes utilizado para analizar; en materia de porcentajes, se puede tomar en cuenta que la superficie de agua han tenido un retroceso cercano a un 2% (datos en Ha, en Anexo n°, y en Fig.28), mientras que otras superficies, como la arena volcánica, crece desde un 10 a un 12% del total de superficie, esto se explica en parte a que, y según las diversas clasificaciones realizadas, la superficie que retrocede desde el cuerpo de agua principal, deriva en primer lugar a la superficie de arenas volcánicas, y en segundo lugar y no menos importante, a la superficie de rocas volcánicas; mientras que las zonas afectadas de este retroceso, y como fue señalado con anterioridad, hacen referencia al sector sur del Lago, donde se encuentran los conos de arenas negras del complejo Antuco-Sierra Velluda.

En lo que respecta a detalle de coberturas de suelo (Fig.28), se toman como referente 2 superficies: primero, la correspondiente al cuerpo de Agua principal, y en segundo lugar, las arenas volcánicas, en las cuales existe ciertas concordancias y algunos retrocesos de superficie entre ambas, sin embargo, cuando hay retroceso de superficie arenosa, es a causa de mayor cantidad de nieve en la zona de estudio (apreciar anexos y figuras señaladas al comienzo de este apartado), por ejemplo, en 1986, el cuerpo de agua Lago del Laja, tenía una superficie cercana a los 9130,5 Ha, mientras que en 2014 solo alcanzaba a las 6793,7 Ha aproximadamente, en desmedro, las arenas volcánicas pasaron de 10162,7 Ha en 1986 a 11139,2 Ha en 2014, aproximadamente; esto refleja un retroceso de 25,6% aproximado en lo que corresponde a cuerpos de agua, y un aumento de un 9,6% de superficie, en el caso de las arenas volcánicas.

En referencia a la superficie del Lago y su evolución en el tiempo (Fig.29, 30 y 31) se puede apreciar que esta ha sido irregular, es decir, ha tenido ascensos y descensos constantes en el tiempo (para las imágenes estudiadas), llegando a máximos por sobre las 9.000 Ha en los años 1985, 1986, 2000, 2002, 2003 y 2006, en los cuales la laguna (revisar anexos 1) contaba con una zona sur completa e incluso llegando a límites cercanos de máxima capacidad (que son por sobre las 12.000 Ha), sin embargo, también existían descensos drásticos y mayoritarios para este cuerpo de agua, en el cual con suerte superaba las 5.000 Ha para el año 1999 y para Marzo del 2013, que fue el extremo en relación a los años estudiados, considerado como límite extremo de mínima capacidad para esta masa de agua, en la cual se tuvieron que generar decretos para la disminución o no extracción, por parte de Endesa, del recurso hídrico para la producción hidroeléctrica; y con una superficie superior a las 6.000 Ha para los años 1990, 1999 (comienzos de año), 2010 y para noviembre de 2014, lo cual es considerado como niveles críticos y que, generan como consecuencia, la escasez del recurso hídrico para la producción hidroeléctrica y, en mayor medida, para la agricultura que se desarrolla en las comunas beneficiadas por este curso de río, a través de la extracción y posterior riego.

Según la tendencia indicada (fig. 29, 30 y 31) solo el grafico entre 1999 y 2009 genera una especie de tendencia al alza en la capacidad promedio de la laguna (tomando escenarios extremos para esto), mientras que los otros dos gráficos restantes muestran una tendencia a la baja del cuerpo de agua, lo cual, a grandes rasgos, señala que ha sido constante el descenso de agua en la laguna, a pesar de las crecidas que ha presentado este en diversos años.

De su capacidad general, de 12.000 Ha aproximadas, la laguna a estado, dentro del periodo de estudio, ha estado como nivel máximo en un 83,3% (alcanzado en 1985, gracias a una superficie de 9994,3 Ha) de su máxima capacidad, y en un mínimo de un 42,8% respecto a su capacidad máxima (correspondiente al año 2013, con una superficie de 5135,6 Ha). Este último dato, muestra que los niveles máximos alcanzados fueron hace cerca de 3 décadas, mientras que los mínimos, de forma constante, se han ido acrecentando en la última década, específicamente desde finales de la década de los 90, manteniéndose constante en la década pasada (2000-2010), y sobre todo manteniendo niveles bajos históricos en los últimos 2 años.

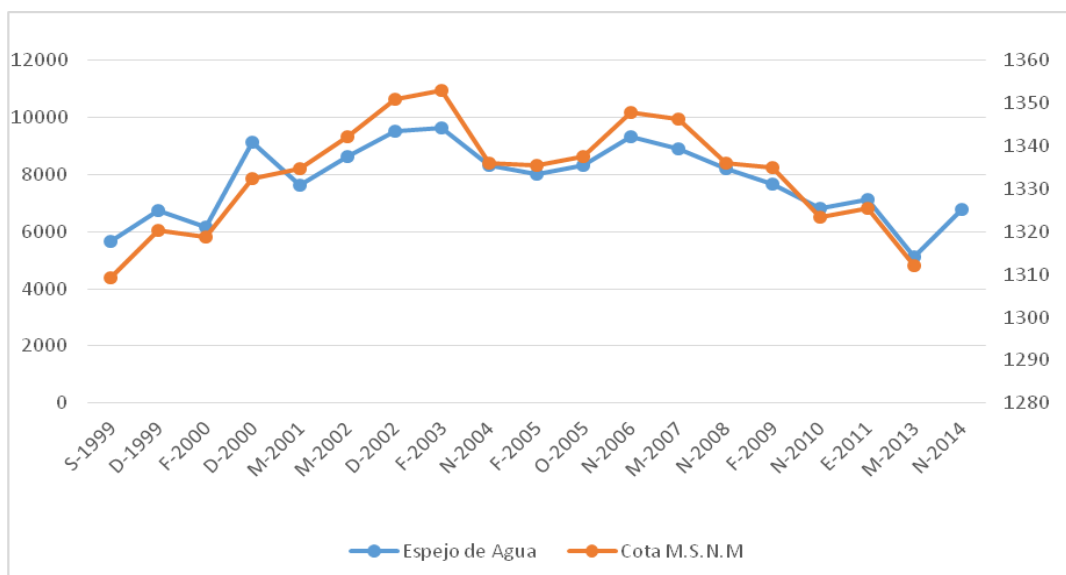


Fig. 32: Comparación espejo de agua y niveles de cota 1999-2014.

Fuente: Elaboración propia datos DGA, 2014.

En el gráfico anteriormente expuesto (Fig. 32), se muestra las diferentes variaciones entre las superficies derivadas de los cuerpos de agua de la zona de estudio y los niveles de cota registrados por CDEC-SIC, los cuales son casi concordantes, pero también existen diferencias en ciertos momentos, esto a causa de que los datos de cota son trabajados en promedio, en relación a la imagen satelital que solo registra un momento de un mes determinado, lo cual tiende a marcar esas diferencias señaladas; sin embargo, y con respecto a la tendencia, esta se denota de forma similar, es decir, las alzas y bajas correspondientes a cada mes estudiado son similares entre ambos parámetros estudiados, lo cual genera una validación de los datos utilizados para este estudio, en base a la clasificación correspondiente.

5.2 Análisis de indicadores climáticos en estaciones de la Cuenca.

5.2.1 Análisis de precipitaciones anuales estaciones para estaciones Digüillín y Caracol.

Las figuras 44 y 45, correspondientes a la Estación Digüillín y Caracol, ubicadas en la Provincia del Ñuble, Región del Biobío, son las únicas cercanas y confiables en cantidad de datos para aplicar a la zona de estudio, ya que el resto de estaciones recopiladas a nivel regional no cumplían los criterios mínimos para su análisis (falta de datos o estaciones con una antigüedad menor a los 30 años requeridos para la veracidad de la información), con lo cual, a las estaciones seleccionadas se les aplicó la fórmula de gradiente térmico, correspondiente a 0,65 °C por cada 100 metros de altura, a un nivel de 1700 m.s.n.m aproximadamente, esto último, ya que a esta altura aproximada se encuentra la Lago Laja, teniendo variaciones entre los 1400 a 1800 m.s.n.m.

En ambos casos (logra apreciarse, aplicándose el gradiente térmico, una tendencia al aumento constante de temperaturas, dependiendo del año en que se tome en cuenta para el estudio; en el caso de la estación Digüillín, esta presenta

aumentos de temperatura en promedio de hasta 1,3 °C para el periodo de 1965 a 2013, con lo cual demuestra el aumento radical de temperaturas para tal periodo; en el caso de la estación caracol, esta muestra crecimientos de temperatura con un máximo en promedio de 1,4 °C; esto genera que se demuestre que las temperaturas a este nivel de estaciones, muestren un crecimiento y tendencia constante al alza y de estancamiento en la barrera de los 6 °C o más, lo que genera un cambio en los ambientes lacustres a consecuencia de que estos son ambientes fríos, y que la isoterma 0 está variando para estas zonas de alta montaña.

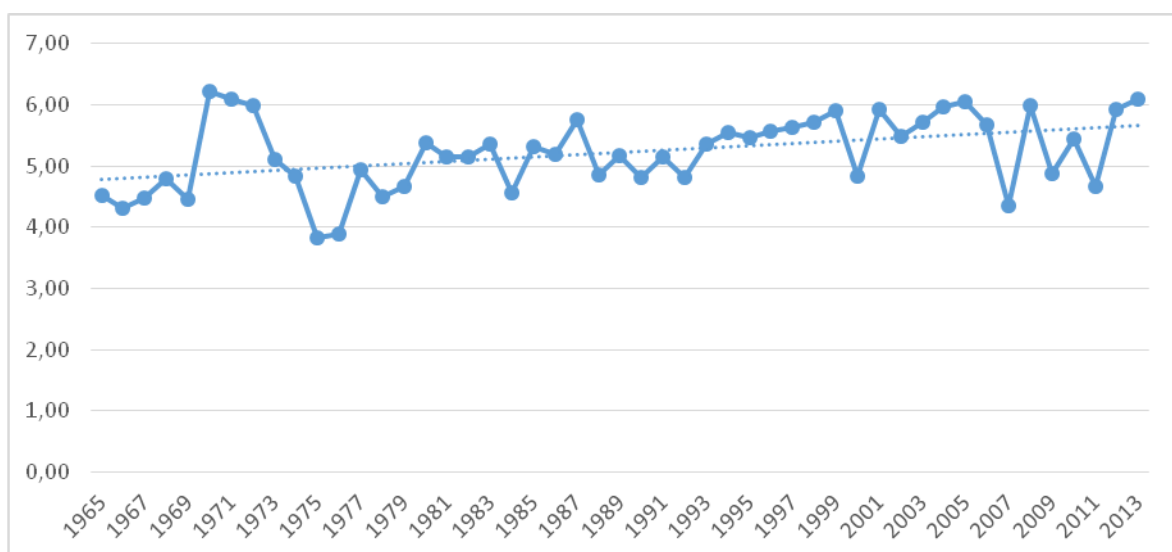


Fig. 33: Promedio de temperaturas anuales, estación Digüillín, aplicando gradiente térmico.

Fuente: Elaboración propia datos DGA-MOP

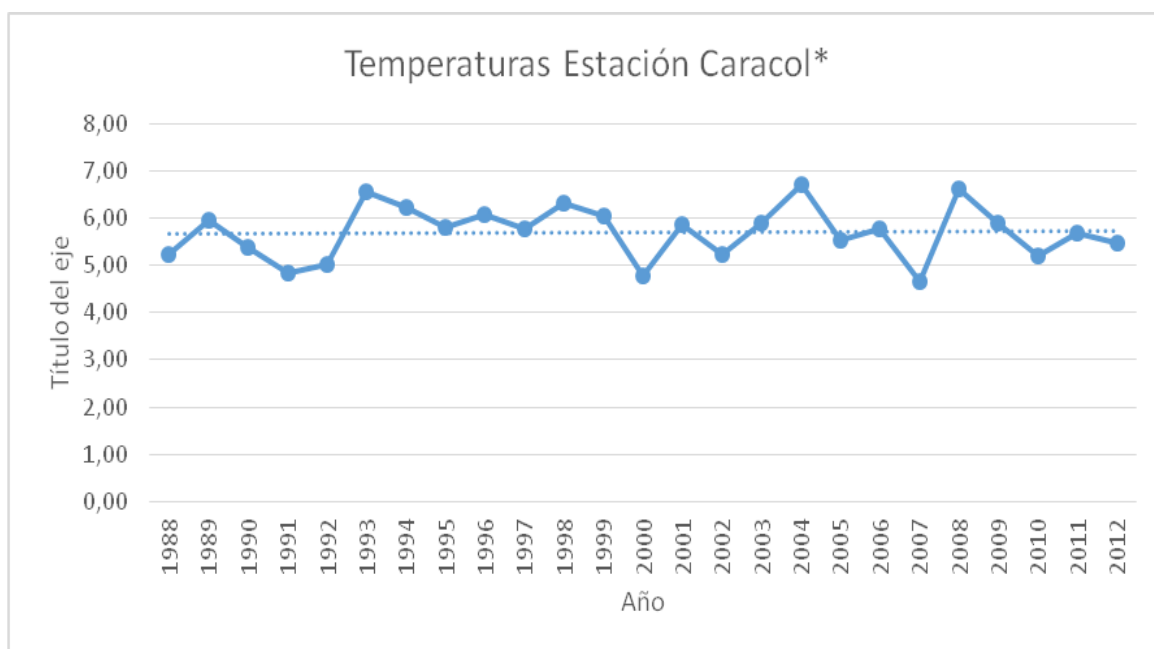


Fig. 34: Promedio de temperaturas anuales, correspondiente a estación Caracol, aplicando gradiente térmico.

Fuente: Elaboración propia datos DGA-MOP

Los cambios comienzan a notarse desde mediados de la década del 70, y se han mantenido constantes en el tiempo, sin embargo, se han dado momentos de descenso en las temperaturas, preferentemente en el año 2000 y 2008, en el cual se registraron temperaturas similares a las registradas antes de la década del 1970, por lo cual se ve un proceso leve de regresión; sin embargo, estas bajas se ven aplacadas por los aumentos drásticos y constantes que se han dado desde esas fechas a la actualidad, en la cual el aumento constante de temperaturas se mantiene y ya, para 2013, alcanzo una especie de estabilidad, según lo que registra la estación Digüillín; en cambio, la estación Caracol muestra una leve alza, pero la problemática de que no se noten estas alzas de forma más drástica es la cantidad de años de información que posee esta estación, que se encuentra operativa solo desde el año 1985 a la fecha.

5.2.2 Análisis de precipitaciones anuales estaciones Abanico y Tucapel.

En materia de precipitaciones, se trabajaron dos estaciones, una de ellas, cercana a la zona de estudio, la estación Abanico, perteneciente a ENDESA; en segundo lugar, se toma la estación meteorológica que se ubica en la provincia de estudio, y más cercana existente dentro de los registros de Endesa, la Estación Tucapel, la cual registra datos desde el año 1976 a 2013.

El análisis realizado permite observar una leve tendencia al descenso de precipitaciones en el periodo 1964-1999, (Fig. 46), en el cual se observan precipitaciones por sobre los 3000 mm anuales para 1975, mientras que el total de las precipitaciones para un año considerado normal es por sobre los 2000 mm anuales; en el otro extremo, se encuentra la escasez de lluvias, marcada en tres años: 1968 (con más de 1480 mm), 1989 (con un poco más de 1400 mm en el año) y el momento crítico según este registro, el año 1998, con lluvias que no alcanzaron los 1000 mm para ese año, indica escasez en materia de lluvias, a consecuencia de diversos fenómenos climáticos, como lo fue el fenómeno de la niña, acontecido en los años 1998-1999.

Con respecto a la segunda estación (Fig. 47), muestra una tendencia marcada al descenso, para un periodo de análisis de 1976 a 2013, en la cual, al igual que la estación Abanico, presenta momentos críticos durante diversos años, en 1998 (con un máximo de precipitaciones inferior a los 800 mm en el año), agregando los años 2007, con un poco más de 990 mm y el 2013, con casi idéntica cantidad de precipitaciones, lo cual muestra cierta concordancia en un dato (1998) en comparación con la estación Abanico, y agregando dos años que coinciden con niveles bajos del Lago: 2007 y 2013, este último, el más extremo en materia de reducción de superficie lacustre.

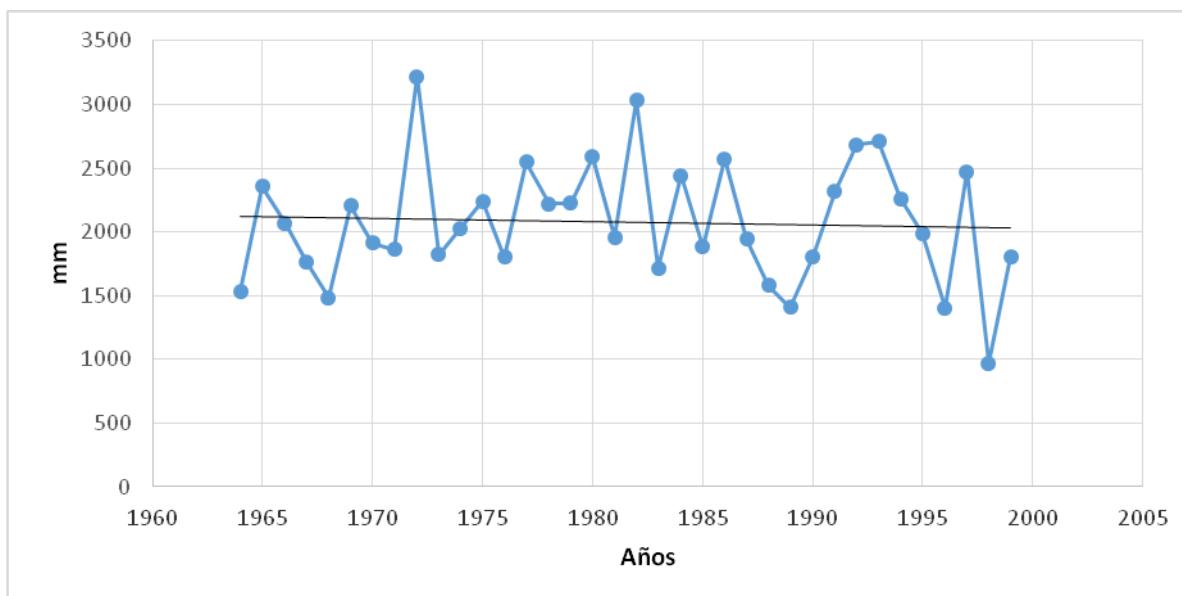


Fig. 35: Promedio de precipitaciones anuales estación Abanico 1966-1999.

Fuente: Elaboración propia datos Endesa.

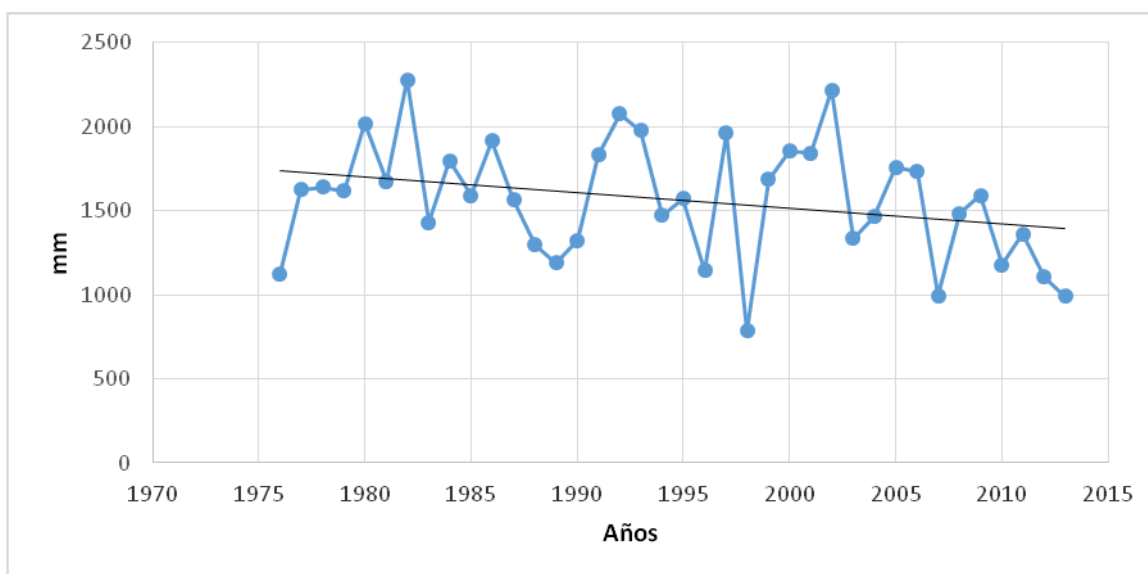


Fig. 36. Promedio de precipitaciones anuales estación Tucapel 1976-2013.

Fuente: Elaboración propia datos DGA-MOP

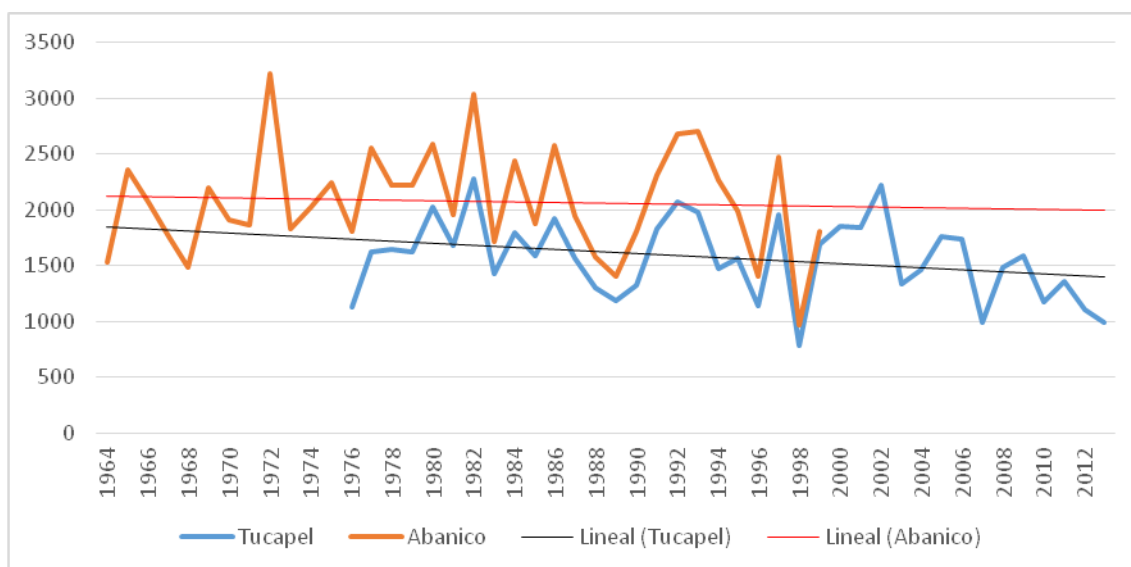


Fig. 37: Comparación precipitaciones promedio anual estaciones Tucapel y Abanico.

Fuente: Elaboración propia datos Endesa y DGA-MOP.

Por último, la figura 48, nos permite analizar similitudes en las tendencias durante los periodos de información que sean correlacionados, observándose que son similares en el periodo que ambos poseen datos, con altas y bajas similares, sin embargo, existen diferencias de hasta 300 mm de diferencia, esto es lógicamente, a causa de la diferencia de altura entre una estación y otra, pero con respecto a tendencia, podemos hablar de que son similares una de otra.

5.3 Implicancia de la entrega de concesiones de derechos de agua en la cuenca del Lago Laja.

Los derechos de agua consisten en la entrega del derecho de aprovechamiento, es un derecho real, que recae sobre aguas de dominio público y que consiste en el uso, goce y disposición de ellas, en beneficio particular, con los requisitos y en conformidad a las disposiciones establecidas tanto en la constitución, como en las leyes ahí establecidas.

Las Fig. 33 y 34 muestran la distribución espacial de los derechos de agua tanto de carácter subterráneo como superficiales concedidos en la región del Biobío, desde el año 1915 hasta el 2014, observando una predominancia en los sectores de la depresión intermedia intermedio y de la costa de la región , , los cuales denotan la sobreexplotación de los recursos existentes; muchos de estos; sobre todo hasta la década de 1960; no presentan información sobre la cantidad extraída de agua, ni tampoco han sido regularizados respecto al consumo que implica la extracción según los diferentes métodos de extracción, lo cual permite inferir que las cantidad total de agua para todo tipo de usos son desconocidos, esto como consecuencia de la poca información que se maneja de derechos antiguos o la poca fiscalización sobre los actuales y recientes derechos de agua; ante esto, no hay claridad con respecto al uso de derechos y más aún, del consumo que estos implican y sus posibles consecuencias sobre el o los cauces afectados.

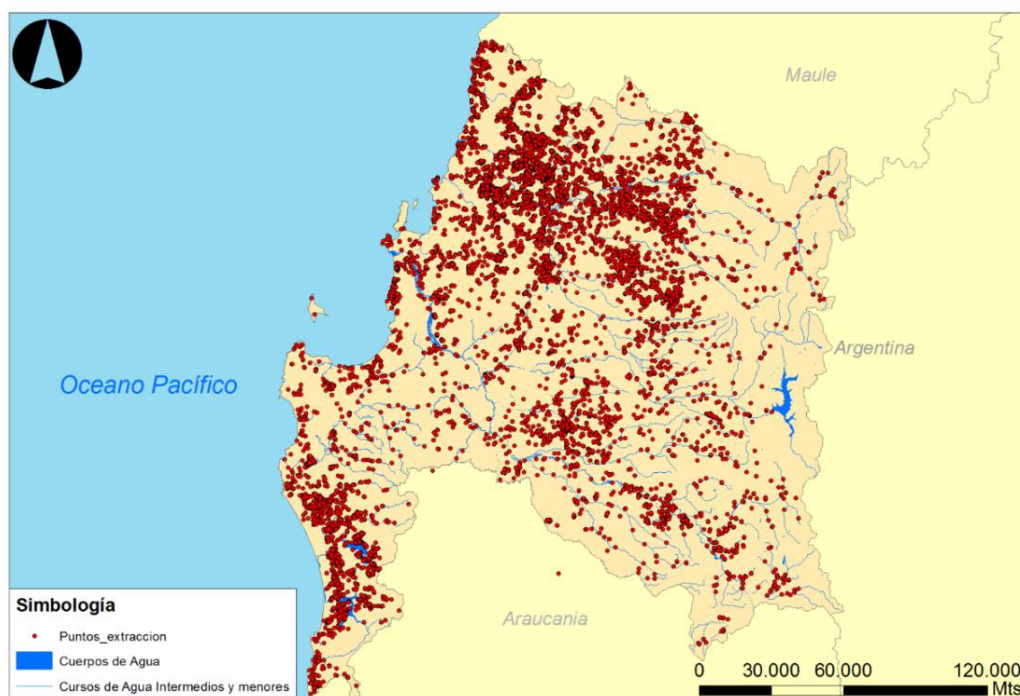


Fig. 38: Derechos de agua concedidos entre 1915 y 2014 en la Región del Biobío.

Fuente: Elaboración propia datos DGA-MOP.

Al analizar el mapa, correspondiente a la división administrativa de la Provincia del Biobío, más exactamente en la comuna de Antuco, zona en que se inserta la cuenca lacustre estudiada, muestra que la mayoría de extracciones son realizadas en zonas cercanas a ríos, o directamente al interior de estos (DGA, 2014), sin embargo, en este mapa no se encuentran la totalidad de derechos solicitados, ya que muchos de estos no se halla su ubicación exacta, como consecuencia del año de registro de estos derechos, que abarcan desde la década del 50, hasta el año 2014; además, hay zonas de extracción registradas a finales de los años 90, para la zona del Lago, sin poseer información exacta con respecto a la cantidad del recurso que es extraída desde esta fuente, aún menos certeza de las cuotas que se utilizan para la generación hidroeléctrica.

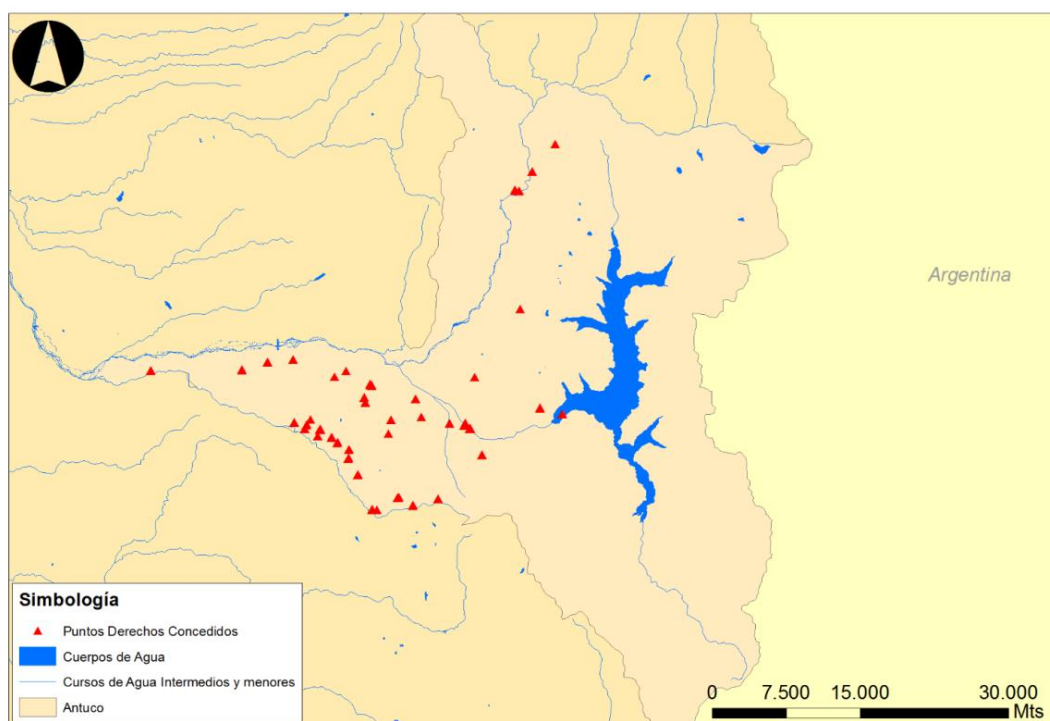


Fig. 39: Derechos de agua concedidos periodo 1915-2014 para la comuna de Antuco, Región del Biobío.

Fuente: Elaboración Propia datos DGA-MOP.

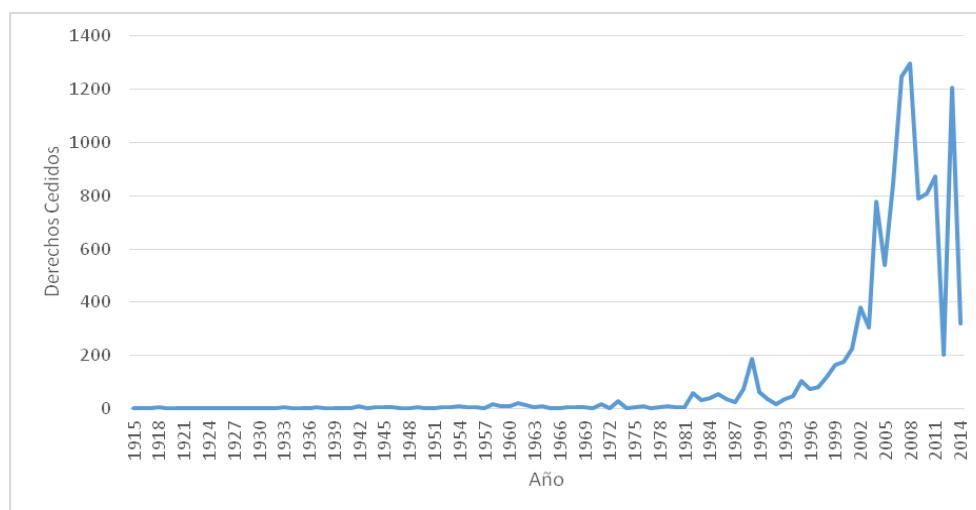


Fig. 40: Derechos de agua cedidos 1915 a 2014.

Fuente: Elaboración propia datos DGA-MOP.

La figura 35, permite apreciar la evolución de entrega de derechos de agua desde 1915, hasta 2014 para la región del Biobío, en los cuales se denota un incremento de estos desde la década del 80 (1987 en adelante), generándose una curva ascendente desde finales de la década del 90 (1999) y manteniéndose constante hasta el año 2008, con más de 1200 derechos concedidos, (anexo N°4), en el cual ocurre un descenso de estas solicitudes hasta el año 2013, en el cual aumenta drásticamente la entrega de estos derechos a niveles similares o superiores al año 2013, y que demuestran una entrega sin mucho control (solo restringido por las crisis hídricas) de estos derechos a nivel regional.

Se muestra la repartición de los derechos por comuna de la región del Biobío, para el periodo 1915-2014, (Fig. 36), en el cual se observa que la provincia con mayor cantidad de derechos entregados es la del Ñuble, con un 51% de los derechos concedidos, lo siguen las provincias de Arauco y Biobío con 20% cada una, y quedando de forma rezagada la provincia de Concepción, solo con un 9% de los derechos concedidos totales; esto hace indicar, como se señaló anteriormente, la concentración de derechos en las zonas de interior, a causa del mayor flujo hídrico existente, lo cual deriva en un agotamiento de los recursos desde antes de llegar a

la zona costera, y por lo tanto, una inequidad espacial en tema de recursos hídricos para las comunas de la Región del Biobío.

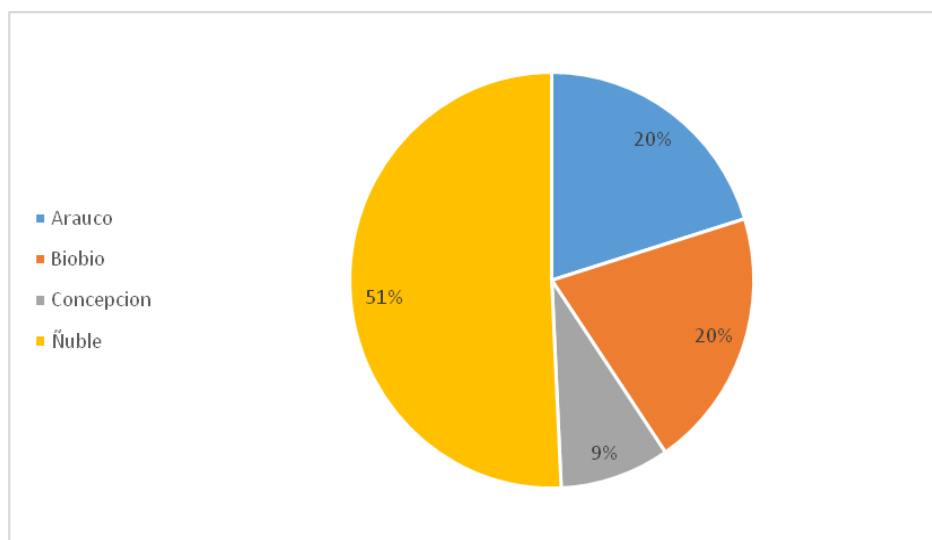


Fig. 41: Derechos de agua concedidos entre 1999 y 2014 por provincias, Región del Biobío

Fuente: Elaboración propia datos DGA-MOP.

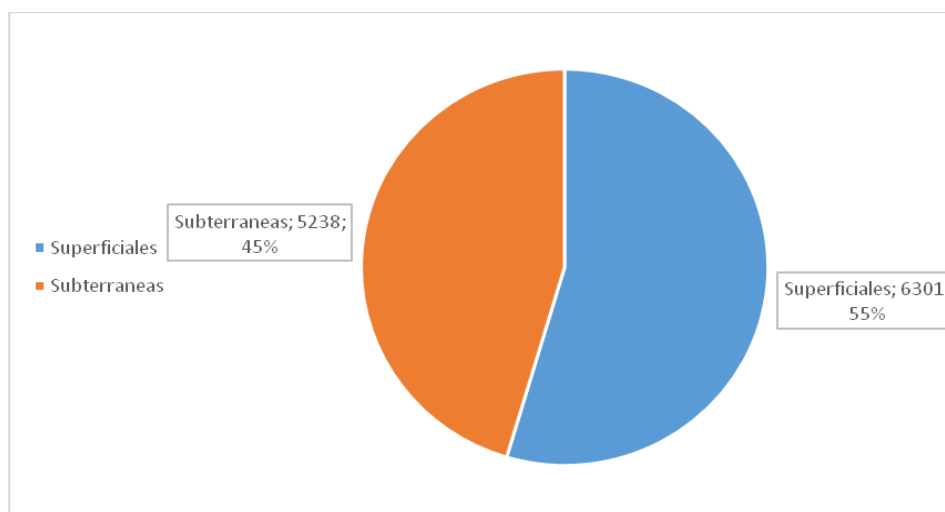


Fig. 42: Tipo de extracción derechos de aguas concedidas Región del Biobío.

Fuente: Elaboración propia datos DGA-MOP.

En lo que respecta al tipo de extracción, el gráfico (fig.37), señala que predomina la extracción superficial, por sobre la subterránea, con un 55% de los derechos (equivalente a más de 6300 derechos de agua), contra un 45% de derechos de agua de carácter subterráneo (equivalente a 5238 derechos concedidos, solo para el periodo 1915-2014), eso sí, el panorama se ve diferente al momento de generar un análisis por provincia (fig. 38), en la cual se puede apreciar la predominancia de la extracción subterránea en la provincia del Ñuble y la de Concepción, en desmedro de las otras dos comunas (Biobío y Arauco), en las cuales existe un predominio de extracción de carácter superficial, en su mayoría; en el caso de Arauco, esta es muy superior en un casi 1000%, en comparación con la provincia del Biobío, en la cual la extracción superficial es mayor que la subterránea por una diferencia aproximada de un 64%.

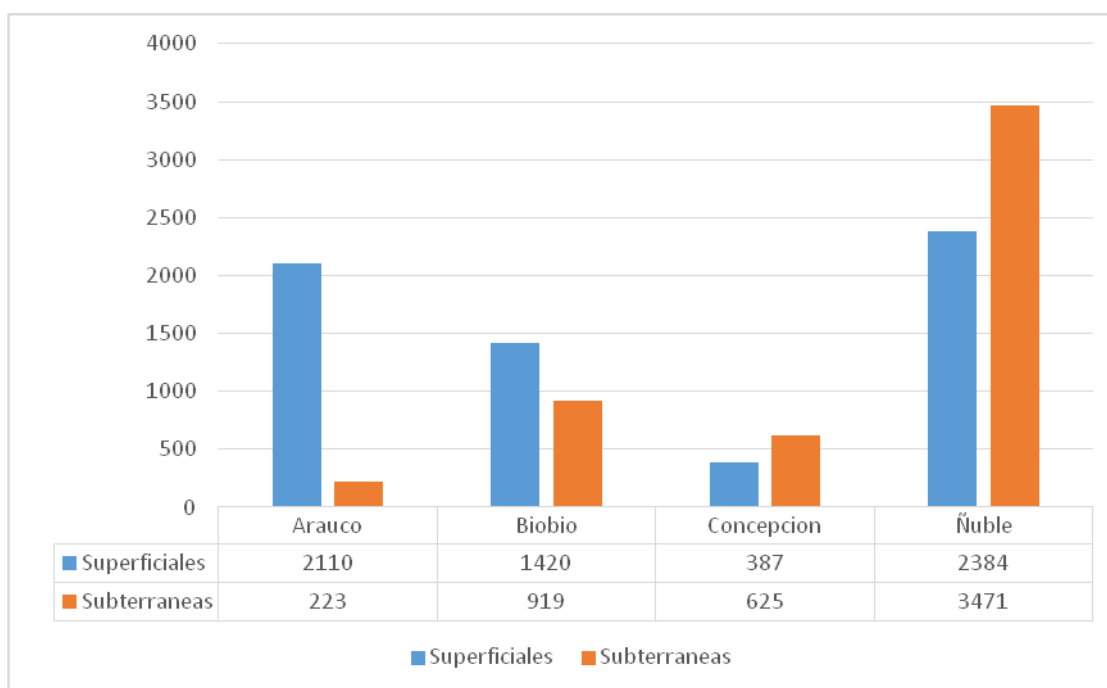


Fig. 43: Tipo de derechos de aguas concedidas Región del Biobío.

Fuente: Elaboración propia datos DGA-MOP.

A continuación se muestra otra arista, que son los derechos de agua solicitados en el periodo 1999-2014, (fig.39), los cuales son ampliamente superiores a los concedidos en cerca de 100 años (1915-2014), siendo estas del orden de más de

15.000 solicitudes, en comparación con sobre las más de 10.000 entregadas para el periodo 1999-2014, y las más de 11500 concesiones entregadas desde 1915 a 2014; en la cual cambia un poco el panorama, siendo 3 provincias predominantes en la extracción subterránea (Biobío, Concepción y Ñuble), en comparación a la comuna de Arauco, en la cual sigue predominando la solicitud de derechos de extracción superficiales en desmedro de los subterráneos; esto muestra el interés por generar una explotación mayor de las napas subterráneas, para obtener nuevos recursos hídricos en lugares donde es difícil acceder a cursos superficiales de agua, o sencillamente ante el agotamiento superficial que muestran algunas cuencas de la región del Biobío.

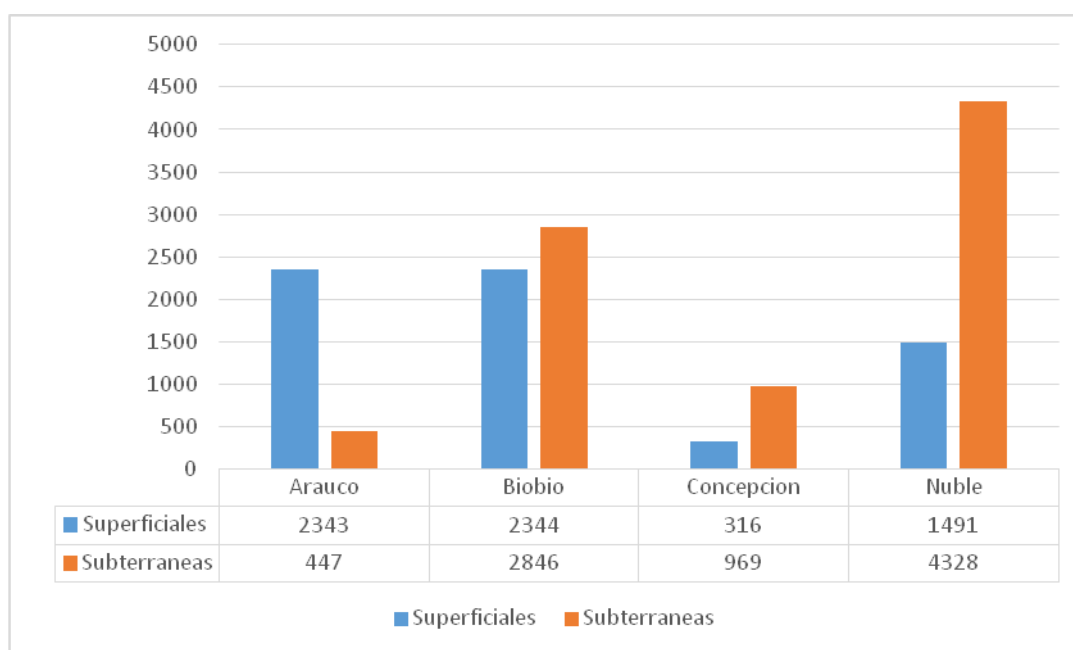


Fig.44: Tipo de derechos de aguas solicitadas Región del Biobío.

Fuente: Elaboración propia datos DGA-MOP.

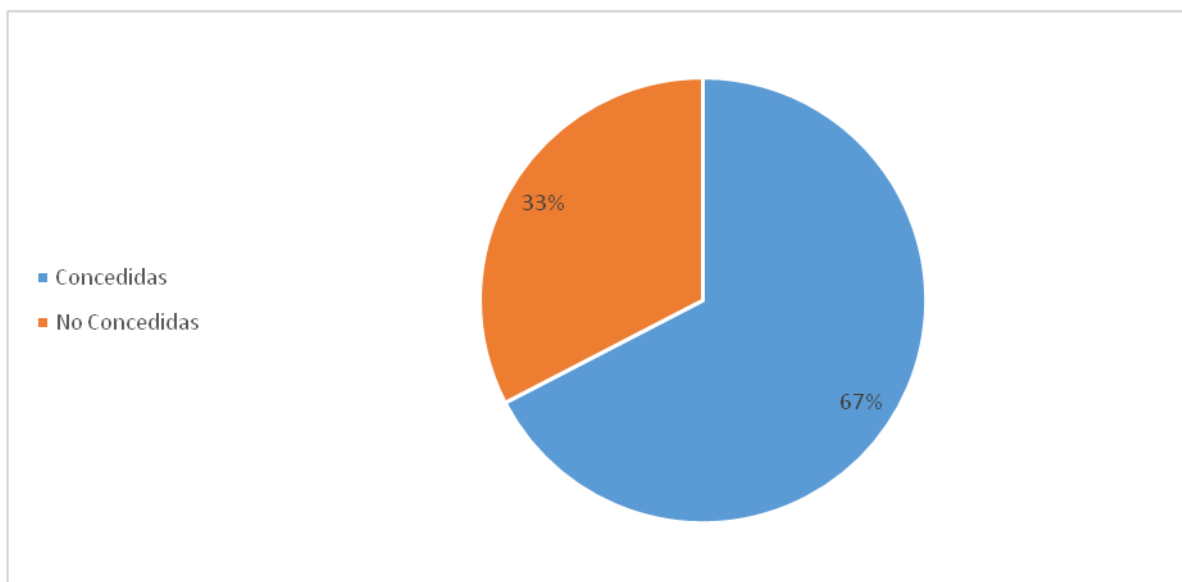


Fig.45: Derechos de agua concedidos y no concedidos Región del Biobío.

Fuente: Elaboración propia datos DGA-MOP.

En comparación, entre derechos solicitados y concedidos (fig.40), para el periodo 1999-2014, existe un 33% de rechazo de solicitudes, versus un 67% de derechos concedidos para la región, esto quiere decir, que 1 de cada 4 solicitudes puede ser rechazada, lo cual es un índice bajo en comparación a los problemas que están enfrentando las diversas cuencas por sobreexplotación del recurso hídrico.

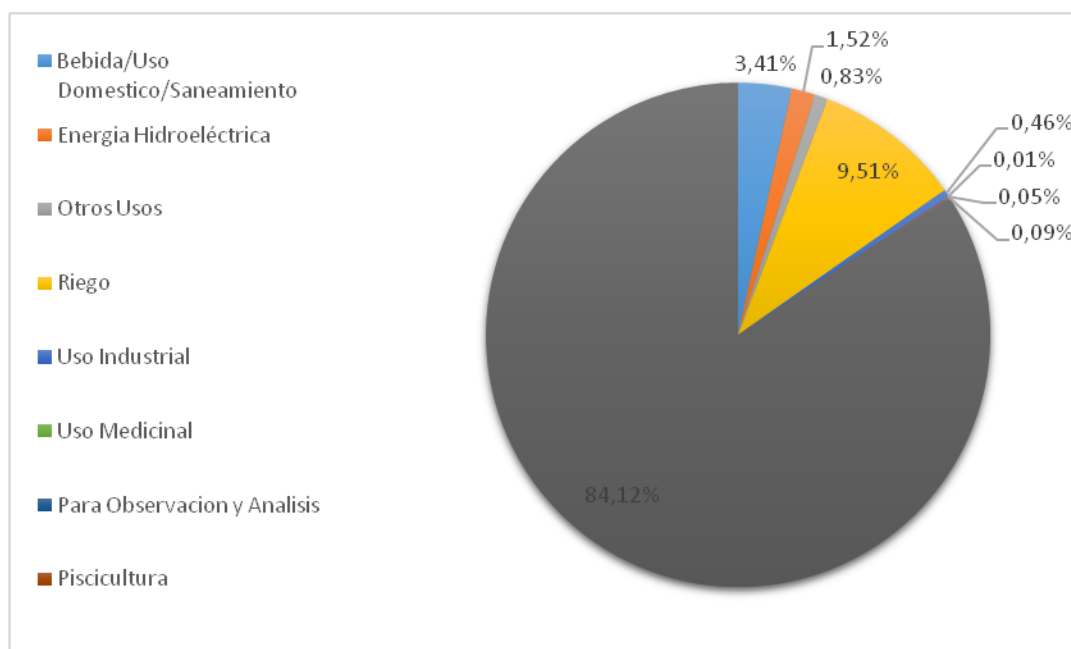


Fig. 46: Tipos de usos de derechos concedidos para Región del Biobío.

Fuente: Elaboración propia datos DGA-MOP.

En lo que se refiere al tipo de uso de los derechos de agua concedidos en la Región del Biobío (Fig. 41), se puede observar, sin contar con aquellos datos en el cual no existe información sobre su uso, un predominio de uso para regadío en la región, con más del 9% de los derechos solicitados (datos exactos en tabla anexo n°4), en segundo lugar, se encuentra el uso para saneamiento, bebida o doméstico, en el cual atañe a la población en general, dejando en tercer lugar al uso para generación de hidroelectricidad, con solo un 1,5% de los derechos concedidos; esto demuestra que a nivel macro, de región, el uso para regadío, es decir, actividad forestal y agrícola preferentemente, son las que más consumen el recurso hídrico en la región, sin embargo, al momento de entrar a estudiar la comuna que abarca la zona de estudio, este panorama cambia radicalmente, lo cual hace replantear este cuestionamiento al uso por regadío, y ver los principales usos del recurso hídrico desde el Lago del Laja.

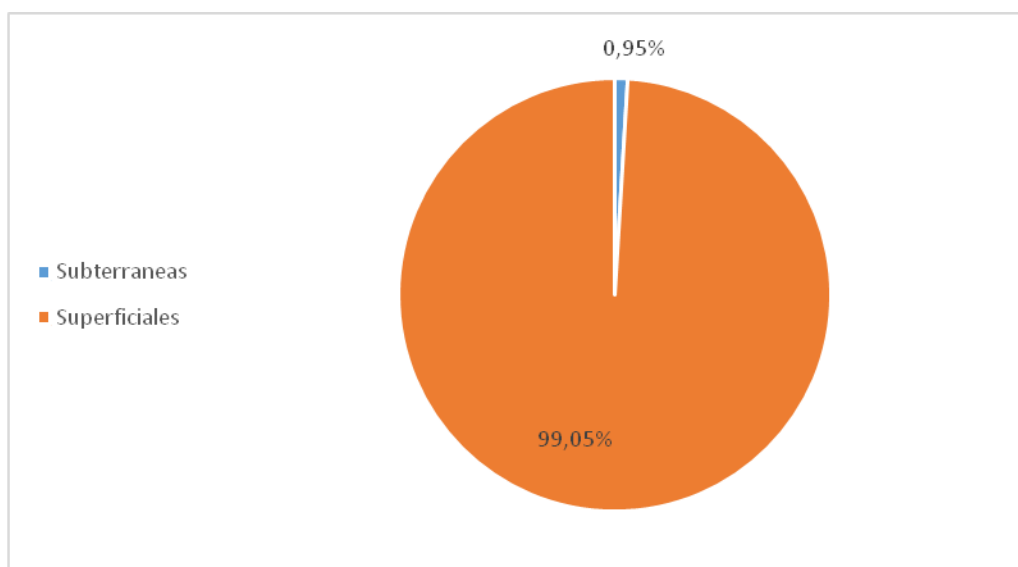


Fig. 47: Tipo de extracción de derechos de agua, comuna de Antuco.

Fuente: Elaboración propia datos DGA-MOP.

El tipo de extracción predominante en derechos de agua (fig.42), es, mayoritariamente, de tipo superficial, con más del 99% de los derechos concedidos (104 derechos contabilizados y solicitados en la zona, ver datos en tabla anexo n°5), en desmedro de los derechos de agua subterráneos, que solo alcanzan el 0,95% del total (solo un derecho de extracción subterránea), esto, para el periodo 1915-2014.

En materia de usos de estos derechos (Fig. 43), y sin contabilizar aquellos datos en los cuales no existe información sobre su uso, de los 105 derechos entregados, los actores predominantes son el uso para energía hidroeléctrica y el riego, con 9% de los derechos cada uno (sumando un total de 20 derechos aproximadamente), mientras que para el uso doméstico, solo abarca el 6%, dejando en los últimos lugares al uso industrial y otros usos, según lo que se consigna en los datos de derechos concedidos (DGA, 2014).

Esto demuestra, que hay una predominancia en materia de producción hidroeléctrica y en el uso para regadío, sin embargo, y como se debe tener en cuenta, el actor que predomina en la extracción y uso del recurso hídrico, es la

industria hidroeléctrica, ya que esta abarca desde la salida del Lago, hasta 9 km al interior, como lo señala la solicitud y concesión de derecho de agua, realizado por Endesa en 1975 (DGA, 2014):

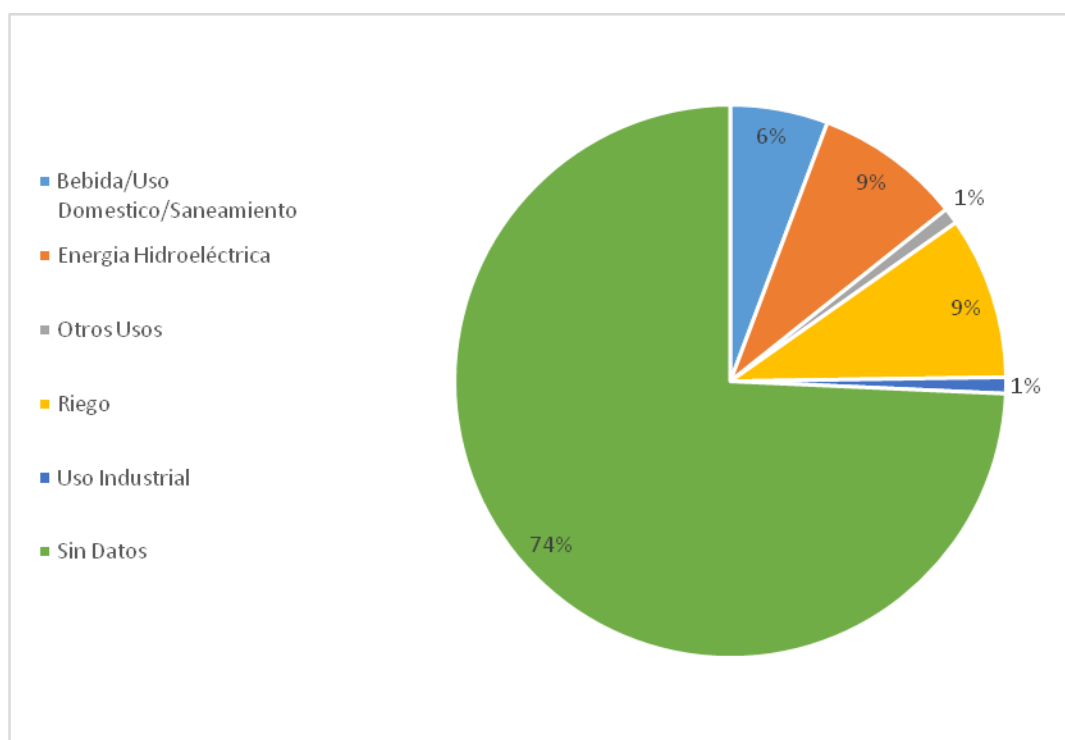


Fig. 48: Tipos de usos de derechos de agua para comuna de Antuco.

Fuente: Elaboración propia datos DGA-MOP.

“las aguas se captaran para la central el toro mediante un túnel de 9 kms. de largo que arrancará desde el lago laja en la bahía “los machos” situada al norte del desagüe superficial del lago en la provincia de Ñuble. Título perfeccionado por el 19º juzgado civil de Santiago, de fecha 04 de julio de 2007, en causa rol nº11955-2005, en el sentido de establecer que los derechos son de carácter no consuntivo, de ejercicio permanente y continuo, de aguas superficiales corrientes y detenidas del lago laja, provincia de Ñuble”.

Mientras tanto, la asociación de Canalistas del Laja, que solicito derechos recién en el año 1984, solicita desde aguas más abajo para la extracción superficial, con

el fin de obtener recursos hídricos para diversos usos, principalmente el riego (DGA, 2014):

"las aguas se captaran gravitacionalmente mediante bocatoma del canal laja ubicada en la ribera izquierda del rio laja a unos 400 metros. aguas arriba del puente del camino los Ángeles a Tucapel sobre dicho rio, en un lugar denominado "el Peñón".

5.4 Variaciones promedio anuales de las Cotas de nivel Lago del Laja

Durante el periodo de estudio (1985-2014) se pudo recopilar información que hace referencia a las variaciones de cotas durante, esta indagación generada gracias a los datos obtenidos desde CDEC-SIC, posee una doble utilidad: en primer lugar, apreciar diferencias existentes en estos niveles durante el periodo correspondiente y, en segundo lugar, generar diversas comparaciones con respecto a si existen coincidencias entre las variaciones en materia de precipitaciones y las variaciones de las cotas del lago, lo cual aportaría de forma relevante al análisis final de esta investigación.

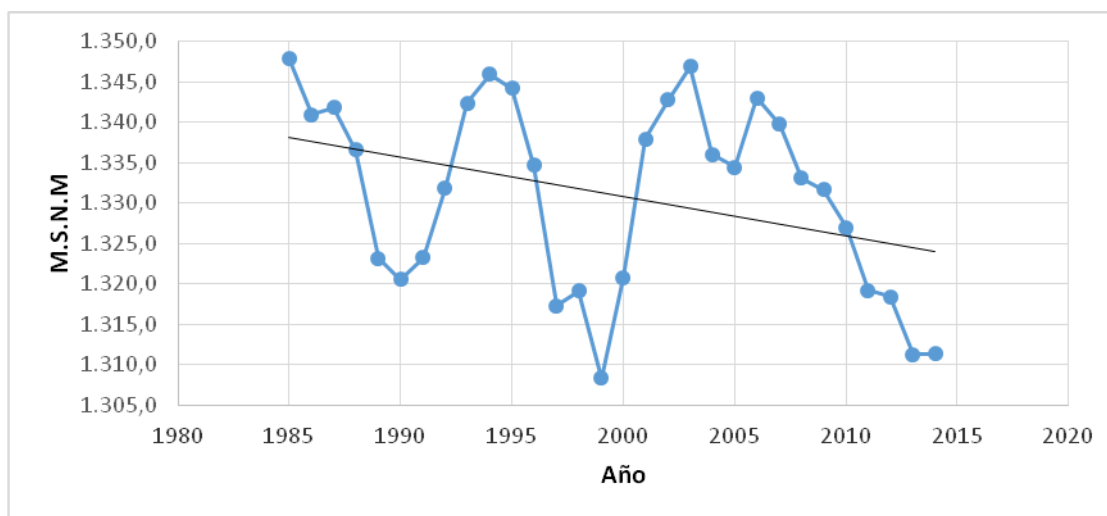


Fig. 49: Variaciones promedio de cotas de inundación del Lago Laja 1985-2014.

Fuente: Elaboración propia datos CDEC- SIC.

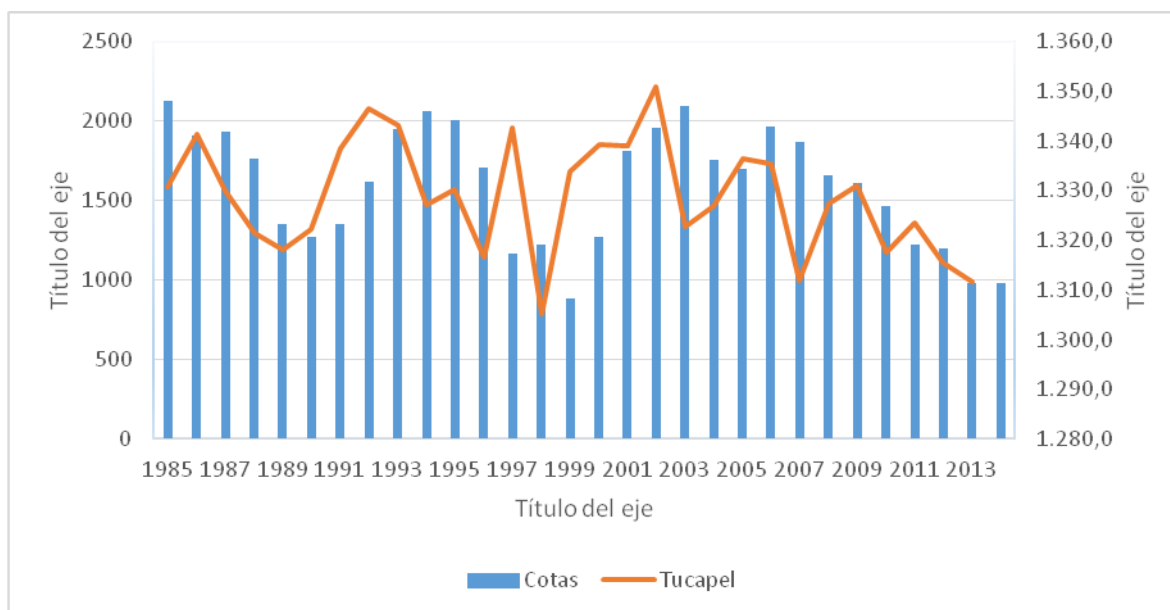


Fig. 50: Comparación cotas promedio y precipitaciones anuales 1985-2014

Fuente: DGA-MOP y CDEC-SIC

Se puede observar las diferentes variaciones existentes en el periodo 1985-2014 (fig. 49), en el cual se muestran grandes diferencias para el periodo estudiado, alcanzando máximos cercanos a los 1350 m.s.n.m en los años 1985 y 2003 (1348 y 1346 m.s.n.m, respectivamente), los cuales se podrían considerar casi óptimos para este cuerpo de agua; sin embargo, también logramos observar el otro extremo, los niveles mínimos, registrados en 1999 (1308 m.s.n.m) y en los años 2013 y 2014 (1311 metros para ambos años), en comparación a que el mínimo de funcionamiento es una cota cercana a los 1305 m.s.n.m (DGA, 2012); esto indica que el lago, de por sí, es un elemento vulnerable ante cambios climáticos, y por sobre todo, a alteración por parte de acción antrópica, como en este caso se da, por la intervención de Endesa en el sector.

En segundo lugar, se genera la comparación (fig. 50), en la que se toman los datos de las cotas para el periodo 1985-2014, y la estación Tucapel, la cual validamos en el proceso anterior;, se puede señalar que es casi concordante las

precipitaciones con los niveles de cota, inclusive generando reservas en caso que los niveles de lluvia no alcancen niveles máximos, como los registrados en 1992, por ejemplo; sin embargo, se denotan diferencias en la recuperación de este cuerpo de agua, como lo ocurrido en 1999, en la cual fue un periodo de gran cantidad de lluvias, pero el Lago presentaba niveles bajos, inclusive peores que lo acontecido para el fenómeno de la niña, en 1998, la cual provoco escasez de lluvias; esto demuestra la tardanza en recuperarse de este cuerpo de agua ante las variaciones climáticas, y por sobre todo y como se ha venido señalando, ante la acción antrópica en el sector.

Se puede observar, a su vez, que el constante descenso en las precipitaciones en los últimos años, ha generado la tendencia de disminución en el cuerpo de agua en forma paralela, lo cual genera dudas respecto a que sucederá si se sigue incrementando esta tendencia de disminución de precipitaciones.

Pero no solo para la generación hidroeléctrica se utilizan las aguas de este cuerpo lacustre, según señala Mardones (2005), El uso del agua ha llegado a ser particularmente competitivo en la cuenca del Laja (Región del Biobío), originándose crisis en la gestión del recurso hídrico, particularmente en los años con déficit pluviométrico. El territorio de esta cuenca está sujeto a un uso múltiple: contiene el 32,8% (996 MW) de la potencia hidroeléctrica instalada, el 10% (81804,97ha) de la superficie agrícola y el 40% (460287,95 ha) de la superficie forestada del país (INE, 2000).

Hay que tomar en cuenta, a su vez, que el agua llega a la cuenca de dos formas, la primera a través de forma natura, por el lago Laja y artificialmente por el uso hidroeléctrico. El lago tiene 33 km. de longitud, un ancho medio de 3 km, una profundidad media de 75 m con respecto a la cota de 1.368 m y una superficie aproximada de 851 km². El caudal medio de la hoya afluente al lago es de 66.6 m³/s y el caudal medio efluente de 60 m³/s. La descarga del lago se realiza por la bocatoma de la Central Hidroeléctrica El Toro con un caudal medio anual de 39,6

m³ s, además del drenaje subterráneo en su frente, producto de la naturaleza volcánica del suelo, con un caudal medio anual de 27 m³/s; estas filtraciones se concentran en los Ojos del Laja localizadas 3 km al Oeste del frente lacustre. El lago Laja puede almacenar un volumen máximo cercano a los 7.500 millones de m³, lo que le atribuye el carácter de un embalse multianual. Con fines hidroeléctricos es posible utilizar 4.000 millones de m³, volumen que permite realizar transferencias interanuales de energía, independizando la producción del régimen de afluentes. El volumen útil para la generación de hidroelectricidad está almacenado entre las cotas 1.310 y 1.368 m.s.n.m. En casos extremos, se permite su uso bajo la cota 1.310 m.s.n.m.

5.5 Análisis de índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) y temperatura superficial en el área de estudio.

5.5.1 El índice de vegetación

El índice de vegetación de diferencia normalizada, permite aparte de ver el estado de la vegetación existente dentro de la zona de estudio, generar la separación con otras cubiertas de suelo existentes dentro de un espacio geográfico, en este caso, muestra de forma interesante las diferencia de vegetación y otras superficies tales como arenas volcánicas o cuerpos de agua. En el caso del NDVI, mostramos a continuación cartografías generadas en base al cálculo de las diferentes bandas (en este caso, según landsat 8 OLI, del periodo 2013-2014, las bandas 4 y 5) se presenta los siguientes parámetros o clasificaciones para mostrar las diferencias en la zona de estudio:

- Zonas más oscuras ($NDVI < 0$), correspondiente a aguas o cubiertas artificiales, de color rojo
- Zonas oscuras ($0 < NDVI < 0,2$), correspondientes a suelos desnudos o vegetación muerta, de color naranja
- Zonas ni oscuras ni claras ($0,2 < NDVI < 0,4$), correspondiente a vegetación dispersa o poco vigorosa, color amarillo

- Zonas claras ($0,4 < NDVI < 0,6$), correspondiente a vegetación abundante y vigorosa, verde claro
- Zonas más claras ($NDVI > 0,6$), correspondiente a vegetación muy densa y vigorosa, verde oscuro

Como se puede observar, en las figuras 51 a 54 estas son elaboradas tomando en consideración dos estaciones climáticas, verano e invierno, en las cuales se observan diferentes cambios que serán explicados a continuación:

- Imágenes de verano: Correspondientes a marzo de 2013 y febrero de 2014, las zonas rojas indican sectores de agua, arenas volcánicas y nieve, en los cuales no existe vegetación, y que muestran capas inertes o infértiles para el caso de estudio; las zonas naranjas muestran la existencia, en este caso, de zonas de suelos desnudos, los cuales pueden ser comparados con las cartografías presentadas con anterioridad, las zonas en amarillo, hacen referencia a vegetación poco vigorosa o dispersa, la cual no es abundante cerca de fines de marzo, por los cambios de estación, y en febrero, en ciertos lugares colindantes con los suelos desnudos; en último caso, las zonas en verde claro indican vegetación abundante y vigorosa, las cuales pueden ser comparadas con las diversas clasificaciones, como fue señalado con anterioridad, esto se marca en los meses de enero y febrero, y no tan así a finales de la temporada estival, en las cuales van en vías de desaparecer ante la disminución de temperaturas y el aumento de precipitaciones o de agua nieve.

Fig. 51: Índice de vegetación de diferencia normalizada, Marzo 2013

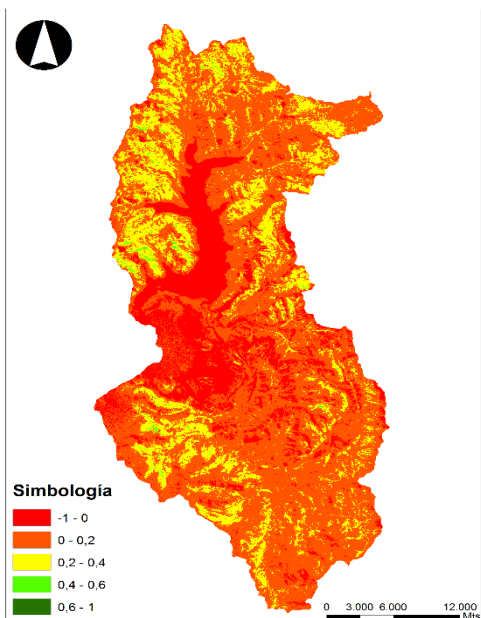


Fig. 52: Índice de vegetación de diferencia normalizada, Agosto 2013

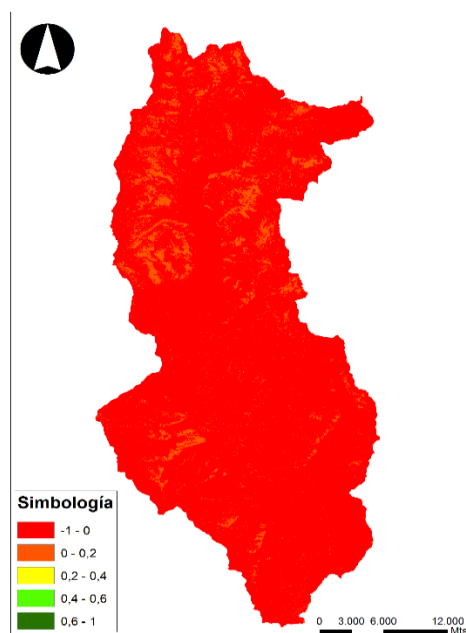


Fig. 53 Índice de vegetación de diferencia normalizada, Febrero 2014

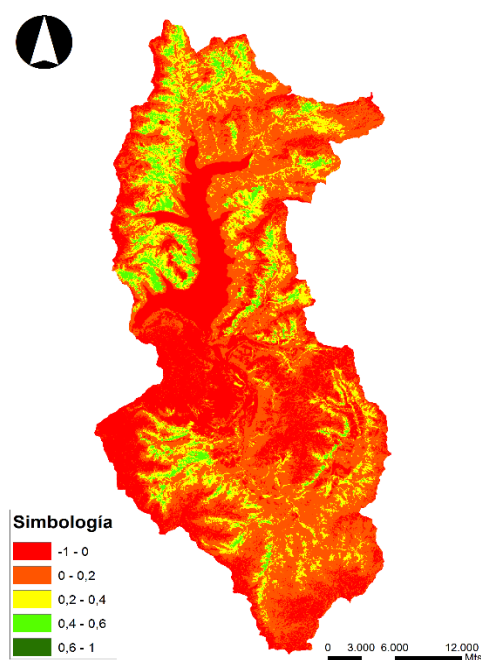
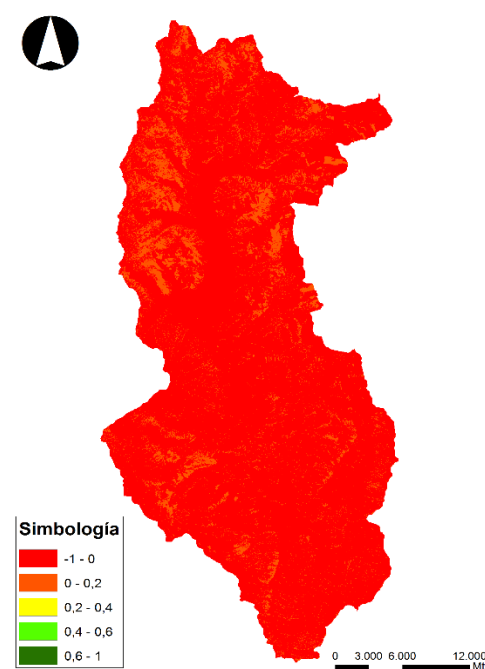


Fig. 54: Índice de vegetación de diferencia normalizada, Junio 2014



Fuente: Elaboración propia datos Landsat 8 2013-2014

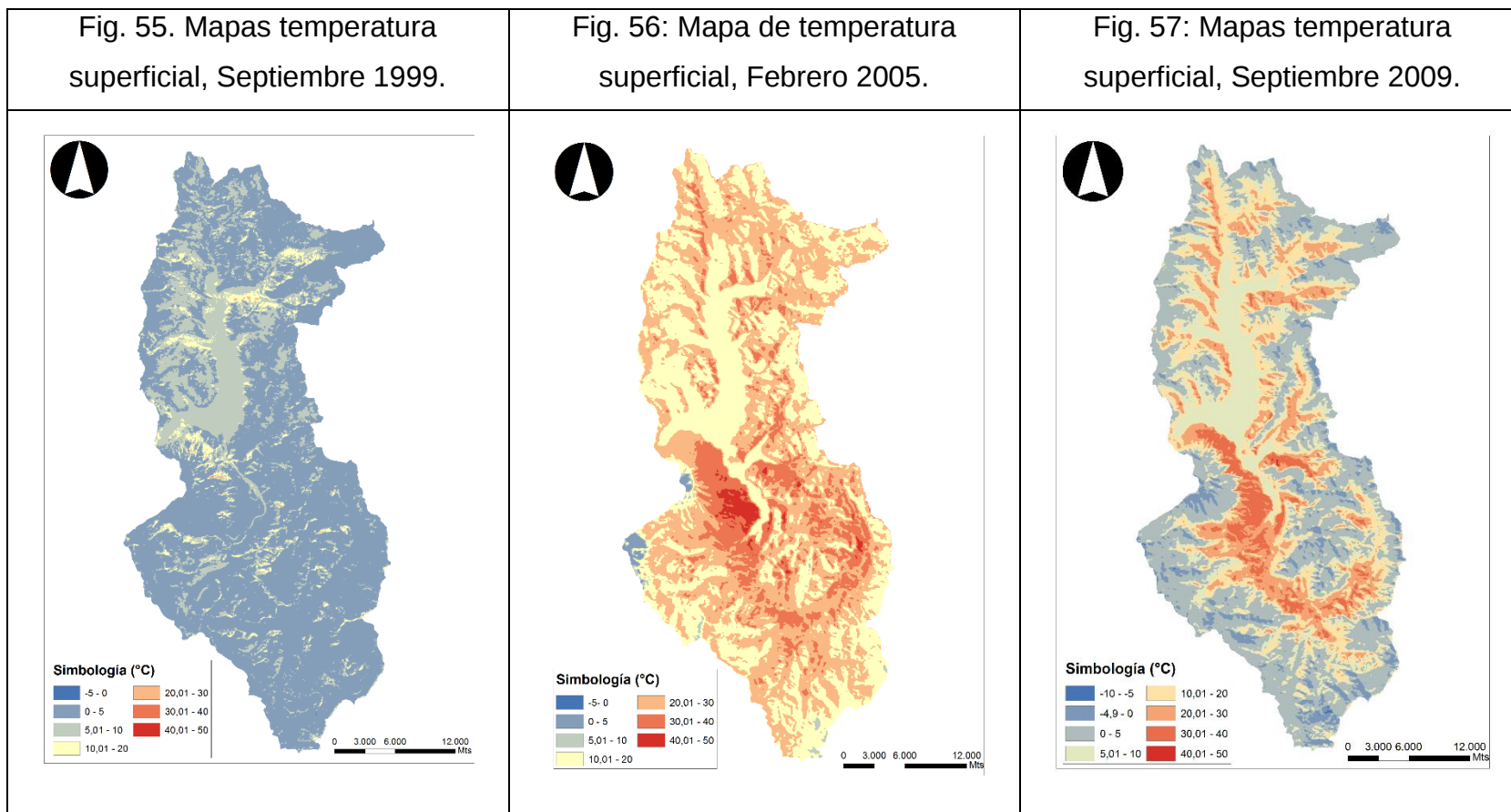
- Imágenes de invierno: Correspondientes a Agosto de 2013 y Junio de 2014, muestran solo dos umbrales: zonas rojas, en su mayoría, por la cubierta de nieve existente en la zona, consecuencia de la estación en la cual se genera la visualización ndvi, y por la superficie en la cual se emplaza el cuerpo de agua, que, como señalamos al comienzo de este apartado, se marcan de por sí de este color por la inexistencia de vegetación, temperaturas, entre otros factores; en segundo lugar, se encuentra las zonas de color naranja, en pequeñas porciones, esto a causa de pequeños sectores de suelos desnudos en esta época, las cuales son visibles en las imágenes satelitales y que demuestran que no es uniforme la cubierta de nieve en estos sectores.

5.5.2 Análisis Térmico.

Las imágenes de las figuras 55 a 60, muestran cartografías resultantes de análisis térmicos de diferentes espectros de temperatura superficial, según estación y época, por ejemplo, las que se encuentran en meses cercanos al verano (Febrero, Marzo, Septiembre, Octubre, Noviembre), muestran zonas de gran captación de calor, que corresponden a zonas donde se encuentran arenas volcánicas, con temperaturas que alcanzan entre los 40° Ca sobre los 60°C en épocas de más de alta temperatura, en cambio, las zonas de azul oscuro muestran temperaturas entre los -10°C y 5°C , en los cuales, preferentemente se concentran las zonas nevadas o de glaciares, la zona del cuerpo de agua principal, maneja temperaturas entre los 15 y 20 °C, en casi todas las imágenes, esto se debe a que el cuerpo de agua actúa como especie de climatizador, es decir, de regulador térmico; su influencia se ve en las zonas cercanas a esta, nivelando la temperatura, eso sí, las zonas sur de este cuerpo de agua, se ve en diferencia de temperatura, dependiendo del nivel que se encuentre, si es bajo, la zona del sur, supera fácilmente los 20°C, lo cual genera una aceleración de la evotranspiración de esta superficie, ayudando en menor medida a la disminución del cuerpo de agua; en cambio, cuando este se extiende hacia el sur, las

temperaturas varían cercano al umbral de los 15°C a 17°C, lo cual no afecta en mayor medida al cuerpo de agua..

Con respecto a esto último, y dependiendo la época en la cual fue generada, por ejemplo, las que se encuentran en meses cercanos al verano (Febrero, Marzo, Septiembre, Octubre, Noviembre), muestran zonas de gran captación de calor, que corresponden a zonas donde se encuentran netamente arenas volcánicas, con temperaturas que alcanzan entre los 40°C a sobre los 60°C grados en épocas más de alta temperatura, en cambio, las zonas de azul oscuro muestran temperaturas entre los -10°C y 5°C, en los cuales, preferentemente se concentran las zonas nevadas o de glaciares, la zona del cuerpo de agua principal, maneja temperaturas entre los 15°C y 20 °C, en casi todas las imágenes, esto se debe a que el cuerpo de agua actúa como especie de climatizador, es decir, de regular temperaturas en este sector, lo cual su influencia se ve en las zonas cercanas a esta, nivelando la temperatura, eso sí, las zonas sur de este cuerpo de agua, se ve en diferencia de temperatura, dependiendo del nivel que se encuentre, si es bajo, la zona del sur, supera fácilmente los 20 grados, lo cual genera una aceleración de la evo transpiración de esta superficie, ayudando en menor medida a la disminución del cuerpo de agua; en cambio, cuando este se extiende hacia el sur, las temperaturas varían cercano al umbral de los 15 a 17 °C, lo cual no afecta en mayor medida al cuerpo de agua en cuestión.



Fuente: Elaboración propia.

Fig. 58: Mapas de temperatura superficial, Febrero 2013.

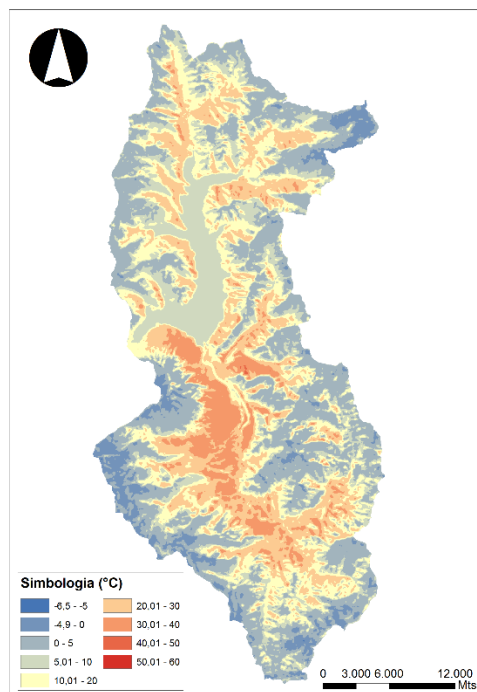


Fig. 59: Mapas de temperatura superficial, Marzo 2014.

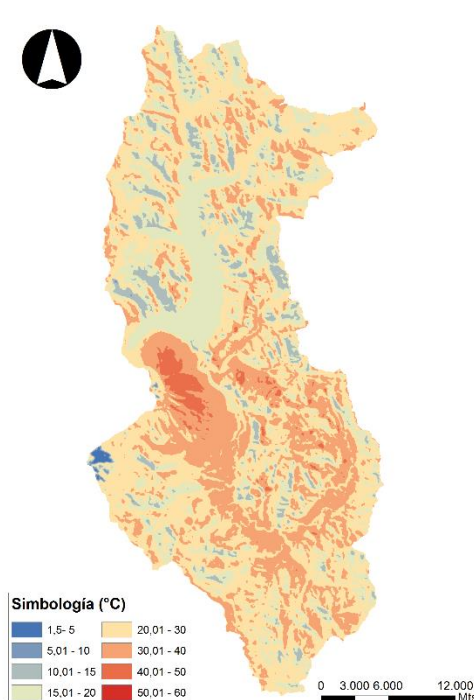
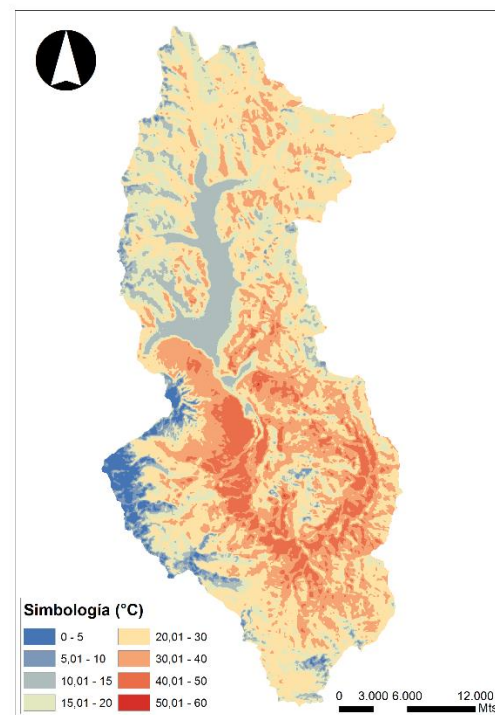


Fig. 60: Mapas temperatura superficial, Noviembre 2014



Fuente: Elaboración propia

VI. CONCLUSIONES

6.1 Conclusiones de la investigación

La investigación realizada nos permitió llegar a las siguientes conclusiones:

El cuerpo de agua del lago del Laja (Espejo de Agua) ha sufrido diversas variaciones desde el año 1976 a 2014, presentándose crisis hídricas en los años 1998 y 2013, llegando en este último año a un nivel que alcanza a superar las 5.100 Ha, el cual fue el nivel más crítico que alcanzo, al momento de analizar y realizar el estudio.

La tendencia de variaciones marca un descenso constante, acentuado para el periodo 1976-1999 y para el periodo 2009-2014, mientras que se marca una tendencia al alza para el periodo 1990-1999; sin embargo, en este último periodo se vivió una de las mayores sequias específicamente, pero de la cual se vio reflejada en el cuerpo de agua un año después (Septiembre de 1999).

En lo que respecta a los coberturas de suelo existentes dentro de la zona de estudio, se puede observar que las coberturas que presentan ganancia ante el retroceso del Lago son las correspondientes a Arenas Volcánicas y, en menor medida, los suelos rocosos; esto se debe a que la parte sur del lago, se encuentra en una zona de conos de arenas negras, las cuales quedan al descubierto ante retrocesos drásticos del Lago, y al descender el nivel del lago, se encuentran sectores en zonas de existencia de roca volcánica y que, a su vez, se encuentran cubiertos por el cuerpo de agua; esto, al igual que el primer caso, queda descubierto al descender verticalmente el Lago.

La entrega de derechos de agua, en la cuenca y en la comuna en la cual se encuentra inserta la cuenca del lago Laja, la comuna de Antuco, tiene derechos concedidos de agua de tipo superficial en un 99%, esto, para aprovechar mejor

las aguas que surgen tanto del Lago, como de otros cursos superficiales cercanos dentro de estos derechos de agua, los predominantes son para uso de producción hidroeléctrica y para riego, sumando entre ambos un 20% de los derechos totales para la comuna.

Existe un aumento progresivo de los derechos de agua concedidos, de 10.000 derechos de agua entregados entre 1999 y 2014, mientras que, para el mismo periodo, las solicitudes alcanzaban a más de 15.000.

En cuanto a la variable temperatura es posible concluir que existe un aumento relevante de las temperaturas de entre un 1,3°C y 1,6°C para el periodo entre 1965 a 2014; además, se demuestra que las temperaturas han tenido una escalada constante desde la década del 70, hasta la actualidad, a excepción del año 1999 y el año 2008. Con respecto a las precipitaciones, marcan una tendencia al descenso, llegando a niveles críticos en los años 1999 y 2013, llegando a niveles inferiores a los 1000 mm, en comparación con otros años, en los cuales la media era cercana a los 1500 mm e inclusive, cercana a los 2000 mm.

Con respecto al análisis NDVI y de temperatura superficial, el primer concepto demuestra que existe un crecimiento o desarrollo de zonas de vegetación nativa o renoval solo en época estival, y un gran territorio en el cual solo hay coberturas de suelos desnudos; el tipo de vegetación, según estos índices, hace referencia a dos: vigoroso y a vegetación dispersa dentro del sector de estudio, el primero haciendo hincapié que recibe menos reflexión por parte del suelo, al estar concentrada y ser absorbida por la clorofila existente entre estas zonas, en segundo lugar, la vegetación dispersa muestra zonas en donde se presenta menor vegetación, lo cual permite generar la radiación desde la superficie, además de en otras no existir vegetación alguna, por lo cual se ve reflejados la banda visible roja; en cambio, en la temporada de invierno, la capa de nieve que cubre al sector, impide el desarrollo de vegetación, y a lo más existen sectores de suelos desnudos, en menor cantidad en comparación para temporadas estivales; Para el

caso de las temperaturas superficiales, muestra que el cuerpo de agua central no varía drásticamente en sus temperaturas, alcanzando variaciones de entre los 15 a 20 °C en verano, y entre 5 a 10 °C en invierno, siendo este elemento a su vez, un regulador de temperaturas para el sector de estudio que se ve aplacado ante los constantes descensos de este cuerpo de agua, además se puede observar la concentración de temperaturas en ciertos sectores, es decir, temperaturas bajas ante la existencia de zonas totalmente cubiertas de nieve, que alcanzan temperaturas desde bajo cero (entre -10 y -5°C, según el sector de muestra) hasta los 5 °C en época de verano, y la concentración de temperaturas cálidas en sectores de arenas volcánicas, estas varían desde los 40 a los 60 °C, generando cambios en la sensación térmica del lugar; en caso del invierno, y al estar cubiertas de nieve, estas capas pierden esos niveles de temperatura, a niveles cercanos o bajo a 0 °C.

A pesar de generar instancias tanto a nivel nacional (parque nacional, protegida y administrada por CONAF, como de organismos a nivel internacional (como el caso de Unesco y el corredor biológico), la zona en que se encuentra el Lago es un sector desprotegido dentro de una muralla protectora, es decir, se protege más el sector en el que se encuentran los diferentes tipos de vegetación, glaciares o coberturas de nieve, entre otros, que la superficie en la cual se encuentra el espejo de agua, esto se puede constatar ante las diferentes variaciones o alteraciones que ha sufrido el espejo ante el transcurso de los años; ante esto, deben proponerse medidas tales como la fiscalización, el establecimiento de cuotas de extracción o directamente la protección del espejo de agua sin alterar el curso o flujo normal que proviene desde el Lago, ante esto, la fiscalización a los túneles de extracción que surten de materia prima a las centrales hidroeléctricas es uno de los primeros pasos, para así generar otros de mayor complejidad que deriven como elemento prioritario en la protección y cuidado de este cuerpo de agua, en desmedro de actividades económicas que impactan de forma grave a este sector.

6.2 Limitaciones

Las principales limitaciones del desarrollo de este trabajo de fin de master se refieren a la obtención de la información de base se puede señalar que si bien las entidades de gobierno han estado en constante actualización de plataformas, estas se vuelven algo complicadas al momento de seleccionar y bajar la información, inclusive arrojando estaciones o errores en estas, y no generando un orden según la información disponible y los años que abarca esta información, ya que a veces se señala que existe información de un año x, para después observar que no alcanza a llegar a tales límites.

Con respecto a los derechos de agua, existe una problemática interesante: hay derechos inscritos en otras comunas, y los cuales no tienen registro de cantidad de agua a extraer o lugar de ubicación de estos, esto a causa de la antigüedad de algunos de estos títulos; en segundo lugar, se encuentra el tema de restringir la entrega de derechos, ya que, como se pudo apreciar, en los últimos años ha aumentado de forma constante con pequeños descenso, lo cual hace pensar en proponer medidas para evitar la concentración aún mayor de derechos de agua, por sobre todo empresas que solicitan estos beneficios y limitan a gente común y corriente a obtener estos beneficios, que generan un impacto menor en comparación con estos grandes corporaciones.

6.3 Aportes del Proyecto

Este proyecto, tiene como fin generar una visión para la protección ambiental y paisajística de zonas degradadas por actividades económicas, las cuales solo piensan en el fin económico como eje central, sin tomar en cuenta la variable de protección y cuidado de ciertos sectores para la generación de una herencia medioambiental, esto quiere decir, que no se genera un elemento de protección para que generaciones futuras disfruten y la generación actual genere conciencia sobre estos elementos que traen beneficios a la población común, estos beneficios se enmarcan en reservas de agua para producciones que no generen un alto daño

e impacto a este tipo de superficies , y traigan consigo una mayor diversidad de sectores donde poder apreciar y mantener, sin el predominio del hombre a estos sectores.

Además, este proyecto busca fomentar las bases para un estudio más detallado y constante de estos sectores de alta montaña, y generar discrepancias a lo que nos muestran datos oficiales o de parte de privados, los cuales, para la protección de estos conglomerados, suelen tener errores en la información o ser alterados, para beneficio de estos.

VII. BIBLIOGRAFIA

1. Abdón Luis y Meza Francisco, 2008: “Cambio climático: consecuencias y desafíos para Chile”; Centro interdisciplinario de Cambio Global (CICG-UC), Santiago, Chile.
2. AIDS Chile, 2014: “Capítulo Chileno de la Asociación Interamericana de Ingeniería sanitaria y ambiental”, Santiago, Chile.
3. Banco mundial, 2004; “Agricultura y Clima Futuro en América Latina y el Caribe: Impactos Sistémicos y Posibles Respuestas”; Banco Mundial, Santiago, Chile.
4. Banco Mundial, 2011: “Chile: Diagnóstico de la gestión de los recursos hídricos”; Departamento de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible.
5. Biobio, la Radio, 2013: “Aguas Andinas explica motivos por los que cortaron suministro a 2 millones de usuarios en Santiago”; extraída desde <http://www.biobiochile.cl/2013/01/22/aguas-andinas-supuesta-responsabilidad-de-aes-gener-en-aluvion-debera-ser-investigada.shtml>
6. CDEC-SIC, 2014, “Informe de estado de cotas y niveles de embalses y Lagunas”, Sistema interconectado central, Santiago, Chile
7. CDEC-SIC. (2000). Base de datos. Sistema hidroeléctrico del Laja y producción de energía eléctrica. Periodo 1948-1999. Centro Económico de Despacho de Carga - Sistema Interconectado Central; Santiago, Chile
8. Centty Deymon, 2011; “Manual metodológico para el investigador científico”, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Arequipa, Perú.
9. Cepal, 2012: “La economía del Cambio climático en Chile”, Naciones Unidas, Santiago, Chile.
10. Chuvieco Emilio, 1998: “Fundamentos de la Teledetección Espacial, 3ª Edición”, Ediciones Rialp, Madrid, España.
11. Ciper, 2013: “Cómo se fraguó la insólita legislación que tiene a Chile al borde del colapso hídrico”, extraído desde:

- <http://ciperchile.cl/2013/12/12/como-se-fraguo-la-insolita-legislacion-que-tiene-a-chile-al-borde-del-colapso-hidrico/>
12. Ciper, 2014: “La batalla por el derecho a la propiedad que se avecina con la reforma al Código de Aguas”; extraído desde: [“http://ciperchile.cl/2014/08/13/la-batalla-por-el-derecho-a-la-propiedad-que-se-avecina-con-la-reforma-al-codigo-de-aguas/](http://ciperchile.cl/2014/08/13/la-batalla-por-el-derecho-a-la-propiedad-que-se-avecina-con-la-reforma-al-codigo-de-aguas/)
 13. CONAMA, 2007: “Estudio de la variabilidad climática en Chile para el siglo XXI”, Departamento de Geofísica, Facultad de Ciencias físicas y matemáticas, Universidad de Chile, Santiago, Chile.
 14. Cumbre Celac, 2014: “Declaración especial sobre cambio climático y gestión integrada de riesgo de desastre”, Comunidad de estados Latinoamericanos y Caribeños, La Habana, Cuba.
 15. Devynck J. 1970. Contribución al estudio de la circulación atmosférica en Chile y el clima de la región de Biobío. Departamento de Geofísica. Universidad de Concepción.
 16. DGA, 2014; “Informe sobre derechos de Agua concedidos y solicitados”, Dirección general de aguas, Santiago, Chile.
 17. DGA, 2014; “Informe de temperaturas estación Digüillín 1965-2014”, Dirección General de aguas, Santiago, Chile
 18. DGA, 2014; “Informe de temperaturas estación Caracol 1985-2014”, Dirección General de aguas, Santiago, Chile
 19. DGA, 2014; “Informe de Precipitaciones estación Tucapel 1976-2014”, Dirección General de aguas, Santiago, Chile.
 20. FAO, 2000: “Cambio Climático: El impacto en la agricultura y los costos de adaptación”, Washington D.C, Estados Unidos.
 21. Frene Cristian, Núñez Mariela, 2010: “Hacia un nuevo modelo forestal en Chile”, Revista Bosque Nativo, Valdivia, Chile.
 22. García Juan Carlos, 2011: “El mosaico de las regiones de Montaña”, Universidad de Cantabria, Cantabria, España.
 23. IEB Chile, 2014: “Aguas en Chile: Diagnostico en 4 territorios y propuestas para enfrentar la crisis hídrica”, IEB-Unión Europea, Santiago, Chile.

24. IPCC, 2014: “Cambio climático 2014: Impactos, adaptación y vulnerabilidad – Resumen para responsables de políticas. Contribución del Grupo de trabajo II al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea y L.L. White (eds.)]”. Organización Meteorológica Mundial, Ginebra, Suiza.
25. IPCC, 2013: “Resumen para responsables de políticas. En: Cambio Climático 2013: Bases físicas. Contribución del Grupo de trabajo I al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático” [Stocker, T. F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex y P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido y Nueva York, NY, Estados Unidos de América.
26. Jaque Edilia, Díaz Patricio, 2014: “Escases Hídrica, Conflicto Ambiental Y Modificaciones De Paisaje En Sistemas Lacustres De Alta Montaña De Chile Central”, Universidad de Sao Paulo, Brasil.
27. Mardones, María; Vargas, José; “Efectos hidrológicos de los usos eléctrico y agrícola en la cuenca del río Laja; Revista de Geografía Norte Grande; 2005, Concepción, Chile.
28. Mardones María y Jaque Edilia. 1991. "Geomorfología del Alto Valle del Laja". Anales del Primer Congreso de Ciencias de la Tierra. IGM 1991.
29. Ministerio de Energía, 2014. “Agenda de Energía: Un desafío país, progreso para todos”, Ministerio de Energía, Santiago, Chile.
30. Ministerio del Medio Ambiente, 2011: “2° Comunicado nacional ante la convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio climático”, Santiago, Chile.
31. Ministerio del Medio Ambiente, 2014; “Plan de adaptación al Cambio Climático”, Oficina de Cambio Climático, Santiago, Chile.

32. MOP, 2013: “Minuta de reforma al Código de Aguas”, Ministerio de obras Públicas, Santiago, Chile.
33. MOP declara zona de escasez hídrica Cuenca del río Laja. Recuperado el 25 de Agosto de 2014, de:
<http://www.dga.cl/noticias/Paginas/DetalladeNoticias.aspx?item=284>.
34. ONU, 2014: “Agua y Energía: Resumen Ejecutivo, Informe de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos en el mundo”, Perusa, Italia.
35. Ortiz Nidia, Pérez Uriel, 2009: “Imágenes Aster en la discriminación de las áreas de uso agrícola en Colombia”, Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín, Medellín, Colombia.
36. Sampieri Roberto, 1997: “Metodología de la Investigación”; McGraw-Hill, Bogotá, Colombia.
37. “Imágenes Satelitales Landsat 5, 7 y 8”, USGS Earthexplorer, 2014, Extraída desde explorer.usgs.gov
38. Valdovinos, Claudio; Parra, Oscar; “La cuenca del Río Bio bío”; Publicaciones Centro Eula; Universidad de Concepción, 2006; Concepción, Chile.
39. Conflictos por el agua: El caso de El Laja. Recuperado el 27 de Agosto de 2014, de <http://eldesconcierto.cl/conflictos-por-el-agua-el-caso-de-el-laja/>.

VIII. ANEXOS

Anexo 1. Datos coberturas de suelo del Área de estudio.

Año/Uso de Suelo	Cuerpos de Agua	Arena Volcánica	Renovales/ Nativos	Suelos Desnudos	Nieve	Roca Volcánica
1986	9130,49	10162,74	18045,46	29996,99	2720,97	26851,26
1989	7291,73	11724,37	16882,44	37516,72	1204,74	22286,99
1990	6813,02	10042,83	15302,34	38053,97	728,66	25808,03
S-1999	5666,00			4244,79	86844,61	
D-1999	6741,56	8383,27	10614,94	34949,29	3658,49	32563,67
F-2000	6160,24	6801,38	8678,10	27485,13	21586,16	26198,82
D-2000	9149,50	8415,37	11697,93	50828,58	4496,36	12320,72
M-2001	7628,81	10707,39	15373,43	36879,02	814,67	25503,91
M-2002	8649,13	11642,12	16797,30	41027,30	680,15	18112,76
D-2002	9513,68	7876,19	12502,62	45747,73	21267,38	
F-2003	9646,66	9293,03	12502,00	38547,98	1625,67	25294,52
N-2004	8319,65	9572,52	8178,26	53420,00	6271,35	11150,17
F-2005	8032,62	10697,44	15131,93	34333,01	809,46	27904,83
O-2005	8343,15	7151,25	15574,85	35466,54	30372,28	
N-2006	9321,55	10401,82	6837,54	53740,24	16613,06	
M-2007	8894,48	13240,68	17319,43	44815,87	985,29	11653,25
N-2008	8201,01	9765,33	10893,73	45855,58	5891,95	16299,59
F-2009	7663,17	10414,80	15619,61	50211,43	489,85	12510,43
N-2010	6812,28	8260,33	8551,72	49591,21	12978,13	10718,21
E-2011	7135,77	9953,30	14672,11	44276,41	2482,08	18392,24
M-2013	5135,60	15675,15	12193,14	36869,46	5411,03	21622,83
N-2014	6793,73	11139,25	8009,08	54390,58	7874,51	8700,37

Fuente: Elaboración propia

Anexo 2. Derechos de agua concedidos por Provincia, según tipo de extracción.

Provincia	Superficiales	Subterráneas
Arauco	2343	447
Biobío	2344	2846
Concepción	316	969
Nuble	1491	4328
Total	6494	8590

Anexo 3. Derechos de agua solicitados por Provincia, según tipo de extracción.

Provincia	Superficiales	Subterráneas
Arauco	2110	223
Biobío	1420	919
Concepción	387	625
Ñuble	2384	3471
Total	6301	5238

Anexo 4. Tipo de uso de los derechos de agua concedidos por Provincia

Provincia	Bebida/Uso Doméstico/Saneamiento	Energía Hidroeléctrica	Otros Usos	Riego	Uso Industrial	Uso Medicinal	Observación y Análisis	Piscicultura	Sin Datos
Arauco	34	35	20	153	19	1	0	0	2073
Biobío	218	94	36	197	21	0	6	9	1760
Concepción	20	6	13	21	7	0	0	1	944
Ñuble	122	41	27	727	6	0	0	0	4936
Total	394	176	96	1098	53	1	6	10	9713

Anexo 5. Tipos de uso de los derechos de agua solicitados en la Comuna de Antuco.

Bebida/Uso Doméstico/Saneamiento	6
Energía Hidroeléctrica	9
Otros Usos	1
Riego	10
Uso Industrial	1
Sin Datos	78

Anexo 6. Temperatura Estación meteorológica Digüillín 1965-2014.

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1965	9,01	9,79	10,14	4,46	1,85	3,29	-0,97	-0,48	0,61	2,75	6,91	7,08
1966	9,75	9,18	7,61	5,03	3,82	-0,51	-0,29	-0,58	2,75	2,85	6,23	5,94
1967	9,31	9,09	9,07	6,55	2,17	-2,45	-1,29	-0,48	0,93	3,56	6,96	10,50
1968	10,94	10,00	7,26	5,45	3,84	0,35	0,67	1,26	3,20	1,66	6,62	6,35
1969	10,33	8,50	8,17	5,07	2,46	-0,65	-0,53	-0,09	1,47	2,06	5,99	10,71
1970	10,33	12,01	9,64	8,34	3,15	0,81	1,85	1,51	3,76	4,97	8,66	9,63
1971	10,04	11,96	9,21	4,85	5,35	0,60	2,91	0,81	3,08	7,27	8,72	8,48
1972	12,26	12,74	8,30	6,29	3,89	3,17	0,04	0,82	3,04	2,76	7,29	11,46
1973	11,10	10,10	8,61	5,94	3,78	0,26	-0,42	0,44	2,28	3,07	6,79	9,26
1974	9,44	9,70	6,86	6,01	2,07	0,04	-1,28	1,18	3,14	5,92	6,19	8,76
1975	11,97	9,35	7,81	4,44	2,40	0,23	-0,84	-0,85	0,46	1,77	2,95	6,38
1976	7,27	7,59	5,35	3,90	1,98	0,13	-0,84	0,39	2,41	3,33	7,01	8,20
1977	10,24	8,85	9,16	5,14	4,33	0,79	-1,78	-0,18	2,63	4,81	5,71	9,64
1978	10,36	10,85	7,44	7,29	3,97	0,36	0,81	-1,95	-0,09	1,29	5,20	8,59
1979	9,69	8,84	6,58	4,16	2,70	-0,08	1,67	1,26	1,30	4,13	6,57	9,11
1980	12,18	10,37	9,79	3,33	2,66	1,57	0,96	1,53	2,67	4,43	6,05	9,20
1981	9,22	10,42	9,47	5,77	2,68	1,04	0,65	1,29	2,21	3,79	6,33	9,16
1982	10,99	9,15	8,88	6,32	3,46	-0,04	0,56	2,14	2,60	2,15	5,16	10,60
1983	11,94	10,75	8,34	5,16	1,25	-0,88	-0,58	1,50	1,24	5,37	8,81	11,50
1984	11,04	9,35	8,56	5,66	0,52	-1,61	0,29	0,30	2,72	3,71	5,42	8,97
1985	10,30	10,43	8,38	3,37	3,46	3,25	0,44	1,04	2,75	3,51	7,78	9,36
1986	10,06	10,10	7,90	4,22	2,31	0,29	2,23	1,19	2,52	7,00	5,04	9,59
1987	11,69	12,33	10,38	5,53	1,21	1,65	0,46	1,01	2,05	4,80	8,42	9,61
1988	9,99	12,80	8,58	5,81	1,79	0,44	0,32	-0,33	1,07	2,56	6,99	8,38
1989	11,27	11,48	8,03	5,56	2,87	1,48	-0,03	-0,44	2,49	4,35	7,10	7,96
1990	10,56	10,46	8,59	4,79	1,73	1,55	-0,19	2,42	2,49	3,43	5,81	6,28
1991	10,10	11,21	8,69	5,42	3,26	1,30	0,09	1,23	2,91	4,31	6,52	6,83
1992	12,64	9,57	9,65	3,88	1,15	-0,91	-1,16	2,64	3,01	3,22	6,66	7,41
1993	11,34	11,87	10,53	5,33	0,40	1,52	0,40	2,17	2,01	4,43	5,40	9,09
1994	11,83	10,56	10,42	5,62	3,06	1,37	0,23	-0,15	3,11	3,94	6,77	9,95
1995	10,41	10,19	8,44	6,20	5,02	1,04	-1,94	-0,32	3,26	3,92	6,97	12,34
1996	10,19	10,78	8,69	4,08	2,90	1,23	2,72	1,45	3,83	4,08	7,61	9,33
1997	10,67	11,39	10,63	7,51	4,06	0,31	1,52	3,15	2,34	2,51	5,87	7,60
1998	9,27	9,50	8,94	5,44	4,41	1,85	1,13	1,44	2,39	6,44	7,36	10,36
1999	11,72	10,77	8,20	6,37	4,51	1,68	0,92	2,37	2,20	4,06	7,43	10,67
2000	10,31	9,06	7,70	5,29	2,75	0,94	-0,43	0,98	1,31	4,30	6,74	9,21
2001	10,86	12,06	9,56	5,66	2,70	0,60	0,88	1,79	1,66	5,85	6,96	12,56
2002	11,51	12,79	8,83	5,60	3,96	0,92	1,66	1,35	1,63	3,42	5,32	8,87
2003	10,62	10,26	11,68	6,05	2,11	2,90	0,11	1,87	2,57	5,08	6,55	8,90

Análisis de cambio en la cuenca del lago Laja.

2004	12,59	13,40	11,19	6,35	2,45	1,00	0,69	1,04	3,99	3,63	6,40	8,85
2005	11,46	14,21	8,62	7,33	0,39	0,69	1,86	1,45	2,92	4,93	8,63	10,25
2006	12,14	12,63	8,75	7,20	4,00	1,88	0,73	1,30	2,84	3,32	6,06	7,32
2007	11,34	10,14	9,13	4,46	2,21	-0,54	-2,35	-2,81	0,81	2,63	8,02	9,31
2008	12,59	13,36	10,03	6,15	4,15	0,18	0,54	0,34	3,05	4,02	7,09	10,38
2009	12,51	11,52	10,79	8,27	2,90	0,27	-2,84	0,82	0,90	2,84	2,29	8,25
2010	11,80	10,11	10,41	6,45	2,14	1,83	-1,77	1,03	2,67	5,22	8,18	7,26
2011	11,36	11,36	8,71	6,05	4,75	1,78	-1,72	-2,08	1,14	1,95	4,73	8,02
2012	13,94	13,50	12,15	7,31	5,60	1,29	-1,08	-1,99	0,60	4,03	8,44	7,36
2013	13,78	11,22	9,07	6,56	2,83	1,43	1,41	1,22	2,09	4,93	7,25	11,36
2014	11,97	10,64	8,01	3,90	2,13	0,36	-0,09	2,32				

Anexo 7. Temperatura estación Caracol 1988-2012.

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1988	10,40	12,24	9,03	6,09	2,75	0,81	-0,82	-0,20	1,34	4,47	7,64	9,11
1989	11,84	11,46	9,31	6,75	3,10	1,58	0,82	0,47	3,30	5,49	8,15	9,39
1990	11,62	10,24	8,30	5,04	1,92	1,85	-0,01	2,73	2,13	4,82	6,52	9,58
1991	9,99	10,64	8,39	5,09	2,48	1,20	-0,66	1,02	2,86	4,58	6,40	6,17
1992	11,50	10,11	9,22	3,76	0,09	-1,64	-1,83	2,61	3,61	5,37	8,32	9,27
1993	12,54	13,46	10,90	5,78	-0,11	0,55	-0,55	4,37	5,64	7,52	8,66	10,10
1994	12,54	11,24	11,23	6,45	3,17	1,03	1,06	2,21	3,85	5,14	7,28	9,73
1995	10,95	11,18	9,28	6,35	4,96	0,63	-2,25	0,23	4,42	4,41	7,19	12,26
1996	11,35	11,62	9,58	4,28	3,70	1,10	2,45	1,30	4,35	5,08	8,11	10,03
1997	11,70	11,94	10,78	8,20	4,27	-0,03	0,61	2,11	2,28	2,82	6,01	8,77
1998	11,31	11,54	9,67	5,49	4,47	1,46	0,25	1,84	3,53	7,72	7,96	10,51
1999	13,32	13,21	8,18	6,05	3,46	0,08	-0,31	1,37	3,16	6,32	7,53	10,17
2000	10,82	9,68	7,69	4,80	2,26	-0,30	-0,17	-0,13	1,10	5,28	6,56	9,72
2001	10,17	11,93	9,40	5,47	1,95	0,93	-0,24	2,09	3,30	6,24	6,12	13,18
2002	13,27	12,69	8,12	4,44	2,16	-0,57	1,15	1,57	2,16	3,92	4,85	8,95
2003	11,27	10,63	11,17	6,15	3,37	1,61	0,16	2,45	3,16	6,06	7,39	7,54
2004	12,12	12,77	10,14	4,41	3,91	1,88	0,90	2,97	5,88	5,72	8,57	11,45
2005	11,52	13,69	8,79	6,09	0,75	0,64	1,11	0,60	2,23	3,96	7,40	9,60
2006	11,99	12,59	8,67	6,42	3,63	1,32	0,01	1,90	3,31	4,37	7,75	7,51
2007	11,13	10,00	10,01	5,30	2,75	-0,45	-1,84	-2,09	2,17	4,23	6,92	7,77
2008	12,99	13,62	10,34	6,06	3,77	0,55	0,54	0,30	4,50	5,57	9,37	11,76
2009	13,42	11,12	12,01	8,41	4,02	1,18	0,22	0,95	2,09	4,32	4,28	8,90
2010	11,08	10,04	10,01	5,62	3,24	0,42	-1,86	0,68	2,81	5,80	6,83	7,87
2011	11,15	11,29	9,22	6,57	4,73	1,06	-0,76	-0,57	3,16	4,26	6,74	11,23
2012	11,77	9,76	10,42	6,06	3,26	0,85	0,08	0,46	4,00	5,11	8,60	

Anexo 8. Precipitación promedio anual en Estación Abanico 1964-1999.

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1964	55,85	9,59	29,92	57,99	97,27	295,26	255,68	208,27	208,03	51,62	96,20	169,99
1965	61,56	93,79	20,18	171,72	243,84	438,07	424,27	322,68	83,22	230,81	142,42	124,49
1966	3,65	13,12	40,64	156,76	146,92	448,88	323,61	280,27	106,26	131,85	59,06	357,96
1967	10,17	53,88	80,57	44,03	319,49	215,61	230,77	238,47	205,89	222,55	86,35	52,22
1968	3,65	42,91	92,26	96,90	34,63	266,81	135,67	232,61	209,64	101,62	123,10	147,40
1969	3,65	54,67	72,78	256,52	229,66	635,49	287,38	268,37	184,46	128,36	61,34	21,21
1970	33,01	6,45	87,39	126,93	196,56	489,84	332,67	193,62	134,11	103,95	62,40	145,15
1971	15,07	111,82	39,66	85,93	362,04	329,40	458,35	186,30	118,04	80,69	42,77	34,82
1972	58,30	2,92	126,35	88,92	1008,59	415,88	342,86	340,37	290,52	408,60	111,35	24,59
1973	22,41	2,92	78,62	76,95	313,58	381,74	329,27	155,79	134,11	283,02	18,90	27,85
1974	32,20	4,49	56,22	32,06	298,21	891,52	173,03	198,50	167,32	60,92	69,67	43,12
1975	3,65	140,12	22,13	227,59	372,68	349,88	494,58	222,91	134,11	72,55	141,29	61,06
1976	10,99	46,04	48,43	43,03	117,37	452,29	227,38	196,06	145,89	312,09	99,23	102,90
1977	44,43	2,92	76,68	151,77	384,50	432,95	623,65	172,87	187,67	230,69	202,67	39,14
1978	8,54	26,44	11,42	32,06	293,48	211,40	704,03	145,78	329,09	217,90	217,82	20,54
1979	36,20	19,00	11,50	54,50	314,80	138,00	507,10	462,50	222,00	70,00	255,00	136,00
1980	0,00	304,50	58,50	408,00	590,00	405,10	355,80	242,70	100,50	0,60	46,50	74,50
1981	133,30	29,50	64,00	171,80	673,70	257,00	266,60	108,80	122,20	76,70	31,40	22,20
1982	76,20	66,80	70,80	38,40	399,30	632,00	621,90	276,90	395,80	327,50	127,70	1,20
1983	110,30	18,60	1,00	146,50	186,80	498,60	335,20	166,60	143,60	84,30	8,00	18,80
1984	32,50	101,30	59,30	84,30	534,40	341,70	452,50	149,00	326,60	301,60	37,60	19,90
1985	69,60	17,70	28,80	206,70	454,10	226,90	290,90	117,30	158,50	244,10	66,90	0,30
1986	9,70	45,50	117,90	192,50	529,10	575,70	151,70	369,80	95,60	145,90	316,20	26,40
1987	0,00	12,00	90,10	76,00	171,10	262,90	425,90	352,30	239,30	193,40	63,60	55,60
1988	33,40	0,00	101,70	121,00	114,60	342,50	259,00	353,60	61,00	113,00	29,20	49,40
1989	22,80	0,00	51,90	7,60	91,00	462,00	217,50	265,70	74,40	74,60	27,00	114,20
1990	29,30	47,10	101,90	177,80	230,70	218,80	196,20	303,10	378,10	50,00	63,70	8,50
1991	20,00	10,40	30,60	268,00	633,80	267,50	308,70	147,90	244,20	130,70	63,70	191,20
1992	15,00	9,00	53,40	218,80	962,80	493,00	197,70	148,10	229,00	216,10	50,70	89,60
1993	80,50	1,00	133,50	223,70	517,90	703,80	357,10	295,50	97,40	182,10	27,90	89,00
1994	14,90	4,00	41,10	261,20	153,40	543,40	438,70	69,70	328,90	221,20	92,00	93,40
1995	16,10	17,50	42,10	197,10	106,50	593,00	513,30	304,30	67,00	105,70	26,70	0,00
1996	5,00	35,00	156,10	186,00	192,40	236,00	77,80	253,70	56,30	96,50	86,50	24,80
1997	35,90	56,90	11,60	336,00	266,60	562,20	296,50	200,10	267,20	239,00	153,30	47,50
1998	8,90	18,00	26,90	130,40	159,20	138,90	130,20	161,60	106,20	2,90	50,40	38,80
1999	15,50	42,70	5,80	63,80	358,70	535,60	90,80	338,30	292,70	40,60	14,60	9,20
2000	3,00	359,70	16,20	106,80								
PROM. MES	34,91	55,28	57,94	167,13	363,85	401,65	309,10	242,26	190,79	138,88	78,03	52,88

Anexo 9. Precipitaciones promedio anual en Estación Tucapel, 1976-2014

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1976	56,5	0	58,5	3	70,5	223	103	132	90,5	239,8	51,5	98
1977	66	0	48,5	101	302,2	65,5	433	136	124,9	128,8	178,9	43,2
1978	5,5	6,5	0	0	242	169,2	580,6	90,5	269,5	167,9	110,5	0
1979	27,5	14,5	12,5	42	235,5	82,7	378,1	327,4	177,7	42,8	193,5	84
1980	0	194,4	58	341	481,5	334,5	267,9	138,2	86,9	0	61	57,2
1981	89	19,5	47	143	549,3	238	193,3	168,3	108,4	74	25,5	20,5
1982	70,5	58	35	58,5	387,7	467,5	414,7	215,2	255,9	210	107	0
1983	81,7	8,5	0	108,7	171,9	443,5	250,2	194,9	102,4	42,3	15	10,3
1984	28	66	26,6	63,8	483,7	258	366,9	97,8	173,5	217,1	16,5	0
1985	79,5	3	8,5	158,9	408,1	182,3	237,3	91	171,5	201,4	48,6	0
1986	10	29,2	96,5	188,6	551	395	90,5	265	70,5	14,9	197	9
1987	0	11,5	59,6	47,5	189	150,5	372,3	296,5	137,5	143,5	143,5	13,5
1988	43,5	0	121,5	134	65	272,5	278,5	295,5	53,5		32,5	
1989	21,5	8,5	38,7	0,4	70,7	412,1	218	183	65	42,5	6	124
1990	21	46,5	79	97,5	147	164,4	129	225	314,5	57,5	41	1
1991	28	0	23	221	470	227	299	121	174	76,5	56	135,4
1992	0	36	44	146,5	847,7	371,5	132,5	155	122,5	115	37	68
1993	16,5	0	69	159,5	411,6	443	346	232	100	144,5	37	17
1994	9	3	20,9	287,5	82,6	364,4	265,2	57,3	172,8	139,2	24,1	47,5
1995	10	7	31,5	199,5	117,4	424	391,1	244	58	73	15,2	0
1996	0,9	18	117	110,9	162,5	225	58,5	252,2	31,5	85,2	57,3	23,9
1997	44,2	71,5	7	309	183,7	508,6	183,6	121,4	180,4	214,5	104,5	32,4
1998	12	0	17,7	121	150,5	113	74,5	137,5	84,4	0	41,5	35
1999	17	48	11,3	59,1	277,1	520,1	110,5	291,8	301	25,2	23	3
2000	0,5	188,5	34	64,7	64,5	688,4	119,5	289,2	276	44	29,5	56
2001	96	8,5	62,1	87,5	455,1	329,9	450,5	167,5	43,4	50,2	94,1	0
2002	7,5	126,9	110,9	120,9	296,7	244	217,5	321,2	217,5	377,9	153,2	25,7
2003	50	0	14	52	106,5	467,6	120,7	99	190,8	114,5	97	22
2004	0	14,5	51,7	238,9	36,2	300,4	276,5	141,9	122	167,5	71,1	43,5
2005	4	0	38,8	39,9	405,6	502,9	221,9	342,7	38	33	70,8	63
2006	47,5	9	39,7	109	86,8	371	380,5	220	144	192,5	7	126
2007	32,5	61	11	146,8	55,5	194,8	205	122	55,1	47,5	7,5	55
2008	9	9	8	107	426,7	154,8	291	349,5	72	32,5	23,9	0
2009	7,5	27	29	40,5	255,6	519	153,5	330	63	34	131,6	1
2010	19	87,5	12,1	27,5	66,3	312,8	321,1	129	5	121,1	62,4	14,3
2011	53	5,5	71,1	161,2	72	242,5	228,5	363,7	112,1	33,5	20	0
2012	31	73	6,3	60	205,9	247,6	39	114,5	45,7	33,6	97	153,9
2013	4	30,3	9	20,4	224,9	180,3	108,1	237,9	94,1	60,6	22	0
2014	49	28,5	195,5	82,9	185,1	444,7	350,4					

Anexo 10. Nivel de cotas registradas Lago Laja 1985-2014.

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1985	1.352,70	1.352,60	1.351,00	1.348,70	1.347,00	1.347,20	1.347,20	1.347,60	1.346,00	1.345,20	1.345,10	1.345,60
1986	1.343,70	1.341,30	1.339,20	1.336,50	1.334,90	1.336,90	1.340,00	1.341,40	1.342,50	1.343,20	1.345,30	1.347,00
1987	1.348,30	1.347,30	1.345,00	1.342,40	1.339,80	1.337,20	1.336,60	1.338,00	1.339,00	1.339,80	1.343,30	1.345,80
1988	1.346,10	1.344,40	1.342,10	1.339,50	1.337,90	1.335,50	1.333,70	1.332,10	1.331,40	1.330,70	1.331,50	1.333,90
1989	1.333,70	1.331,40	1.328,90	1.326,10	1.323,20	1.319,60	1.317,90	1.316,80	1.317,10	1.318,30	1.321,50	1.324,10
1990	1.324,40	1.322,50	1.321,00	1.318,90	1.318,40	1.318,60	1.317,80	1.316,80	1.318,90	1.322,40	1.324,00	1.323,50
1991	1.322,10	1.320,20	1.318,40	1.316,60	1.315,60	1.321,20	1.322,90	1.326,00	1.326,30	1.328,20	1.329,70	1.331,50
1992	1.332,40	1.332,00	1.331,20	1.328,80	1.326,50	1.329,70	1.332,00	1.332,40	1.331,20	1.332,30	1.335,10	1.338,90
1993	1.341,20	1.341,00	1.339,10	1.336,70	1.335,50	1.337,30	1.341,80	1.344,10	1.345,90	1.347,30	1.348,90	1.349,88
1994	1.350,78	1.349,07	1.346,78	1.344,58	1.342,84	1.340,93	1.343,50	1.344,10	1.344,07	1.346,06	1.348,50	1.350,46
1995	1.351,36	1.349,46	1.346,93	1.343,88	1.341,16	1.338,83	1.340,01	1.341,30	1.341,62	1.343,30	1.345,10	1.347,90
1996	1.348,86	1.346,41	1.343,58	1.340,50	1.337,71	1.334,54	1.332,99	1.330,12	1.327,65	1.326,49	1.324,67	1.322,77
1997	1.319,93	1.316,41	1.313,03	1.309,37	1.307,82	1.308,13	1.313,77	1.316,46	1.320,92	1.324,64	1.327,35	1.330,32
1998	1.331,65	1.331,18	1.328,84	1.325,22	1.321,72	1.318,36	1.316,67	1.314,17	1.311,40	1.310,59	1.310,50	1.309,51
1999	1.308,20	1.306,74	1.305,35	1.303,90	1.302,84	1.303,66	1.305,21	1.306,22	1.309,15	1.311,79	1.316,53	1.320,29
2000	1.320,60	1.318,67	1.317,78	1.316,28	1.314,99	1.313,64	1.317,37	1.320,42	1.323,13	1.325,20	1.328,92	1.332,48
2001	1.334,72	1.335,38	1.334,63	1.333,23	1.331,50	1.333,19	1.335,59	1.340,29	1.342,07	1.343,24	1.345,39	1.346,56
2002	1.346,52	1.344,33	1.342,24	1.340,83	1.339,23	1.338,88	1.338,94	1.338,74	1.341,55	1.343,34	1.347,61	1.350,93
2003	1.353,29	1.352,98	1.350,97	1.348,26	1.345,29	1.342,28	1.344,55	1.345,63	1.345,01	1.344,97	1.345,16	1.344,94
2004	1.343,24	1.341,29	1.338,73	1.335,77	1.334,39	1.331,73	1.332,42	1.333,80	1.333,02	1.334,58	1.336,09	1.338,00
2005	1.338,06	1.335,48	1.332,90	1.330,58	1.328,34	1.328,03	1.330,66	1.332,99	1.336,12	1.337,47	1.339,88	1.343,06
2006	1.344,65	1.344,48	1.342,91	1.340,10	1.338,45	1.336,09	1.339,08	1.343,23	1.344,25	1.345,81	1.347,85	1.349,60
2007	1.350,61	1.348,84	1.346,39	1.343,61	1.340,79	1.337,59	1.335,29	1.334,97	1.333,97	1.333,63	1.335,14	1.336,53
2008	1.336,53	1.334,36	1.332,00	1.329,50	1.327,88	1.330,78	1.331,67	1.332,14	1.333,83	1.334,71	1.336,12	1.337,54
2009	1.338,84	1.335,10	1.333,21	1.330,43	1.327,43	1.328,12	1.328,36	1.329,09	1.330,20	1.331,62	1.333,64	1.335,80
2010	1.336,27	1.335,08	1.333,02	1.331,03	1.327,86	1.324,90	1.323,01	1.321,37	1.321,00	1.321,07	1.323,51	1.325,62
2011	1.325,41	1.323,68	1.321,68	1.318,82	1.316,95	1.315,86	1.315,62	1.315,30	1.316,16	1.317,10	1.320,35	1.323,54
2012	1.324,14	1.322,22	1.320,38	1.318,36	1.316,36	1.316,39	1.318,69	1.318,43	1.317,00	1.316,84	1.316,42	1.315,69
2013	1.315,77	1.314,63	1.312,11	1.309,40	1.306,25	1.305,50	1.306,09	1.307,65	1.309,25	1.313,43	1.316,34	1.318,50
2014	1.317,24	1.314,71	1.312,27	1.310,01	1.307,58	1.306,69	1.308,44	1.310,50	1.315,00			