



UNIVERSIDAD DE CHILE
Facultad de Arquitectura y Urbanismo
Escuela de Pregrado
Carrera de Geografía

**CAMBIO CLIMÁTICO Y SU EFECTO SOBRE LOS CUERPOS DE AGUA DE CHILE
CENTRAL: VARIACIÓN INTERANUAL SUPERFICIAL DE LOS LAGOS ANDINOS
(32°S-36°S) ENTRE 1984 Y 2020**

Memoria para optar al título de Geógrafa

CAMILA FERNANDA BAHAMONDEZ PROVOSTE

Profesor Guía: Pablo Sarricolea

Profesora Co-Guía: Magdalena Fuentealba

SANTIAGO-CHILE

2021

AGRADECIMIENTOS

*Dedico este trabajo a mi familia querida, mayita, amigos
y profesores que me apoyaron durante este proceso,
¡muchas gracias!*

RESUMEN

El agua es un recurso cada vez más escaso pero fundamental para los seres humanos y la mantención de los ecosistemas. En el contexto de Cambio Climático actual, los lagos representan reservas importantes de agua dulce que pueden ayudar a hacer frente a largos periodos de sequía, en especial los lagos de montaña que por lo general están alejados a las actividades humanas directas. Sin embargo, se desconoce los impactos que el Cambio Climático pueda estar teniendo en estos cuerpos de agua. Chile Central experimenta desde el 2010 un fenómeno denominado como Megasequía que se caracteriza por un descenso cercano al 30% en las precipitaciones y que coincide con los años más cálidos registrados para la zona. Aunque, los efectos de tales variables climáticas en el ciclo hidrológicos son conocidas (i.e. evaporación, pérdida de caudal) las consecuencias en las reservas de agua de Chile Central son completamente desconocidas. La implementación de un sistema de monitorización es clave para conocer el estado actual y futuro de los lagos andinos. Aquí se analiza la situación de 14 lagos andinos de Chile Central ubicados entre los 32°S -36°S desde 1984 hasta el 2020 estimando los cambios en su superficie a partir del análisis de imágenes satelitales y la estimación del índice Diferencial Normalizado de Agua (NDWI). Se relacionan las superficies obtenidas con los datos climáticos históricos disponibles para precipitación, temperatura y evaporación. Entre los resultados se observa que, durante los 36 años de estudio, las lagunas tienen una tendencia general a la reducción de su superficie, particularmente acentúa en la última década, disminuyendo la superficie entre 6,9% y 28,1%. Se identifica un retraso en la respuesta de las lagunas a la disminución de las precipitaciones de aproximadamente 2 a 3 años. Estos resultados pueden ayudar a comprender la disponibilidad hídrica en la región y establecer políticas que permitan un mejor aprovechamiento de los recursos hídricos disponibles en la región.

Conceptos Clave: Cambio Climático, Megasequía, Lagos Andinos, NDWI.

INDICE DE CONTENIDO

CAPÍTULO 1: PRESENTACIÓN	7
1.1 Introducción.....	7
1.2 Planteamiento del Problema.....	8
1.3 Estado del Asunto	9
1.3.1 Variabilidad Climática y Cambio Climático	9
1.3.2 Cambio Climático en Chile Central.....	11
1.3.3 Ecosistemas Lacustres: Lagos de montaña como sensores ambientales	12
1.4 Área de Estudio.....	15
1.4.1 Antecedentes Generales.....	15
1.5 Objetivos	17
1.5.1 Objetivo General.....	17
1.5.2 Objetivos Específicos.....	17
CAPITULO 2: MARCO METODOLÓGICO	18
2.1 Identificación y Caracterización de los lagos Andinos.....	18
2.2 Variación Interanual de la Lámina de Agua	19
2.2.1 Google Earth Engine (GEE).....	19
2.2.2 Índice Diferencial Normalizado de Agua (NDWI).....	20
2.2.3 Significancia Estadística: Prueba U de Wilcoxon Mann-Whitney.....	21
2.2.4 Significancia Estadística: Prueba de tendencia Mann-Kendall	21
2.3 Variables Climáticas	22
CAPITULO 3: RESULTADOS	23
3.1 Identificación y Caracterización de los Lagos de Montaña	23
3.1.2 Lagos andinos mayores escogidos para el análisis de la variabilidad de su superficie	24
3.1.2.1 Lagunas Andinas ubicadas en los 32°S.....	25
3.1.2.2 Lagunas Andinas ubicadas en los 33°S-34°S.....	26
3.1.2.3 Lagunas Andinas ubicadas en los 35°S.....	27
3.1.2.4 Lagunas Andinas ubicadas en los 36°S.....	27
3.2 Variaciones en la superficie de los lagos de 1984 a 2020	28
3.2.1 Variabilidad en las superficies lacustres comparando dos periodos.....	32
3.2.2 Tendencias en las superficies lacustres	34
3.3 Clima y cambios en las superficies lacustres.....	35
3.3.1 Variabilidad climática en los Andes Centrales.....	35

3.3.2 Efecto del Clima en la Lámina de Agua de los lagos andinos 1984-2020	39
3.3.2.1 Lagos andinos ubicados en los 32°	39
3.3.2.3 Lagunas andinas en los 33°S	43
3.3.2.4 Lagunas andinas en los 34°S – 35 °S	44
3.3.2.5 Lagunas en los 36°S	46
CAPITULO 4: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	48
4.1 Clima y cuerpos lacustres	48
4.2 Cambios en la Superficie de agua de los lagos	48
4.3 Variabilidad climática, Megasequía y disminución en la superficie de los lagos.....	49
4.3.1 Megasequía y Desafíos Actuales	51
5. Conclusiones.....	52
CAPITULO 5: REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	54
ANEXOS	63

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Área de Estudio: Chile Central (32°-36°S).....	15
Figura 2: Principales teleconexiones que afectan a Chile Central	16
Figura 3: Máscara de nubes, colección y composición de Imagen para Landsat 5 en GEE.	20
Figura 4: Fórmula del NDWI	20
Figura 5: Índice NDWI en GEE para Landsat 5.....	21
Figura 6: Lagos de Montaña	23
Figura 7: Lagunas Andinas seleccionadas por tener una superficie mayor a 0.5 km ² tomados del catastro de lagos y embalses de la DGA (2017).	24
Figura 8: Superficies de las Lagunas Andinas seleccionadas, DGA 2017.....	25
Figura 9: Variación Interanual de la lámina de agua de los lagos andinos seleccionados (superficie mayor a 0,5 km ²) de 1984-2020.....	28
Figura 10: Coeficiente de Variación estimado para los lagos andinos entre 1984-2020. 29	
Figura 11: Variación de Superficies de lagunas altoandinas con alta variabilidad (CV> 20%).	30
Figura 12: Variación de superficies de lagunas altoandinas con variabilidad media (CV = 10% - 20%).....	31
Figura 13: Variación de superficies de lagunas altoandinas con variabilidad baja (CV menor al 10%)	32
Figura 14: Datos climáticos para las lagunas andinas de 1984-2020 obtenidos de Terraclimate (Abatzoglou et al, 2018).	36
Figura 15: Comparación entre la variación de la superficie de las lagunas andinas seleccionadas en función de la precipitación media anual.	41
Figura 16: Comparación entre la variación de la superficie de las lagunas andinas seleccionadas en función de las temperaturas medias anuales.	42

Figura 17: Comparación entre la variación de la superficie de las lagunas andinas seleccionadas en función de la evaporación media anual..... 43

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Criterios utilizados para la caracterización de lagos andinos de Chile Central. Elaborado en base a los criterios físicos del CEDEX (2004). CRTG=Caracterización general. CRTE=Caracterización Específica.	18
Tabla 2: Satélites utilizados para la obtención de imágenes.....	19
Tabla 3: Descripción de la significancia del Valor Estadístico Z de Mann-Kendall	22
Tabla 4: Caracterización específica de los lagos escogidos para el estudio. N/D= Sin Datos disponibles.	25
Tabla 5: Variaciones de la superficie lacustre de los lagos andinos comparando dos períodos (1984-2009) y (2010-2020).	33
Tabla 6: Valor Estadístico de Man Kendall para las lagunas altoandinas	35
Tabla 7: Estadístico de Man Kendall para los datos climáticos de las lagunas altoandinas desde 1984-2020.....	37
Tabla 8: Resumen de los datos climáticos de las lagunas altoandinas de Chile Central en dos periodos.	37
Tabla 9: Correlación entre las superficies lacustres y la precipitación media anual, temperatura media anual y evaporación media anual.	40

INDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Colecciones de Imágenes seleccionadas por año y satélite.....	63
Anexo 2: Valor estadístico Z de Mann-Kendall.....	64
Anexo 3: Estimador de la pendiente de Sen	65
Anexo 4: Caracterización General de los lagos andinos de Chile Central	65
Anexo 5: Superficies y datos climáticos para las lagunas de Chile Central 1984-2020. ..	69
Anexo 6: Correlación entre las superficies lacustres y la precipitación media anual.....	78
Anexo 7: Correlación entre las superficies lacustres y la temperatura media anual.	79
Anexo 8: Correlación entre las superficies y la evaporación media anual.	80

CAPÍTULO 1: PRESENTACIÓN

1.1 Introducción

El Cambio Global ha sido causado directamente por las actividades humanas que se han vuelto lo suficientemente importantes, al menos, desde la Revolución Industrial y con una Gran Aceleración a partir de mediados del siglo XX (Duarte et al., 2006, Steffen et al., 2015). El accionar humano sobre el sistema terrestre ha sido reconocido como una “*fuera*” impulsora de cambios a escala planetaria, cuyas incidencias trascienden a escala geológica, lo que hoy se reconoce como el Antropoceno (Zamora et al., 2015). Este conjunto de cambios y alteraciones se deben principalmente a la quema de combustibles fósiles, el incremento de las emisiones de dióxido de carbono y a los cambios de uso y cobertura del suelo, responsables no solo del Cambio Climático (CC) actual sino también de diversos problemas ambientales observables tanto en los ecosistemas terrestres como acuáticos (Vitousek et al., 1997, Oki y Kanae, 2006, Zamora, et al., 2015). En este sentido, el nuevo escenario climático muestra variaciones en las tendencias globales de temperatura y precipitación, donde las temperaturas, entre 1880 y 2017 han experimentado un aumento cercano al grado Celsius, con un incremento progresivo de 0,2°C por década (Panel Intergubernamental del Cambio Climático [IPCC], 2018). Además, se observa un cambio de la distribución global y alteraciones en la frecuencia e intensidad de los eventos pluviométricos, con regiones de precipitaciones intensas (e.g. Cuenca de la Plata) y otras donde habrá un incremento de los periodos de sequía como es el caso de Chile Central (Garreaud et al., 2011 y 2017).

En este sentido, el Cambio Climático tiene efectos evidentes en los sistemas ambientales e hidrológicos (Prein y Pendergrass, 2019, Sumiya et al., 2020). Algunos efectos incluyen cambios en la disponibilidad de agua de lagos y embalses (Jenny et al., 2020) y aumento de frecuencia e intensidad de eventos extremos tales como inundaciones y sequías prolongadas (Garreaud et al., 2017, Prein y Pendergrass, 2019). Las cuales dependiendo de su intensidad pueden provocar una disminución sustancial en los recursos hídricos (Barría et al., 2021). Esta situación se acentúa en las zonas mediterráneas, que son muy sensibles a las variaciones de temperatura y precipitaciones y en donde se proyecta una disminución entre 9% y un 17% en los recursos (Schleussner et al., 2016). En este aspecto, desde el 2010 Chile ha experimentado un aumento de temperatura y un déficit de precipitaciones en su zona mediterránea, fenómeno que ha sido denominado como la Megasequía lo que acentúa los efectos negativos sobre los recursos hídricos (Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia [(CR)2], 2015).

El agua es un recurso primordial para la sustentación de la vida en el planeta (Santibáñez, 2018). Dado que la variabilidad del clima afecta la disponibilidad de agua, es de vital importancia entender cómo los cuerpos de agua responden a los cambios ambientales (Sumiya et al., 2020). En este sentido, los lagos de montaña son cruciales, ya que actúan como reservorios de agua dulce y como centinelas del cambio climático (Valdespino et al., 2016). De esta forma, la siguiente investigación aborda los cambios

interanuales en las superficies lacustres de 14 lagos andinos y los relaciona con sus datos climáticos, con el fin de evaluar cómo la Megasequía afecta la disponibilidad de agua dulce de Chile Central mediante el análisis multitemporal de imágenes satelitales.

1.2 Planteamiento del Problema

El efecto combinado de la alteración del clima, mediante un incremento de la temperatura y una disminución de las precipitaciones, y las presiones humanas producen impactos importantes sobre el ciclo hidrológico afectando el balance de agua de los reservorios como glaciares y lagos, la escorrentía superficial y la recarga de acuíferos (Sahuquillo et al., 2008, Gao, 2015). El Cambio Climático actual y el incremento sostenido de la necesidad de agua para consumo y el mantenimiento de las actividades humanas está exacerbando la crisis hídrica global. Se proyecta que, por cada grado de calentamiento, un 7% de la población mundial se verá expuesta a la reducción de sus recursos hídricos en un 20% (Organización de las Naciones Unidas [ONU-Agua], 2019). Esto dentro de un contexto en que el consumo de agua ha ido aumentando sostenidamente en los últimos 50 años, lo que ha llevado a que sea reconocido como un recurso escaso (Abramovitz y Petterson, 1996, Santibáñez, 2018). En este sentido, Santibáñez (2018) señala que el agua es un recurso primordial para la sociedad porque cumple 3 roles esenciales: aseguramiento de la salud humana, desarrollo económico y sustentación de los ecosistemas. Son tantas las aristas que abarca este recurso, que una crisis del agua necesariamente va a repercutir en las sociedades y su desarrollo. Por ello, es de vital importancia entender los efectos del aumento de temperatura y disminución de las precipitaciones en estos ecosistemas de agua dulce y de este modo tomar medidas de adaptación y/o mitigación al Cambio Climático.

Dentro de los ecosistemas de agua dulce, los lagos de montaña son sensibles a los cambios ambientales y responden rápidamente a variaciones en la temperatura y la fuente de agua (Leng et al., 2006). Por lo que son conocidos por ser *centinelas* del Cambio Climático (Valdespino et al., 2016). Además, en los últimos años han experimentado cambios en su balance hídrico producto del derretimiento de glaciares (Liao et al., 2013). Por lo tanto, constituyen una herramienta útil para entender el efecto del Cambio Climático en los recursos hídricos.

El impacto del Cambio Climático sobre los cuerpos de agua, el sobreconsumo, la sobreexplotación y la falta de gestión ambiental entorno a los recursos hídricos están repercutiendo en los lagos a nivel mundial, donde incluso existen algunos con riesgo de desaparecer (ONU-Agua, 2019). Jenny et al., (2020) señala que los principales efectos del calentamiento global en los lagos de montaña son aumento de temperatura superficial, cambio en los sistemas de estratificación y mezcla (lo que afecta la distribución de organismos y oxigenación), mayor evaporación, inviernos sin cobertura de hielo, fluctuaciones de la lámina de agua, entre otros. La desecación y reducción de superficie de los lagos es un fenómeno que se ha podido observar a nivel mundial en las últimas décadas (Barange et al., 2009). En este sentido, la disminución de los montos de precipitaciones es

una de las razones más explicativas para la reducción de la lámina de agua, sobre todo en los lagos donde el aporte principal es el pluvial (Coe y Foley, 2001, Chura-Cruz et al., 2012.). Un ejemplo de esto es el Lago Chad (13° 6'N, 14°26'E, África), que en el pasado fue uno de los lagos más extensos de la región, sin embargo, producto de la irrigación, la desertificación y, principalmente, los cambios en las precipitaciones y escorrentía superficial, ha reducido el 90% de su superficie (Coe y Foley, 2001). Otro lago que es importante destacar, es el Lago Titicaca (15°52'S, 69°25'O), ubicado en el altiplano boliviano y cuya principal alimentación es pluvial. Los cambios de su superficie responden significativamente a las condiciones climáticas propias del altiplano y a la escorrentía superficial. Por lo que el aumento de temperatura y la disminución de las precipitaciones, ha provocado que su área de inundación fluctúe constantemente (Chura-Cruz et al., 2012). Así mismo, el lago Poopó (18°47'S, 67° 2'O), uno de los más extensos de Bolivia (Richard y Contreras, 2015), se secó en 2015 debido a un efecto sinérgico entre el aumento de las temperaturas y los años Niño. Las pérdidas asociadas a la desaparición de un cuerpo lacustre son enormes, ya que se pierden las propiedades termorreguladoras del medio ambiente propias del cuerpo de agua; la mantención de flora y fauna y pérdidas socioeconómicas a las poblaciones aledañas, entre otras (Richard y Contreras, 2015).

Desde la década de los 90 que existen registros del retroceso de lagos altoandinos asociados al Cambio Climático (Coe y Foley, 2001, Richard y Contreras, 2015). La pérdida de agua dada por la disminución de los aportes por precipitación, se suma la sublimación y la evaporación de lagos y embalses, precipitaciones líquidas en altura, el adelanto de la primavera y la disminución de cobertura nival (Ventura, s.f.). Estas condiciones, se ven agravadas por la falta de conocimiento y monitoreo de los lagos montañosos debido a su ubicación en zonas remotas y a la ausencia de medidas de gestión y mitigación de recursos hídricos en los escenarios climáticos actuales lo que ha desencadenado el secamiento de algunos cuerpos lacustres como es el caso laguna Acúleo (Santibáñez, 2018, Barría et al., 2020). Bajo este escenario, dado que los lagos son una importante reserva de agua dulce para Chile, se hace necesario entender ¿Qué ha pasado con la disponibilidad de agua de los lagos altoandinos de Chile Central en el contexto de Cambio Climático actual?

1.3 Estado del Asunto

1.3.1 Variabilidad Climática y Cambio Climático

Se puede definir clima como el estado medio de las variables meteorológicas (precipitación, temperatura, entre otras) en un periodo de tiempo y área determinada, generalmente de 30 años (Garreud, 2011). Estas condiciones atmosféricas son determinadas por distintos mecanismos que operan, a escalas globales (e.g., circulación atmosférica, teleconexiones, radiación solar) y regionales-locales (e.g. geografía, altitud, latitud, entre otros) (Garreud, 2011, Calcumil 2017). La interacción entre estos mecanismos provoca fluctuaciones en el estado medio o normal del clima a través de periodos de tiempo cortos, lo que se conoce como variabilidad climática natural (Montealegre, 2009). Sin

embargo, en las últimas décadas estos cambios en el clima se han visto acelerados e intensificados debido a las actividades antrópicas que han alterado la composición de la atmósfera. El incremento sostenido de las emisiones de gases de efecto invernadero (e.g., CO₂), favorecen el incremento de la temperatura media del planeta a niveles que superan lo registrado para el último milenio (Vasconi, 2008, Montealegre, 2009). Garreaud (2011) señala que el Cambio Climático se refiere a cualquier alteración de las variables climáticas, desencadenado por el incremento de gases de efecto invernadero por causa directa o indirecta de las actividades humanas.

Desde el periodo industrial (fines del siglo 19) se ha intensificado el efecto invernadero debido al aumento progresivo de la concentración de gases en la atmósfera, como el dióxido de carbono (CO₂). Este aumento genera una mayor retención del calor en la superficie de la tierra, generando las condiciones para que se desarrolle un sobrecalentamiento a escala planetaria (Vasconi, 2008, Asensi, 2021). Previo a la era industrial (1750-1800) la concentración de CO₂eq era de 280 de partes por millón (ppm), en la actualidad esta cifra alcanza los 415 ppm (Asensi, 2021). Se estima que, sin medidas de mitigación, el incremento de los GEI sea progresivo, lo que causaría el aumento de 1,5°C al 2030 y de 3°C a 5°C al 2100, generando diversos impactos en los sistemas naturales y humanos (IPCC, 2018). Respecto a los océanos, existe una tendencia al calentamiento de estos, donde la temperatura global oceánica ha incrementado en 0,08°C desde 1880 (Oficina Nacional de Administración Oceánica (NOAA), 2020).

En este sentido los estudios enfocados a las variables climáticas y al cambio climático son diversos y abarcan un sinfín de áreas. Entre ellos destacan los propios informes elaborados por el IPCC en el que se utilizan modelos climatológicos para proyectar el comportamiento de diferentes variables en distintos escenarios. De ello también, se desprenden estudios multiescalares y espaciales, como el de Romero y Sarricolea (2015), que buscan analizar la variabilidad y cambio climático del Altiplano Chileno con respecto a las condiciones actuales y futuras descritas por el quinto informe del IPCC mediante el uso de datos y capas climáticas de alta resolución (Sarricolea et al., 2017).

Otros estudios están enfocados en la mitigación, adaptación y riesgo climático y cómo gestionarlo, como es el caso del artículo de Quintero et al., (2012) en el que se realiza una revisión bibliográfica con el fin de analizar la importancia de la adaptación para reducir la vulnerabilidad y el riesgo de las sociedades frente al cambio climático evitando reproducir nuevos factores de riesgo. Por otro lado, se puede observar una metodología distinta, en la investigación de Pinilla et al., (2012) que se centra en la percepción de los campesinos cacaoteros y cafeteros de Colombia sobre los fenómenos de variabilidad y cambio climático y de las medidas de adaptación espontánea que han tomado, mediante el uso de encuestas ciudadanas.

1.3.2 Cambio Climático en Chile Central

La geografía, la extensión y las mecánicas propias del territorio nacional generan “condiciones climáticas y meteorológicas variadas y características de cada unidad natural presente” (Calcumil, 2017, p.10). Chile Central, el valle central, se caracteriza por presentar un tipo de clima mediterráneo templado (Miller, 1976 en Garreaud et al., 2019) con variaciones de temperaturas y precipitaciones estacionales que siguen el patrón de la declinación del sol, produciéndose periodos estivales e invernales (Comisión Económica para América Latina y el Caribe [CEPAL],2012). Las precipitaciones medias anuales fluctúan entre 100 y 200 mm, cuyo origen principal son los frentes fríos (Garreaud et al., 2019).

La variabilidad interanual de las precipitaciones está impulsada principalmente por el El Niño-Oscilación del Sur (ENOS) y se observa una tendencia al “*secado regional*” desde la década de 1970 producido parcialmente por el cambio climático antropogénico (Garreaud et al., 2019). Los modelos de proyecciones climáticas señalan que la tendencia va a continuar con una disminución cercana al 40% en los montos de precipitaciones (Fuenzalida et al., 2007 en Garreaud et al., 2019). Esta situación se ha acentuado desde el 2010 ya que la zona central ha experimentado una serie ininterrumpida de años secos con déficits de precipitación que oscilan entre el 20% y el 40%, lo que se ha denominado como la Megasequía de Chile Central (Garreaud et al., 2017). Este es un evento extraordinario y sin precedentes que produce impactos hidroclimáticos importantes (Garreaud et al., 2017, Serrano-Notivoli et al., 2020). La sequía hidrológica que se experimenta coincide con la década más cálida registrada, lo que acentúa los efectos sobre los sistemas ambientales y humanos (Garreaud et al, 2019). El cambio climático afecta directamente la disponibilidad del recurso hídrico y entre las consecuencias más alarmantes del cambio climático en Chile Central se encuentra la disminución de la capa de nieve andina, pérdida de hielo y retroceso de glaciares (Torres et al., 2013), reducción en volúmenes de los embalses y lagos (Fuentelba et al., 2020) y reducción en las napas subterráneas (Muñoz et al., 2020)

En este sentido, existen estudios enfocados en el cambio climático en Chile Central, principalmente en la Megasequía. Entre ellos destaca la investigación de Garreaud et al., (2019) en el que se analizan las anomalías en las precipitaciones, los patrones de circulación, los mecanismos físicos que originaron la Megasequía y comparan la sequía actual con las sequías pasadas. Además, se analiza las teleconexiones que afectan la zona, tales como el ENSO, el Módulo Anual del Sur (SAM) y la Oscilación Decadal del Pacífico (PDO) y realiza simulaciones para evaluar las contribuciones antrópicas a la Megasequía. Otros estudios, reconocen los impactos de este evento, como es el estudio de Garreaud et al., (2017) en el que se analizan los efectos de la disminución progresiva de las precipitaciones en el hidroclima y la vegetación mediante la reconstrucción de los periodos lluviosos usando anillos de árboles coníferos. Otras investigaciones apuntan a entender el efecto del Cambio Climático en los glaciares de Chile Central, como la investigación de Ferrando (2012) en el que se analiza la evolución reciente del glaciar cubierto Pirámide mediante técnicas cuantitativas y cualitativas para estimar el espesor detrítico y las variaciones en la cubierta glaciar. Torres et al., 2013, también analiza el glaciar Pirámide y

estima su balance de masa glaciario utilizando métodos geodésicos en su superficie. Por otra parte, existen investigaciones e informes con un enfoque más social, que busca fomentar políticas y acciones sociales haciendo énfasis en la vulnerabilidad al CC, como lo es el estudio de Welz y Krellenberg (2016) en el que se analiza la vulnerabilidad de la Región Metropolitana al CC mediante diversas dimensiones: socioeconómica, físico-constructiva y urbano-rural.

1.3.3 Ecosistemas Lacustres: Lagos de montaña como sensores ambientales

Los lagos son reservorios de agua dulce conocidos por ser *centinelas* del cambio climático (Valdespino et al., 2016) dada su facilidad de integrar los cambios ambientales muy rápidamente. En este sentido, la respuesta de los lagos al clima es una problemática que ha sido abordada desde distintos enfoques y que involucran diversas metodologías dependiendo de lo que el investigador quiera corroborar (Gao, 2015). Así, por ejemplo, en base al análisis de imágenes de satélite se ha detectado un incremento de los lagos glaciares globales como consecuencia directa del incremento de las temperaturas y el retroceso de los glaciares (Shugart et al., 2020). También se ha usado el análisis de las imágenes de satélite para estimar cambios en el volumen de los lagos (Lu et al., 2013, Ovakoglou 2016). Sin embargo, estos estudios se han efectuado principalmente en el hemisferio norte y/o existen pocas investigaciones que incluyan los efectos del cambio climático en los cuerpos de agua en el hemisferio sur (Chura-Cruz et al., 2012, Richard y Contreras, 2015).

Otra de las investigaciones que abarca esta problemática es la de Li y Wang (2009), que se enfoca en investigar las fluctuaciones de la lámina de agua de 4 lagos ubicados en el área de Nagqu, en la meseta tibetana, desde 1975 hasta el 2005, utilizando teledetección espacial mediante imágenes satelitales TM y CBERS, identificando los cuerpos de agua por periodos de 4 años y visualmente. Posteriormente, se relaciona las fluctuaciones con variables climáticas como temperatura del aire, precipitaciones, tasa de evaporación y la profundidad máxima de la nieve, para entender la tendencia de estas lagunas a la expansión.

De esta forma, existen diversas investigaciones asociadas a esta temática en Asia, dentro de las que destaca la de Liao et al., (2013), principalmente porque estudia las variaciones de todos los lagos localizados en la meseta Qinghai-tibetana y luego selecciona 11 lagos de este lugar para ser analizados climáticamente. Liao et al., (2013) propone analizar la expansión y reducción del espejo de agua de los lagos para los últimos 40 años, mediante el uso de un mapa topográfico de 1970 del área de estudio e imágenes satelitales MSS, TM y ETM desde 1970 hasta el 2008, donde se identificaron los cuerpos de agua visualmente. Luego realizó una correlación multivariante entre las superficies registradas y datos climáticos entre los que incluye temperatura, precipitación, evaporación y duración de las horas de sol. Es interesante resaltar que una de sus principales conclusiones relaciona los cambios en las lagunas con el Cambio Climático, donde el incremento de

temperatura incide en el derretimiento de glaciares y con ello en el aumento de superficie en las lagunas estudiadas.

La meseta tibetana se destaca como zona de estudio para entender las fluctuaciones del espejo de agua de las lagunas, principalmente por su biodiversidad y porque la mayoría de los lagos ubicados en este lugar han experimentado el crecimiento de su área por el derretimiento de los glaciares entre 1970-2005. Sin embargo, existen estudios que demuestran que, dentro de esta misma zona, los lagos ubicados al norte presentaron una reducción de su superficie entre 1960-2000, como es el estudio desarrollado por Wang et al., (2007) en el que demuestra, mediante teledetección, que al norte de la meseta el incremento de temperatura elevó la tasa de evaporación a tal forma que, incluso recibiendo aportes de deshielo glaciar, los lagos redujeron su superficie. De esta forma, se desprende que la variación de los lagos depende en gran medida del cambio climático local.

Otro enfoque que se tiene de esta problemática, se puede observar en el trabajo de Coe y Foley (2001), en el que se estudia la relación del lago Chad, África, con las tendencias climáticas, mediante modelos hidrológicos de escala global (IBID e HYDRA) que permiten estimar la escorrentía, las descargas de agua de ríos y las aguas superficiales mediante datos climáticos históricos; donde se concluye que la disminución de las precipitaciones fue la principal causa de la pérdida de más del 80% de superficie del lago. Ya en el 2001 los autores afirman que la variabilidad climática es la principal responsable de las fluctuaciones en dicho lago, exacerbado por el aumento de la agricultura en la zona; sin embargo, se desconoce si en la actualidad este factor sigue siendo el primordial.

En la zona de los Pirineos también se pueden encontrar estudios asociados a los lagos de alta montaña y el cambio climático. En ellos se analizan los efectos del clima sobre la acidificación y la eutrofización en los lagos y la productividad biológica (e.g., diatomeas). Así, por ejemplo, Catalán et al., (2002) analizan la respuesta de la productividad biológica del lago Redó al incremento de la temperatura superficial. Algo similar ocurre en Latinoamérica donde se puede encontrar diversos estudios asociando los cambios en la dinámica interna de los lagos (e.g., productividad biológica, variación del nivel de agua) con variables climáticas. Así, por ejemplo, Caballero y Vázquez (2020), analizan el comportamiento termodinámico del lago La Alberca de Tacámbaro (México) entre 1988 al 2015. La investigación correlaciona los cambios en el clima con las variaciones de los regímenes de mezcla y de las asociaciones de diatomeas que se encuentran presentes en los testigos lacustres, donde se documenta que en los años Niño se observa el aumento de la limitación de nutrientes, alteraciones en las comunidades de diatomeas y la aparición de nuevas especies invasoras favorecidas por los escasos nutrientes. Otro ejemplo, es la disminución del volumen de los lagos Titicaca y Poopo como consecuencia de la disminución de las precipitaciones (Chura-Cruz et al., 2012, Richard y Contreras, 2015).

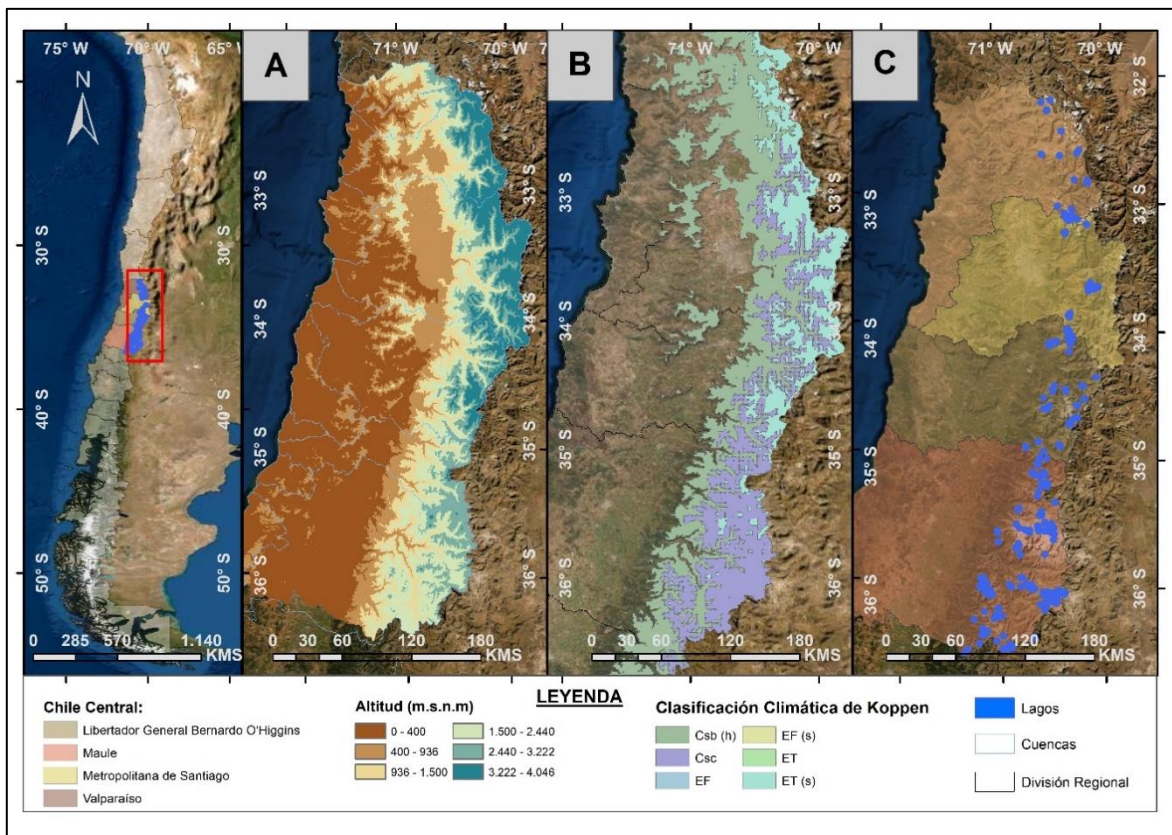
A pesar de la existencia de diversos estudios asociados a los cuerpos lacustres, en Latinoamérica es un tema que no ha sido abordado exhaustivamente, particularmente en zonas remotas (como los Andes de Chile Central), produciendo desafíos adicionales a la hora de evaluar el impacto del CC en los ecosistemas de agua dulce (Gao, 2015). El análisis multitemporal utilizando imágenes satelitales permite realizar un monitoreo de los cuerpos

de agua, sobre todo en los lagos ubicados a gran altitud y de difícil acceso, de tal forma que brindan una forma eficaz de identificar los cambios en el espejo de agua relacionados con el Cambio Climático actual (Liao et al., 2013). Además, permiten abordar un amplio marco temporal a bajo costo (Shugar et al., 2020). En este sentido, en Chile, existe un vacío en el conocimiento respecto de lo que está sucediendo con los lagos altoandinos de Chile y en particular Chile central (32°S-36°S). Esta es un área interesante de evaluar porque en los últimos decenios ha experimentado un déficit de precipitaciones y la ocurrencia de sequías prolongadas es uno de los eventos más frecuentes (Garreaud et al., 2017, Serrano-Notivoli et al., 2020). La disminución drástica de precipitaciones sumado al incremento de las temperaturas registradas en la última década (Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia (CR)2, 2015), exacerban el déficit hídrico. En este sentido, esta investigación propone analizar la respuesta de los lagos de Chile central al CC, en concreto al aumento de la temperatura, disminución de las precipitaciones y cambios en la evaporación de los últimos 36 años, mediante el análisis multitemporal del espejo de agua.

1.4 Área de Estudio

El área de estudio corresponde a la zona andina de Chile Central (32°S-36°S) sobre los 1500 m.s.n.m. Administrativamente abarca las regiones de Valparaíso, Metropolitana, Libertador Bernardo O'Higgins, y el Maule. Con respecto a la hidrología, la zona de estudio incluye las cuencas de Petorca, La Ligua, Aconcagua, Rapel, Mataquito y el Maule (Figura 1)

Figura 1: Área de Estudio: Chile Central (32°-36°S). A. Mapa de elevación de la zona de estudio (m.s.n.m) B. Zonas climáticas según Köppen-Geiger (IDE, 2019). C. Distribución general de los lagos montañosos.



1.4.1 Antecedentes Generales

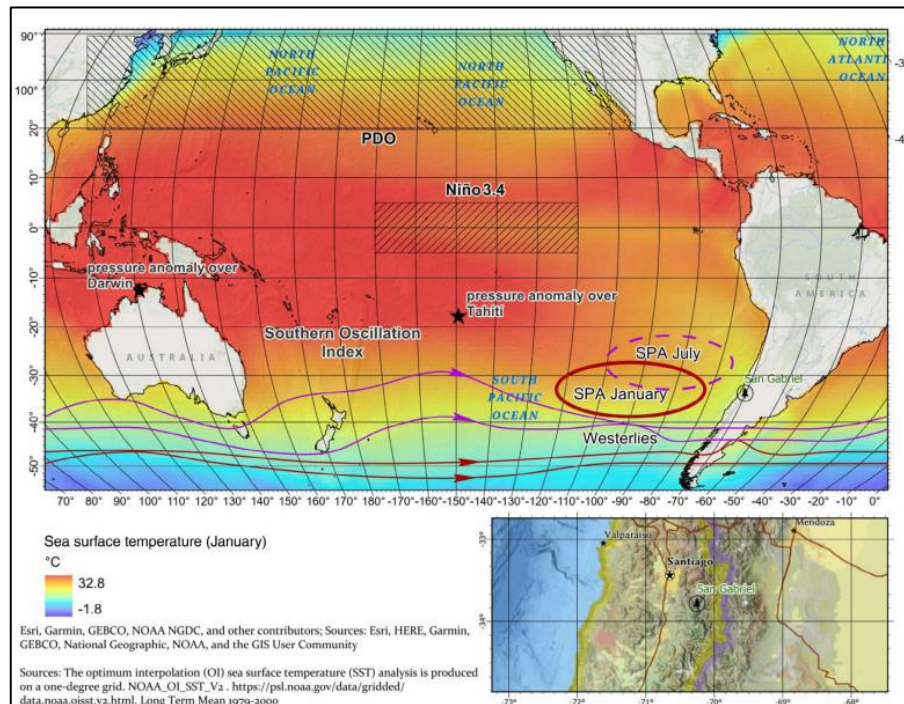
Esta zona se caracteriza por un clima mediterráneo y un régimen pluviométrico entre 1000-2000 mm por año, de ciclo anual bien definido que concentra las precipitaciones durante el invierno austral y un periodo estival donde los montos de precipitaciones se reducen significativamente, pero que aumentan hacia el sur (Figueroa, 2014, Sarricolea et al., 2017). Según la Clasificación de Köppen-Geiger en la zona predomina el clima mediterráneo de lluvia invernal de altura (Csb(h)) y el clima mediterráneo frío de lluvia invernal (Csc) (Figura 1). Según los datos obtenidos por TERRACLIMATE, La temperatura media anual, para el periodo de estudio oscila alrededor de los 3°C y la precipitación media

anual (1984-2020) aumenta hacia el sur de 256 mm (32°) hasta los 790 mm (36°) (Abatzoglou et al., 2018).

Como se ha mencionado anteriormente, Chile central, experimenta un déficit de precipitaciones de 20% - 40% desde el 2010 (Garreaud et al., 2019) lo que se ha reconocido como un evento extraordinario en el registro histórico, al que se ha denominado Megasequía, cuyos impactos trascienden a diversas áreas (Garreaud et al., 2017). Sumado a esto último, nos encontramos en la década más cálida registrada, donde las temperaturas se encuentran entre 0,5°C y 1,5°C por encima de la media climatológica calculada para los años 1970 y los 2000 en el valle central y la precordillera, lo que exacerba el déficit hídrico por evaporación y sublimación ((CR)2, 2015).

La variabilidad climática que experimenta esta zona se debe principalmente a la presencia semi permanente del anticiclón del pacífico sur (SPA), al cinturón de vientos del oeste (Westerlies) y al ENOS, que son los principales responsables del régimen de precipitaciones de Chile central (Núñez y Verbist, 2018). El SPA cuando se desplaza al sur (verano austral) bloquea los sistemas frontales lo que produce un decrecimiento en las precipitaciones y una condición árida (Núñez y Verbist, 2018). Asimismo, los Vientos del Oeste (Westerlies) en invierno están localizados hacia el norte, por lo que existe un aumento en las precipitaciones en Chile central (Fuentealba et al., 2020). El ENOS es otro de los fenómenos que tiene un gran impacto en las precipitaciones ya que durante su fase fría (La Niña) produce condiciones déficit de precipitaciones, mientras en su fase cálida (El Niño) se produce superávit (Figura 2).

Figura 2: Principales teleconexiones que afectan a Chile Central



Fuente: Serrano-Notivoli et al., 2021.

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo General

Evaluar el impacto del clima en la variabilidad de la lámina de agua de 14 lagos altoandinos de Chile Central (32°S-36°S) entre los años 1984 y la actualidad.

1.5.2 Objetivos Específicos

1. Identificar y caracterizar los lagos andinos de Chile Central localizados entre los 32°S-36°S.
2. Estimar la variación y las tendencias de la lámina de agua de 14 lagos andinos de Chile Central a partir de 1984.
3. Analizar los cambios interanuales en las superficies lacustres y su relación con las variables climáticas de precipitación, temperatura y evaporación y sus tendencias.

CAPITULO 2: MARCO METODOLÓGICO

Para entender la respuesta de los lagos andinos al clima, primero se identificaron todos los cuerpos lacustres comprendidos entre los 32° y los 36°S, utilizando como base el catastro de lagos y embalses de la Dirección General de Aguas (DGA) del año 2017, que mediante el uso de software ArcMap 10.3, permite visualizar los lagos andinos emplazados en todo el país.

2.1 Identificación y Caracterización de los lagos Andinos

Se recopiló material bibliográfico que permitió establecer los criterios para filtrar e identificar los lagos andinos de la base de datos de la DGA (2017). Se seleccionan los lagos mediante dos criterios: aquellos que están ubicados en los grados establecidos por el estudio y localizados sobre los 1500 m.s.n.m, que son reconocidos como lagos de montaña por el Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX) (2004). Para caracterizar, se construyó una base de datos con los cuerpos lacustres de alta montaña considerando los factores físicos propuestos por el CEDEX (2004), los que se adaptarán acorde a la investigación y al área de estudio (Tabla 1). Estos datos serán completados mediante información bibliográfica.

Tabla 1: Criterios utilizados para la caracterización de lagos andinos de Chile Central. Elaborado en base a los criterios físicos del CEDEX (2004). CRTG=Caracterización general. CRTE=Caracterización Específica.

CRT	Criterio	Descripción
CRTG	Nombre	Nombre del lago y/o embalse andino.
CRTG	Tipo	Se usa este criterio para diferenciar entre lago andino y embalse con el fin de diferenciar los lagos naturales con los embalsados.
CRTG	Localización	Se define mediante coordenadas geográficas (Latitud-Longitud) a través de la información que contiene la base de datos de la DGA (2017). Se mantiene los datos de Región, Provincia y Comuna.
CRTG	Superficie	Correspondiente al tamaño de la lámina de agua en km ² . Se define como un lago andino grande cuando su superficie es > 0,5 km ² , y un lago andino pequeño cuando su superficie es < 0,5 km ² (CEDEX, 2004).
CRTG	Altitud	Se consideran los lagos sobre los 1500 m.s.n.m (CEDEX, 2004). Los datos de altitud vienen expresados en la base de datos de la DGA (2017).
CRTE	Volumen	Se define como la capacidad de almacenamiento en m ³ de un lago andino.
CRTE	Profundidad	Referido a la profundidad máxima que presentan los lagos andinos. Se ha estimado este dato desde diversas fuentes bibliográficas y se clasifica según los siguientes rangos: muy profundo (>15 m), profundo (de 3 m a 15 m) y somero (≤ de 3 m) (CEDEX, 2004).

Debido a las limitaciones metodológicas para caracterizar y analizar multitemporalmente todos los lagos andinos dentro del área de estudio, se desarrollan dos caracterizaciones: una general y otra específica. La caracterización general (CRTG) se aplica en todos los lagos con los criterios establecidos con CRTG en la Tabla 1. Mientras que, para la caracterización específica (CRTE) se seleccionan 14 lagos representativos y se caracterizan en base a los criterios descritos. Los 14 cuerpos lacustres tienen una superficie mayor a 0,5 km², con el fin de que el análisis multitemporal de la lámina de agua mediante SIG sea posible (Orduz, 2018).

2.2 Variación Interanual de la Lámina de Agua

Luego, para estimar la variación en el espejo de agua de los 14 lagos andinos seleccionados se realizó un análisis multitemporal con imágenes satelitales Landsat y Sentinel 2. Las imágenes fueron obtenidas mediante Google Earth Engine (GEE) que ofrece un conjunto de imágenes corregidas geométrica, radiométrica y atmosférica. Se seleccionaron 36 imágenes para el área de estudio entre 1984-2020, según los siguientes requisitos: cobertura nubosa < 20% (Orduz, 2018) y que la fecha de selección corresponda a la estación seca austral (Enero – Febrero – Marzo). En la Tabla 2 se observan los satélites utilizados, junto a la combinación de bandas (RGB). Las colecciones de imágenes ordenadas por año y por satélite, se encuentran detalladas en el Anexo 1.

Tabla 2: Satélites utilizados para la obtención de imágenes

Satélites	Sensor	Resolución	Combinación de Bandas
Landsat 5	TM (Thematic Mapper)	30 M	321
Landsat 7	ETM (Enhanced Thematic Mapper)	30 M	321
Landsat 8	OLI (Operational Land Imager)	30 M	432
Sentinel 2	MSI (Multispectral Instrument)	10 M	432

2.2.1 Google Earth Engine (GEE)

Para trabajar con GEE, se generó un código por satélite en el que se seleccionó la cobertura nubosa, el área de las lagunas, se filtró la colección de imágenes por fecha (estación seca) y se compusieron las imágenes con la combinación de bandas de color verdadero de acuerdo con el satélite que se está utilizando (Figura 3).

Figura 3: Máscara de nubes, colección y composición de Imagen para Landsat 5 en GEE.

```
//Cargar máscara de nubes
var cloudMaskL457 = function(image) {
  var qa = image.select('pixel_qa');
  var cloud = qa.bitwiseAnd(1 << 5)
    .and(qa.bitwiseAnd(1 << 7))
    .or(qa.bitwiseAnd(1 << 3))
  var mask2 = image.mask().reduce(ee.Reducer.min());
  return image.updateMask(cloud.not()).updateMask(mask2);
};

// Filtro por fecha
var collection = ee.ImageCollection('LANDSAT/LT05/C01/T1_SR')
  .filterDate('1989-01-01', '1989-03-31')
  .filterBounds(Lagunas)
  .map(function(image) {
    var composite = collection
      .map(cloudMaskL457)
      .median();
  });

//Composición de Imagen
Map.addLayer(composite, {bands: ['B3', 'B2', 'B1'], min: 0, max: 3000})
```

2.2.2 Índice Diferencial Normalizado de Agua (NDWI)

Se utilizó el Índice Diferencial Normalizado de Agua (NDWI) propuesto por McFeeters (1996) para identificar las superficies de las lagunas. El NDWI permite eliminar la presencia del suelo y la vegetación de las imágenes (Yang et al., 2017), resaltando los cuerpos de agua. La banda verde maximiza la reflectancia de las zonas húmedas, mientras que el infrarrojo cercano (NIR) minimiza la reflectancia del resto de las coberturas, lo que permite discriminar entre ellas los cuerpos de agua. La fórmula del NDWI se observa en la Figura 4 (McFeeters 1996 en Ariza et al., 2015).

Figura 4: Fórmula del NDWI

$$\text{NDWI} = \frac{\text{VERDE} - \text{NIR}}{\text{VERDE} + \text{NIR}}$$

Fuente: McFeeters, 1996 en Ariza et al., 2015.

El NDWI se calculó en GEE, una vez ingresado las bandas que se necesitan, se estableció los parámetros de visualización y se cortó con el área de las lagunas, para que sólo sea calculado en ese sector. Finalmente se exportan los datos, con una escala de 30 m, para ser trabajado en ArcMap (Figura 5).

Figura 5: Índice NDWI en GEE para Landsat 5.

```
//Cálculo índice NDWI
var ndwi = composite.normalizedDifference(['B2','B4']);
var ndwiViz = {min: 0.5, max: 1, palette:['44c9f1','1637f1']};

//Clip to Specified Region
var clipped_ndwi = ndwi.clip(Lagunas)

Map.addLayer(clipped_ndwi, ndwiViz, 'NDWI', false);
```

El NDWI entrega valores que oscilan entre -1 a 1 y es reclasificado en ArcMap 10.3, utilizando los siguientes valores: -1-0 (suelo y otras cubiertas) y 0-1 (Agua) (McFeeteres, 1996). Luego, los cuerpos de agua son convertidos a polígono, lo que entrega la superficie en km². Los cambios en las superficies son analizados utilizando estadística descriptiva (media, coeficiente de variación, desviación estándar y tasa de variación con respecto a 1984) y comparando 2 periodos de tiempo: 1984-2009 y 2010-2020 (Megasequía). Se utiliza Wilcoxon Mann-Whitney para estimar si las diferencias entre los periodos son significativas y Man-Kendall (Mann, 1945, Kendall, 1962) para estimar las tendencias en las superficies. El coeficiente de variación se clasifica en bajo, cuando es inferior al 10%, medio cuando oscila entre el 10% y 20%, alto cuando fluctúa entre 20%-30% y muy alto cuando los valores son superiores a 30%, esto con el fin de establecer cuáles son las lagunas que más han variado (Pimentel, 1985 en Gordón y Camargo, 2015).

2.2.3 Significancia Estadística: Prueba U de Wilcoxon Mann-Whitney

La prueba U de Wilcoxon Mann Whitney (WMW) es una prueba no paramétrica para conjuntos de datos en los que no se puede suponer la normalidad; y permite comparar la media de dos muestras independientes de la misma serie de datos ordinales (Rivas-Ruiz et al., 2013). Se aplicó la prueba no paramétrica de Wilcoxon en el programa Rstudio, con el fin de evaluar si las diferencias entre los dos periodos establecidos eran significativas en base al valor p obtenido. Se considera significativa estadísticamente si el valor p es menor a 0,05 (Rivas-Ruiz et al., 2013).

2.2.4 Significancia Estadística: Prueba de tendencia Mann-Kendall

Con el fin de establecer una tendencia y significancia en el cambio de la lámina de agua de las lagunas andinas, se utiliza la prueba no paramétrica Man-Kendall (MK) (Mann, 1945, Kendall, 1962) que permite comparar datos de secuencias de años y establecer su tendencia (Alencar et al., 2016). Se basa en dos aspectos principalmente: en la hipótesis nula (H0), que considera que los datos ordenados cronológicamente son estables e

independientes; y en la hipótesis alternativa (H_i) en que los datos ordenados cronológicamente siguen una tendencia *monotónica* (Mann, 1945 en Alencar et al., 2016). A partir de esta prueba se determina la tendencia negativa o positiva que presenta la serie de datos dependiendo de su nivel de significancia (p). En este caso se calcula la tendencia con $p= 0,05$, y un 95% de confianza.

Para aplicar la prueba, se utiliza el macro Mann-Kendall, donde se ingresan las superficies y se calcula automáticamente las tendencias por año. La prueba entrega diferentes valores estadísticos, pero en la siguiente investigación se utilizarán 2 de ellos: el valor z (Anexo 2) y la pendiente de sen (Q) (Anexo 3). Se calcula el valor estadístico (z) y la pendiente de sen (Q) para determinar la tendencia creciente o decreciente de los resultados (Salmi et al., 2020). Un valor z positivo indica un incremento en la tendencia, mientras que un z negativo un decrecimiento de esta (Alencar et al., 2016). En la tabla 3 se observa la descripción de la significancia del estadístico de Mann-Kendall.

Tabla 3: Descripción de la significancia del Valor Estadístico Z de Mann-Kendall

Significancia	Simbología	Valor "Z"
Sin tendencia	ST	0
Tendencia significativa creciente	TSC	$\geq + 1,96$
Tendencia significativa decreciente	TSD	$< - 1,96$
Tendencia no significativa creciente	TNSC	$<+ 1,96$
Tendencia no significativa decreciente	TNSD	$>- 1,96$

Fuente: Alves et al., 2015 adaptada en Alencar et al., 2016.

2.3 Variables Climáticas

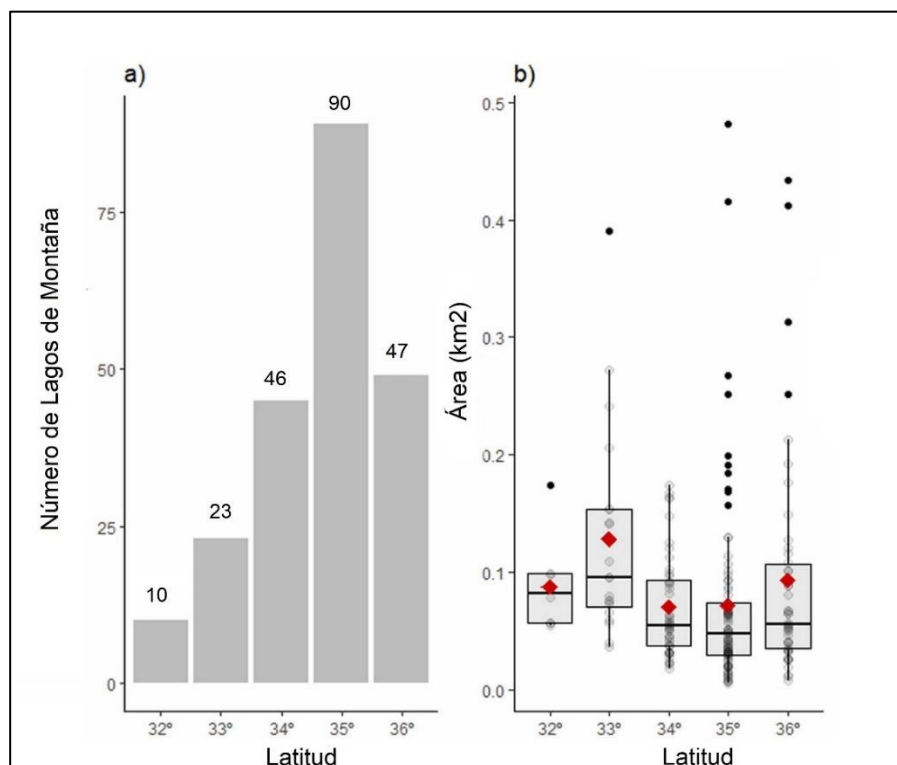
Los datos climáticos fueron obtenidos de TerraClimate, un producto grillado de la Universidad de Idaho (Abatzoglou et al., 2018), el cual se actualiza constantemente e incluye variables de precipitación anual, temperatura media anual y evaporación media anual. Los datos se obtuvieron de 1984 al 2020 para cada cuerpo lacustre y en base al año hidrológico de mayo a abril, por ejemplo, los datos de 1984 corresponden a los de mayo 1983 hasta abril 1984. Se aplicó la prueba de Man Kendall en las 3 variables climáticas para estudiar su tendencia (Tabla 3). Finalmente, se correlacionaron las variables climáticas con las superficies obtenidas en Rstudio utilizando un promedio móvil de 3 años para tener un sustento estadístico y suavizar las fluctuaciones en la serie de datos.

CAPITULO 3: RESULTADOS

3.1 Identificación y Caracterización de los Lagos de Montaña

En Chile Central (32°S-36°S) se localizan 216 lagos andinos (Figura 1, Anexo 4) con una superficie que varía entre los 0,0056 km² y los 46,7 km² y están ubicados sobre los 1500 m.s.n.m hasta los 3647 m.s.n.m. Los lagos andinos entre los 32°-36° muestran una superficie promedio de 0,46 km². La mayoría de ellos (n=202) tiene una superficie menor a 0,5 km² y suman un total de 17,41 km² de superficie de agua, mientras que los lagos con una superficie mayor a 0,5 km² (n=14) representan 83,06 km² de área. La zona de los 32° presenta la menor cantidad de lagos andinos (n=10) con una superficie promedio de 0,2 km² (DE=0,4) que aumentan hacia el sur. En los 33°-34° se observan 69 lagos andinos cuyas superficies oscilan entre los 0,6 km²(DE=1,6) y los 0,11 km² (DE=0,11) respectivamente. La mayor cantidad de lagos se concentra en los 35° (n=90) con una superficie promedio de 0,17 km² (DE=0,8), mostrando una alta dispersión en las áreas de las lagunas ya que sólo 4 de ellas presentan una superficie mayor a 0,5 km². En los 36° se exhiben 47 lagos andinos con un promedio de 1,29 km² (DE=6,8), la dispersión que existe en esta franja latitudinal se explica por la presencia del Maule que alcanza una superficie de 46,7 km² al año 2017 (Figura 6).

Figura 6: Lagos de Montaña. A) Distribución de lagos de montaña por latitud. B) Superficie de todos los lagos por latitud, no se incluye laguna el Maule (46,7 km²). Los diamantes rojos representan el promedio y las líneas negras horizontales las medianas.



3.1.2 Lagos andinos mayores escogidos para el análisis de la variabilidad de su superficie

Se han seleccionado 13 lagunas andinas para el estudio (Figura 7 y 8, Tabla 4) cuya superficie supera los 0,5km², y se agrega laguna lo Encañado (0,4km²) ya que forma parte del complejo Embalse el Yeso-Laguna Negra. Estas están ubicadas desde los 1607 m.s.n.m (Laguna Dial) hasta los 3043 m.s.n.m (Chepical). La mayor cantidad de lagunas se encuentra en los 35° (Región del Maule) y corresponden a las con mayor superficie de agua (12,84 km²) excluyendo laguna el Maule. Le sigue la zona de los 33° (Región Metropolitana), alcanzando una superficie total de agua de 11,89 km², donde destacan el Embalse el Yeso y Laguna Negra con 6km² y 5,4 km² respectivamente. La zona de los 32° (Valparaíso) exhibe una superficie total de 2,03 km² resaltando Laguna Inca con 1,52 km². La menor superficie de agua se encuentra en los 34° (Región de O'Higgins) donde sólo se encuentra Laguna el Yeso con 0,51 km² de superficie de agua (Figura 6). Seis de las catorce lagunas del estudio se encuentran embalsadas o represadas (Tabla 4).

Figura 7: Lagos Andinas seleccionadas por tener una superficie mayor a 0.5 km² tomados del catastro de lagos y embalses de la DGA (2017). En la figura se observa la distribución de los 216 lagos de montaña comprendidos en el área de estudio junto a los 14 seleccionados para analizar su superficie. A. Lago Chepical – B. Laguna del Inca o el Portillo – C. Laguna Negra, Laguna Lo Encañado y Embalse el Yeso – D. Laguna el Yeso– E. Laguna el Teno – F. Mollera – G. Aguas Calientes – H. Laguna Caracol – I. Laguna Turbia– J. Laguna CariLauna – K. Laguna del Maule – Laguna Dial.

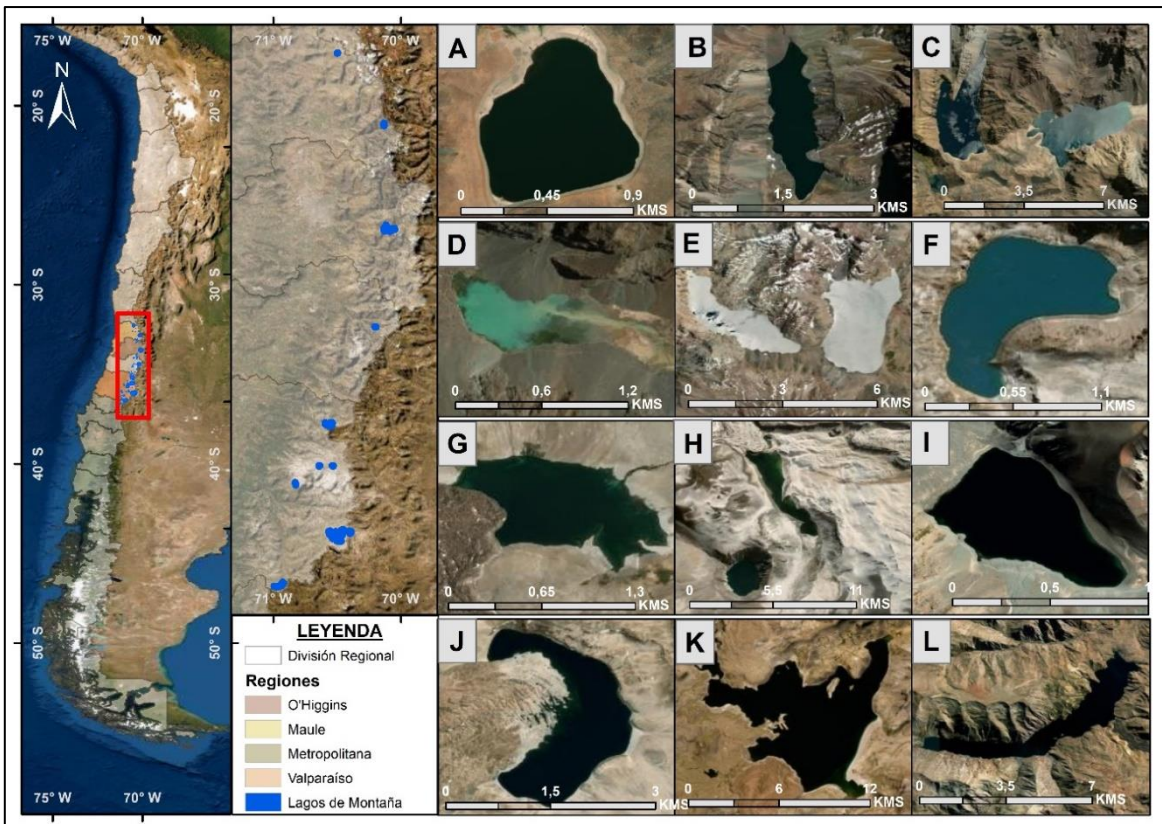
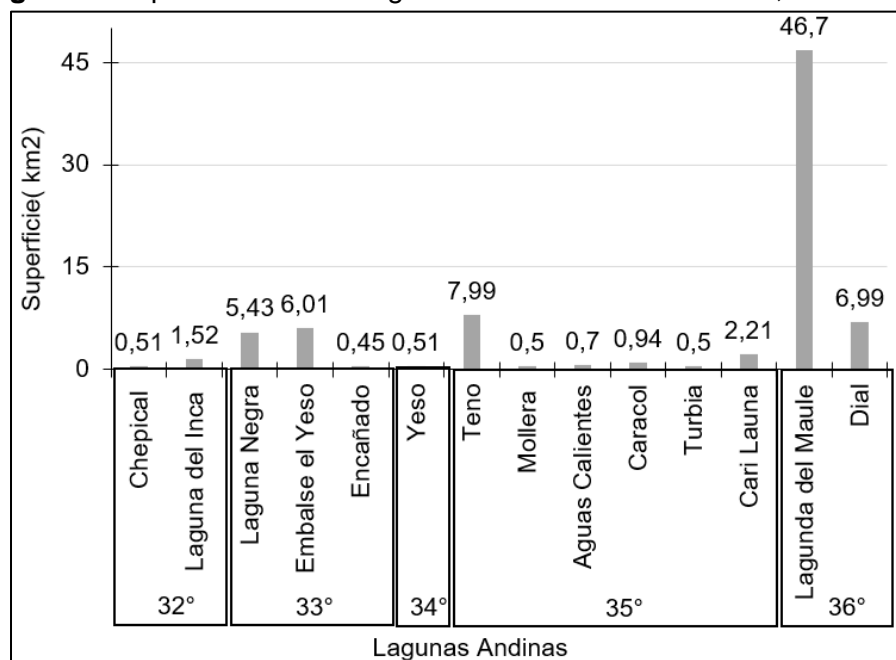


Tabla 4: Caracterización específica de los lagos escogidos para el estudio. N/D= Sin Datos disponibles.

Nombre de Lagos	Tipo	Localización		Altitud (m.s.n.m)	Superficie (km ²)	Volumen (m ³)	Profundidad (m)
Chepical	Embalsado	32° 15,549' S	70° 29,921' W	3043,29	0,5	0,0037	12,9
Laguna del Inca	Natural	32° 49,250' S	70° 8,015' W	2855,89	1,52	N/D	73,3
Laguna Negra	Embalsado	33° 38,509' S	70° 7,466' W	2707,74	5,42	0,6	9,9
Embalse el Yeso	Embalsado	33° 38,819' S	70° 4,416' W	2570,21	6,01	9,22	50
Encañado	Embalsado	33° 40,240' S	70° 8,005' W	2489,38	0,4	0,05	N/D
Yeso	Natural	34° 24,881' S	70° 11,873' W	2153,09	0,51	N/D	N/D
Teno	Embalsado	35° 10,858' S	70° 33,709' W	2549,52	7,98	0,7	60
Mollera	Natural	35° 30,283' S	70° 38,510' W	2686,62	0,5	N/D	N/D
Aguas Calientes	Natural	35° 30,376' S	70° 32,141' W	2565,08	0,69	N/D	N/D
Caracol	Natural	35° 38,787' S	70° 49,675' W	2027,26	0,93	N/D	N/D
Turbia	Natural	35° 40,318' S	70° 51,147' W	2033,0	0,5	N/D	N/D
Cari Launa	Natural	36° 1,722' S	70° 23,743' W	2707,50	2,21	N/D	N/D
Laguna del Maule	Embalsado	36° 1,722' S	70° 23,743' W	2163,44	46,7	127	50
Dial	Natural	36° 26,742' S	70° 57,076' W	1607,36	6,99	N/D	N/D

Figura 8: Superficies de las Lagunas Andinas seleccionadas, DGA 2017.



3.1.2.1 Lagunas Andinas ubicadas en los 32°S

Laguna el Chepical (3043 m.s.n.m) es un lago glaciar monomítico frío endorreico (De Jong et al., 2013), que fue represado en 1885 (Martel-Cea et al., 2016). Se ubica en la cuenca alta del río la Ligua en la región de Valparaíso, provincia de Petorca, comuna de Cabildo entre los 32°15'S y los 70°29'O (Figura 7). Tiene una superficie de 0,5 km² al año 2017 (Figura 8), una profundidad de 12,9 m y un volumen de 0,0037 km³ (De Jong et al.,

2013). Su efluente es el río Alicahue y su régimen de alimentación es pluvio-nival. Su principal uso es de riego y agua potable para el pueblo de Alicahue, pero también destaca el turismo a baja escala (Servicio Nacional de Turismo [SERNATUR], 2012). Laguna del Inca (2856 m.s.n.m), es un lago natural y atractivo turístico ubicado en la cuenca alta del río Aconcagua, en la Región de Valparaíso, provincia de los Andes, comuna de los Andes entre los 32°49'S y los 70°8'O (Figura 7). Tiene una superficie de 1,52 km² y 73,3 m de profundidad máxima (Alvial et al., 2008) (Tabla 4). Tiene un régimen pluvio-nival y su desembocadura es el río Juncalillo. Se define como laguna internacional por su cercanía a Argentina (SERNATUR,2012).

3.1.2.2 Lagunas Andinas ubicadas en los 33°S-34°S

Laguna Negra (2708 m.s.n.m) es una laguna de origen glaciar ubicada en la cuenca alta del río Maipo en la Región Metropolitana, en la provincia de cordillera y en la comuna San José de Maipo entre los 33°49'S y los 70°7'O (Figura 7). Tiene una superficie de 5,4km², profundidad máxima de 9,9 m (Alvial et al., 2008) y una capacidad de almacenamiento de agua de 0,6 km³ (Inversiones de Agua Metropolitana [IAM], 2021) (Tabla 4). Su régimen de alimentación es nivo-fluvial, principalmente por el derretimiento de nieve acumulada en el invierno y del glaciar Echaurren (Dionizis, 2018). Es una laguna represada y su uso principal es agua potable.

Embalse el Yeso (2570 m.s.n.m), un embalse artificial que fue construido en 1964 para asegurar el suministro de agua potable en la Región Metropolitana. Su uso principal es de riego y agua potable, sin embargo, también destaca el turismo aventura a sus alrededores (Canales, 2007). Se localiza en la Región Metropolitana, en la provincia Cordillera y en la comuna San José de Maipo entre los 33°38'S y los 70°4'O (Figura 7). Tiene una superficie de 6,01 km², una profundidad de 50 m y un volumen de 0,22 km³ (IAM,2021) (Tabla 4). Sus regímenes de alimentación son nival-fluvial por el río Yeso (Dionizis, 2018). Cerca del Embalse el Yeso, se encuentra Laguna del Encañado (2489 m.s.n.m), con una superficie de 0,4 km² y una capacidad de 0,05 km³ (IAM,2021) (Tabla 4); se emplaza en la Región Metropolitana provincia Cordillera, comuna San José de Maipo (33°40'S y los 70°8'O) (Figura 7). Su régimen de alimentación es nival-fluvial y su principal uso es de riego y agua potable ya que forma parte del complejo Laguna Negra- Embalse el Yeso, el cual se encuentra resguardado por la empresa Aguas Andina y cuyo fin es suministrar agua potable a la región Metropolitana (IAM, 2021).

En los 34°S24'S y los 70°11'O en la región de O'Higgins, en la provincia de Cachapoal y en la comuna de Machalí se ubica Laguna el Yeso (2349 m.s.n.m) (Figura 7). Tiene una superficie de 7,9 km² y su principal fuente de alimentación es el Río de las Leñas (Tabla 4)

3.1.2.3 Lagunas Andinas ubicadas en los 35°S

Corresponde a la franja latitudinal con mayor presencia de lagunas en el estudio. Laguna el Teno (2033 m.s.n.m), es un lago natural represado, ubicado en la cuenca del río Mataquito, región del Maule, provincia de Curicó y en la comuna de Romeral entre los 35°10'S y los 70°33'O (Figura 7). Tiene una superficie de 7,9 km² (Tabla 4). Su régimen de alimentación es pluvio-nival, almacenando la precipitación sólida de los meses invernales (Comisión Nacional del Riego [CNR], 2014). La laguna se encuentra asociada al complejo volcánico Planchón-Peteroa y sus aguas desembocan en el río Malo (Servicio Nacional de Geología y Minería [SERNAGEOMIN], 2003). Las lagunas Aguas Calientes (2565 m.s.n.m, San Clemente) y Mollera (2686 m.s.n.m, Molina) se ubican en la parte alta de la cuenca del Río Maule en la región del Maule, provincia de Talca en los 35°30'S-70°32'O y los 35°30'S-70°38'O respectivamente (Figura 7). Aguas Calientes tiene una superficie de 0,69 km² y Mollera de 0,5 km² (Tabla 4). Después, se encuentra Laguna Turbia (2033 m.s.n.m) con una superficie de 0,5 km² (Tabla 4), se ubica en la región del Maule, provincia de Talca y comuna de San Clemente entre los 35°38'S y los 70°38'O (Figura 7). La última laguna ubicada en esta zona latitudinal es Laguna Caracol (2027 m.s.n.m), que se emplaza en la cuenca del río Maule, región del Maule, provincia de Talca y comuna de San Clemente entre los 35°38'S y los 70°51'O (Figura 7). Tiene una superficie de 0,9 km² y su régimen es nival (Tabla 4)

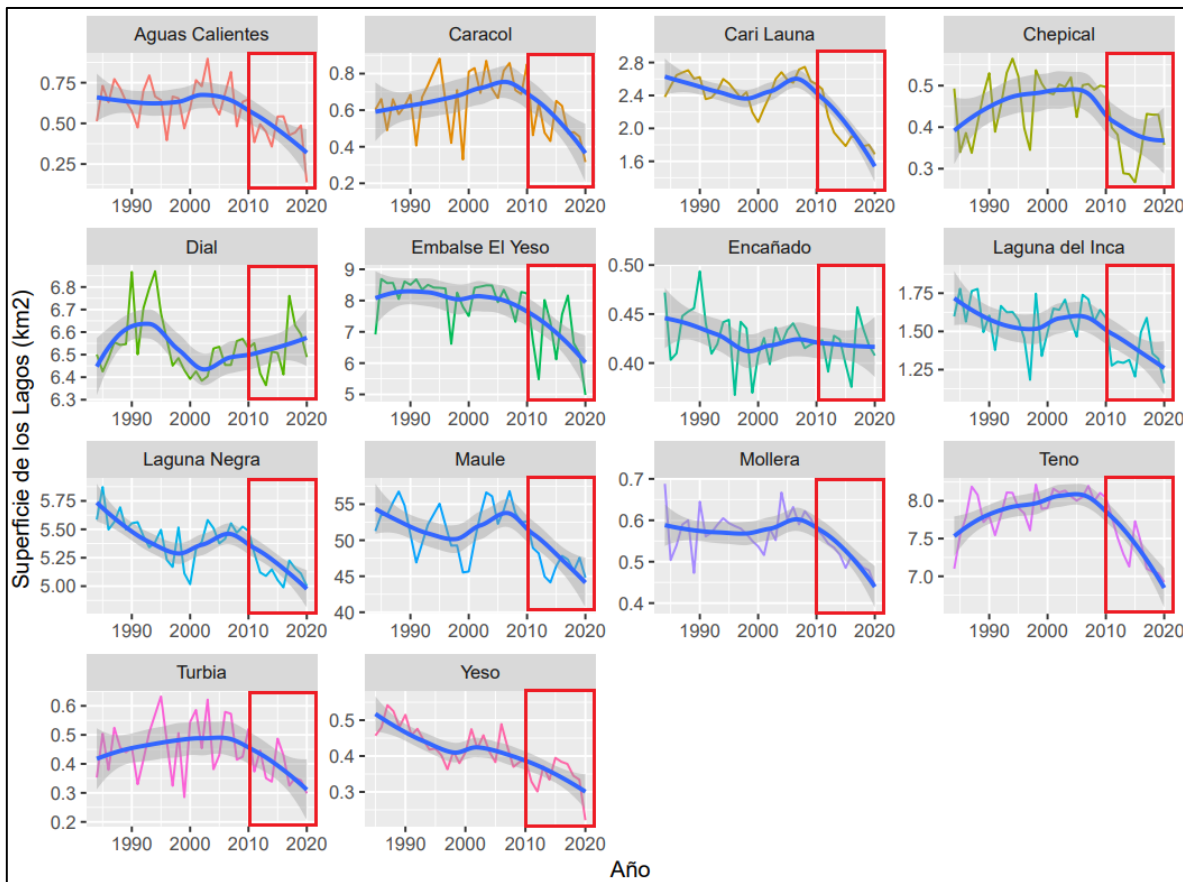
3.1.2.4 Lagunas Andinas ubicadas en los 36°S

Laguna Carilauna (2707 m.s.n.m) se ubica en la parte alta de la cuenca del río Maule, región del Maule, provincia de Talca y en la comuna de San Clemente entre los 36°1'S y los 70°23'O (Figura 7), alcanza una superficie de 2,2 km² al año 2017 (Tabla 4). Cerca, se ubica laguna del Maule (2163 m.s.n.m) que es una laguna natural embalsada en 1947 y corresponde a la laguna con mayor dimensión del estudio con una superficie de 46,7 km² y una capacidad de 127 km³ (Tabla 4). Se ubica en la región del Maule, provincia de Talca y en la comuna de San Clemente entre los 36°3'S y los 70°29'O (Figura 7). Su régimen es mixto, siendo los aportes de nieve y lluvia los más importantes y su principal uso es de riego y generación de energía hidroeléctrica (Carrevedo et al., 2015). Finalmente, Laguna Dial (1607 m.s.n.m) se ubica en la región del Maule, provincia de Talca y en la comuna de San Clemente entre los 36°26'S y los 70°57'O (Figura 7). Tiene una superficie de 7 km²(Tabla 4). Su difícil acceso hace que el uso de la laguna sea complejo, pero se desarrolla turismo de baja escala a sus alrededores y pesca deportiva.

3.2 Variaciones en la superficie de los lagos de 1984 a 2020

En los 36 años de estudio, las superficies de los lagos muestran variaciones importantes (Figura 9, Anexo 5). Se observa que todas las lagunas al año 2020 se encuentran perdiendo superficie, siendo la Laguna Aguas Calientes la que presenta una mayor disminución, perdiendo 0,3 km² de su superficie original (Tasa de variación [TV] 1984-2020= 73%) (Tabla 5). Mientras que, Laguna Dial, es la que menor superficie ha perdido con respecto a la de 1984, cuya pérdida alcanza los 0,012 km² (TV= 0,2%) (Tabla 5). La mayoría de las lagunas pequeñas (<1,0 km², Figura 8) presentan variaciones más extremas en su lámina de agua. Mientras que, las lagunas con mayor tamaño (>1,0 km², Figura 8) presentan una menor variación. Las lagunas altoandinas muestran fluctuaciones siguiendo una misma tendencia; en este sentido se observan periodos donde todas las láminas incrementan (e.g. 1985, 1998, Figura 8) y otros en que descienden (e.g. 1991, 1997, Figura 8). A partir de 2010, se observa una tendencia general a la disminución de la superficie en los lagos (Figura 8).

Figura 9: Variación Interanual de la lámina de agua de los lagos andinos seleccionados (superficie mayor a 0,5 km²) de 1984-2020. En rojo se destaca la tendencia general a la disminución de la superficie de los lagos altoandinos a partir de 2010 correspondiente al periodo de la Megasequía.



Se evidencia una tendencia general a la disminución del área de la superficie de las lagunas durante 1984-2020 (Figura 9). Las láminas exhiben 3 comportamientos principales: “jorobado”, con un aumento inicial hasta los 2000-2005 seguido de una disminución general en las superficies, que se exagera en los últimos 10 años de estudio, correspondiente a las lagunas Aguas Calientes, Chepical, Caracol, Teno, Turbia. CariLauna, Embalse el Yeso, Laguna lo Encañado, Laguna del Inca, Mollera y Yeso, presentan un patrón “lineal decreciente” donde existe una disminución inicial leve hasta los 2000, seguido de un incremento ligero y progresivo hasta el 2010 donde se evidencia una disminución importante en las superficies. Un comportamiento curvo de aumento general exhibe laguna Dial, para los primeros años, donde se evidencia un incremento de superficie hasta 1995, seguido de una disminución hasta el 2002 que repunta en los años posteriores.

La dispersión calculada por el coeficiente de variación (CV) para las superficies de las lagunas registradas entre 1984 y 2020 indica que existe una tendencia al aumento general hacia el sur, especialmente en los 35°S. De esta forma, las lagunas que se ubican en la región del Maule (Aguas Calientes, Caracol y Turbia), son las que presentan una mayor variación en su superficie dentro de los 36 años de estudio alcanzando un CV de 26%, 25% y 21% respectivamente (Figura 10 y 11). Estas lagunas pierden entre 0,2-0,3 km² de su superficie original, representando pérdidas de 73%, 48% y 29% (TV=Tabla 5). Se observa un retroceso general en las orillas de las lagunas Aguas Calientes y Turbia, mientras que Caracol presenta un retroceso centrado en su zona distal (Figura 11).

Figura 10: Coeficiente de Variación estimado para los lagos andinos entre 1984-2020. En rojo las lagunas que más variaron (CV>20%), en azul las que presentan una variación media (CV=10-20%) y en verde una variación leve (CV<10%)

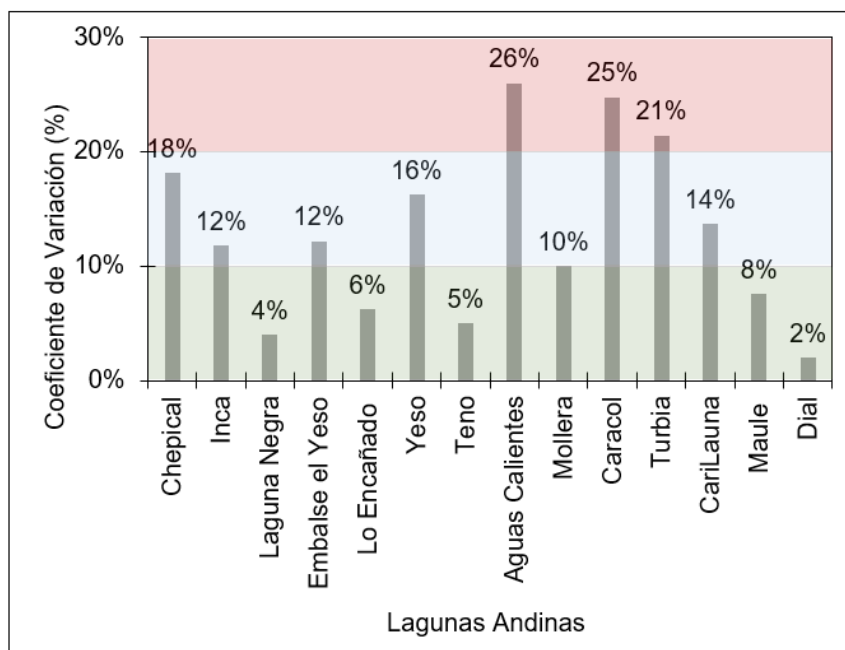
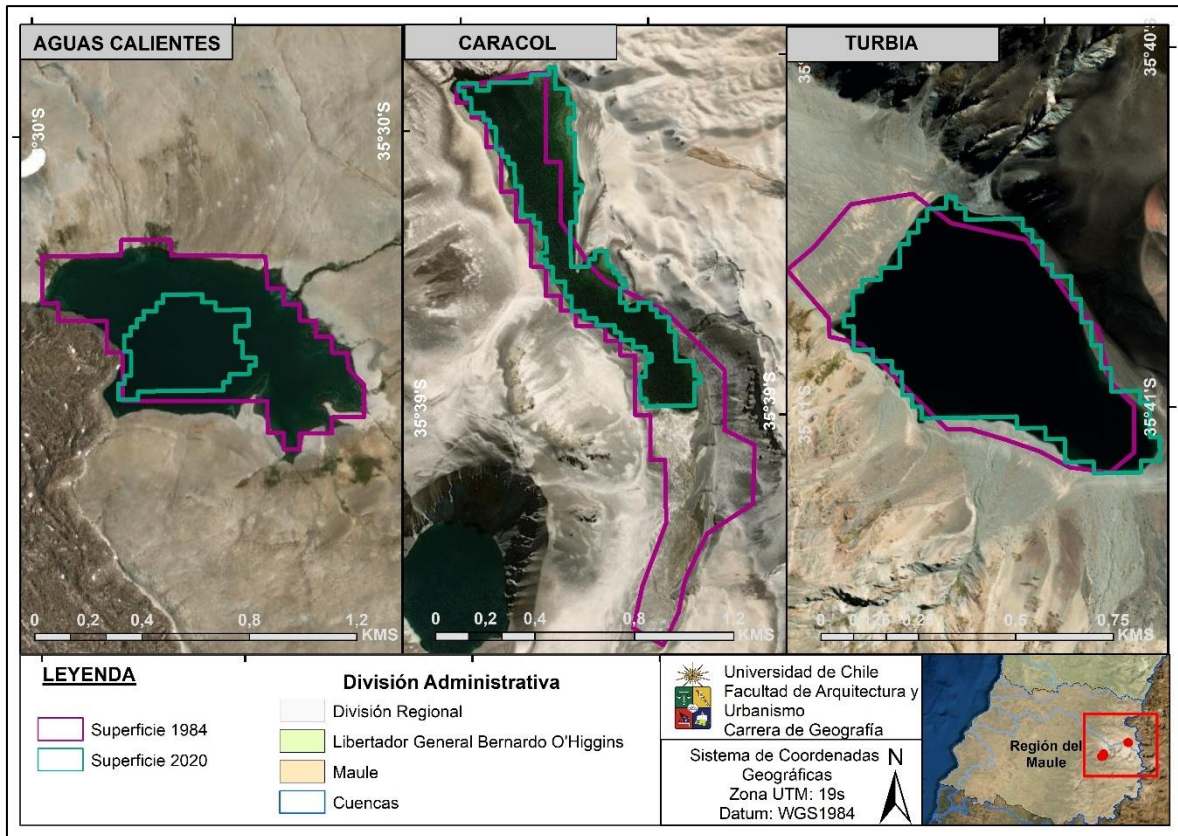
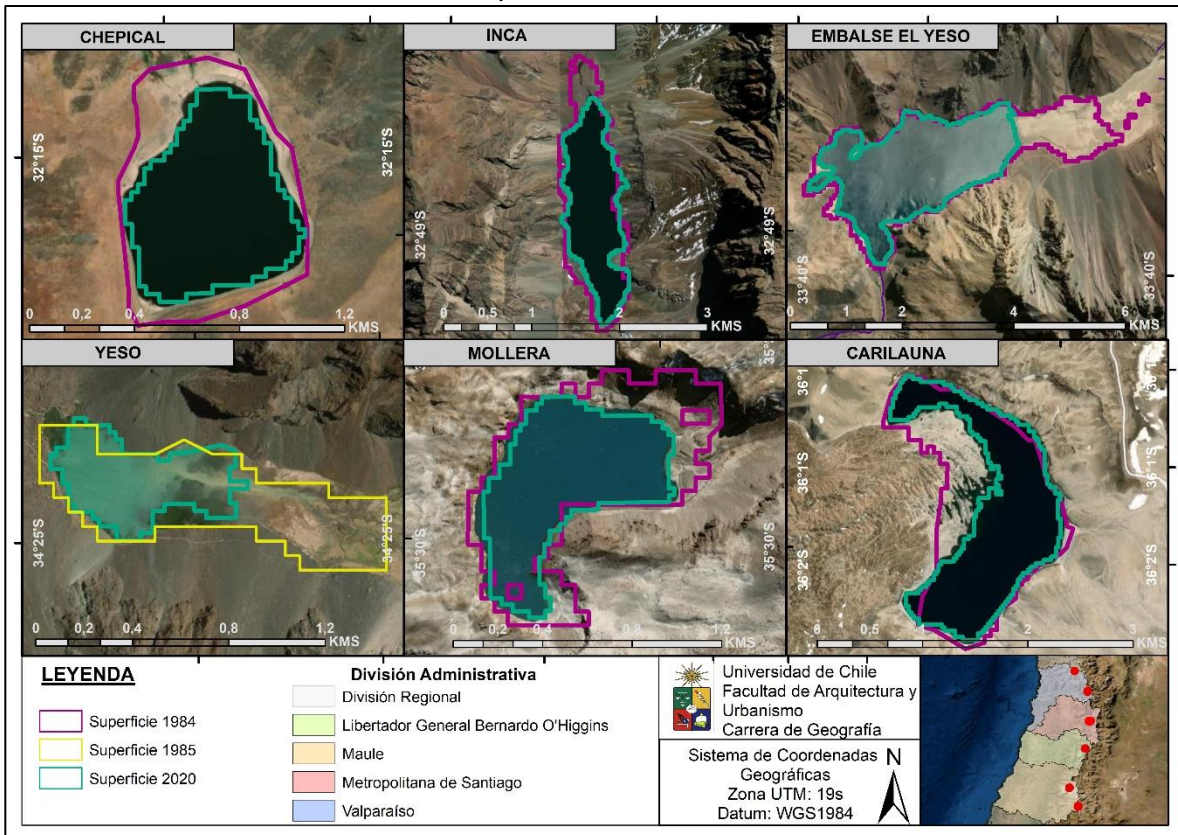


Figura 11: Variación de Superficies de lagunas altoandinas con alta variabilidad (CV> 20%).



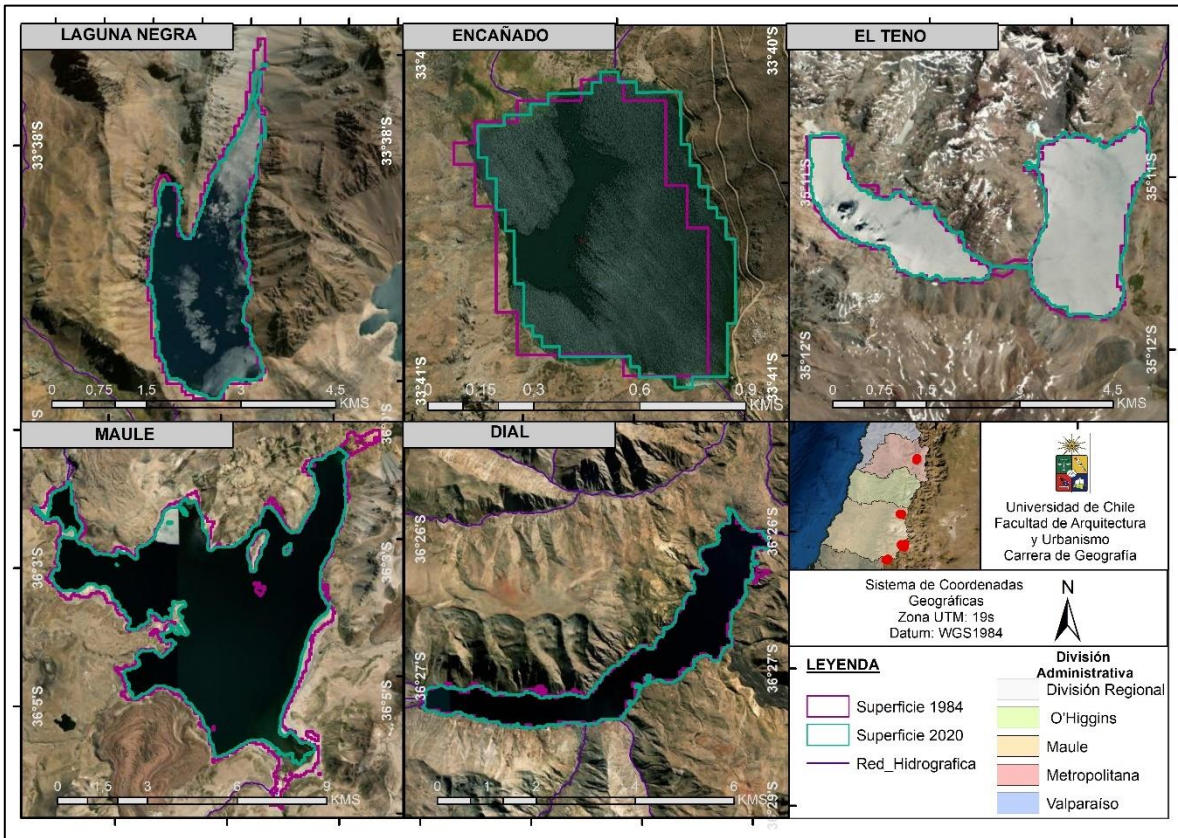
Las lagunas que exhiben una variación media son Chepical, Inca, Embalse el Yeso, el Yeso, la Mollera y Carilauna; en esta clasificación se concentra la mayor cantidad de lagunas altoandinas, que muestran una disminución general en sus orillas (Figura 12). Laguna Chepical presenta un CV de 18% en los 36 años de estudio, con una pérdida del 28% de su superficie original (0,1 km²). Laguna del Inca(CV=12%) y el Embalse el Yeso (CV=12%) pierden 0,4km² y 1,9 km² de 1984 al 2020, alcanzando una pérdida de 27% y 28% respectivamente. Laguna el Yeso (CV=16%), presenta una perdida del 52% (0,2 km²) de su superficie original. Mollera y CariLauna tienen un CV de 10% y 14% lo que representa pérdidas de 0,2 km² (36%) y 0,6 km² (29%) respectivamente (Figura 10 y 11, TV=Tabla 5).

Figura 12: Variación de superficies de lagunas altoandinas con variabilidad media (CV = 10% - 20%). Se muestra 1985 como la superficie inicial de el Yeso porque no presenta superficie en 1984.



Los cuerpos de agua que presentan una variación baja corresponden a laguna Negra, Lo Encañado, el Teno, el Maule y Dial cuyo retroceso se observa simultáneamente en todas las orillas (Figura 13). Estas lagunas presentan una gran superficie por lo que el cambio en cuanto a km^2 es leve. Laguna Negra y Lo Encañado presentan un CV de 4% y 6% respectivamente con pérdidas de $0,4 \text{ km}^2$ (27%) y $0,06 \text{ km}^2$ (14%) desde 1984. El teno (CV= 5%) pierde $0,1 \text{ km}^2$ de su superficie original equivalente a una pérdida del 2%. El Maule (CV= 8%) reduce su superficie en 13% ($6,4 \text{ km}^2$) y Dial presenta un coeficiente de 2% con una pérdida de $0,01 \text{ km}^2$ (0,1%) (TV=Tabla 5 y Figura 10).

Figura 13: Variación de superficies de lagunas altoandinas con variabilidad baja (CV menor al 10%)



3.2.1 Variabilidad en las superficies lacustres comparando dos periodos.

En general, se observa que las superficies de lagos más bajas se encuentran en los últimos 10 años de estudio (2010-2020) (Figura 9), mientras que las más altas ocurren en la década de los 90-2000, exceptuando Laguna Caracol, Turbia y lo Encañado. Caracol (media=0,63 km², DE= 0,16), muestra una superficie mayor previo al 2010 oscilando desde 0,88 km² (1995) a 0,29 km² (1999). Turbia (media=0,44 km², DE=0,09) oscila de 0,28 km² en 1999 a 0,63 km² en 1995 y Lo Encañado (media=4,25 km², DE=0,02) fluctúa desde 0,36 km² en 1996 a 0,49 km² en 1990. Las demás lagunas, exhiben su superficie más baja en el segundo período de estudio. Lago Chepical (media=0,44 km², DE=0,08) presenta su mayor superficie en 1994 (0,57 km²) y fluctúa hasta 0,23 km² en el 2015. Laguna del Inca (media=1,52, DE=0,17) oscila entre 1,78 km² en 1985 a 1,16 km² en el 2020. Laguna Negra (medio=7,78, DE= 0,95) varía de 5,87 km² en 1985 a 5,0 km² en el 2016. Embalse el Yeso (media=7,78, DE=0,95) cuya superficie fluctúa de 8,69 km² en (1985) a 4,98 km² (2020). Lago el Yeso (media = 0,41 km², DE=0.07) varía de 0.54 km² en 1987 a 0,22 km² en 2020, lago Teno (media = 7,76 km², DE=0,39) oscila desde 8,22 km² en 1998 a 6,93 km² en 2020.

Laguna Cari Launa (media=2,35 km², DE=0,32) presenta su superficie más baja en el 2020 (1,69 km²) y la más alta en 2009 con 2,75 km². Mollera (media=0,5 km², DE=0,1) evidencia su superficie mayor en 1984 con 0,6 km² que varía a 0,4 km² en el 2020. Aguas calientes (media = 0,58 km², DE=0,15) fluctúa de 0,9 km² en 2003 a 0,14 km² en 2020. Laguna del Maule (media = 50,7 km² DE=3,83) va desde 56,82 km² en 1988 a 44,14 km² en 2014. Finalmente, Dial (media=6,53km², DE=0,15) varía de 6,87 (1994) a 6,36 en el 2013.

Tabla 5: Variaciones de la superficie lacustre de los lagos andinos comparando dos períodos (1984-2009) y (2010-2020). * = valor p > 0,05.

Lago	Periodo	Promedio (km ²)	W	Tasa de Variación 1984-2020	Superficie pérdida (km ²)	Superficie pérdida (%)
Chepical	1984-2009	0,47	*	-28%	0,09	19,15
	2010-2020	0,37				
Laguna el Inca	1984-2009	1,59	*	-27%	0,24	15,09
	2010-2020	1,35				
Laguna Negra	1984-2009	5,45	*	-8%	0,3	5,50
	2010-2020	5,15				
Embalse el Yeso	1984-2009	8,17	*	-28%	1,31	16,03
	2010-2020	6,86				
Encañado	1984-2009	0,42		-14%	0,01	2,38
	2010-2020	0,41				
Yeso	1984-2009	0,44	*	-12%	0,1	22,73
	2010-2020	0,34				
Teno	1984-2009	7,92	*	-3%	0,55	6,94
	2010-2020	7,37				
Mollera	1984-2009	0,57	*	-10%	0,09	15,78
	2010-2020	0,51				
Aguas Calientes	1984-2009	0,64	*	-73%	0,18	28,1
	2010-2020	0,45				
Caracol	1984-2009	0,68	*	-48%	0,14	20,59
	2010-2020	0,53				
Turbia	1984-2009	0,46	*	-15%	0,08	17,39
	2010-2020	0,38				
Cari Launa	1984-2009	2,5	*	-29%	0,58	23,20
	2010-2020	1,93				
Maule	1984-2009	52,34	*	-13%	5,21	9,95
	2010-2020	47,14				
Dial	1984-2009	6,54		-0,2%	0,019	0,29
	2010-2020	6,52				

Al comparar los dos períodos de estudio (Tabla 5), se observan diferencias significativas en la mayoría de las lagunas, exceptuando Laguna Dial y Laguna lo Encañado

cuyo valor p es mayor a 0,05. Existe una disminución mayor en las superficies lacustres durante los últimos 10 años, que en 1984-2009, especialmente Aguas Calientes y Cari Launa cuyas superficies pierden 0,18 km² y 0,58 km² respectivamente de un periodo a otro, equivalente a una pérdida de 28,1% y 23,20% de su superficie. Mientras que Laguna Dial y Laguna Lo Encañado, son las que presentan la menor pérdida de superficie comparando los dos rangos de estudio, con una pérdida de 0,019 km² (0,29%) y 0,01 km² (2,38%) respectivamente. Laguna el Maule, es la que más superficie perdió (5,21 km²), pero el porcentaje alcanzado es bajo debido a la gran extensión superficial de dicha laguna. La pérdida de superficie total para los lagos andinos de Chile Central desde 1984 hasta el 2020 fue de 8,89 km², la mayor pérdida se exhibe en la última década (Tabla 5)

3.2.2 Tendencias en las superficies lacustres

Se estimaron las tendencias de las lagunas altoandinas mediante el estadístico de Mann Kendall (Tabla 6), y se obtuvo que la mayoría de las lagunas presenta una tendencia significativa decreciente, lo que concuerda con el escenario mostrado en la Figura 9. Laguna Chepical, Caracol, Turbia y Dial muestran una tendencia decreciente pero no significativa en sus superficies.

La laguna con una mayor tendencia a la pérdida anual es el Maule con un Q= 0,184 km² /año, este valor va acorde la superficie y al promedio de la lámina de agua, y se puede relacionar con su CV (8%) el cual indica que su variación interanual en términos de km² es leve en comparación con su gran tamaño. Le sigue el Embalse el Yeso con una pérdida de 0,037 km² por año, que también, coincide con el CV medio que presenta la laguna, lo cual evidencia que existen años en que las variaciones interanuales se alejan del promedio y superan el medio km² de diferencia. Las lagunas ubicadas en la región del Maule (35° y 36°) son las que presentan una tendencia mayor a la pérdida, alcanzando decrecimientos anuales entre 0,002 a 0,02 km². Mientras que las lagunas de la región de Valparaíso (32°) son las que presentan la menor tendencia, con Laguna del Inca perdiendo 0,009 km² de su superficie anualmente (Tabla 6).

Si se mantienen las condiciones y el comportamiento actual de reducción de las superficies, se estima que en los próximos 50 años ya comiencen a secarse algunos cuerpos de agua estudiados. En este sentido, la más pronta a la desaparición corresponde a la laguna Aguas Calientes la que, de mantenerse las tendencias, se secaría en el año 2039 ya que presenta pérdidas anuales de 0,007 km². Esto coincide con lo mencionado anteriormente ya que es la laguna con la más alta tasa de variación negativa, siendo la que más porcentaje de superficie ha perdido de 1984 al 2020 (Tabla 5). Otra laguna, que estaría pronto a desaparecer es el Yeso que con sus decrecimientos de 0,005 km²/año desaparecería en el 2066. CariLauna, proyecta una superficie de 0,6 km² en 50 años más y desaparecería en el 2096. Laguna del Inca, Embalse el Yeso y Mollera estarían secándose aproximadamente en los 2100. Laguna el Maule, Negra y Encañado presentan una desaparición tendencial en los 2264, 2392 y 2462 respectivamente. Laguna el Teno

muestra la mejor proyección, dado que la pendiente de sen (Q) negativa que posee mantiene la lámina de agua hasta el siglo XXVI (Tabla 6).

Tabla 6: Valor Estadístico de Man Kendall para las lagunas altoandinas. Se muestra la tendencia significativa de las variaciones en las lagunas donde Q= Pendiente de Sen, es la superficie pérdida anualmente. Tendencia= en base al valor z se clasifica en TSD= tendencia significativa decreciente y TNSD= tendencia no significativa decreciente. Desaparición tendencial= es el año en que la laguna se secaría a partir del 2020.

Lagos	Q (km ² /año)	Significancia	Superficie a los 50 años (km ²)	Desaparición Tendencial
Chepical	-0,002	TNSD	-	-
Laguna del Inca	-0,009	TSD	0,736	2156
Laguna Negra	-0,013	TSD	4,341	2392
Embalse el Yeso	-0,037	TSD	3,141	2154
Encañado	-0,001	TSD	0,362	2462
Yeso	-0,005	TSD	0	2066
Teno	-0,013	TSD	6,259	2540
Mollera	-0,003	TSD	0,304	2182
Aguas Calientes	-0,007	TSD	0	2039
Caracol	-0,002	TNSD	-	-
Turbia	-0,003	TNSD	-	-
Cari Launa	-0,022	TSD	0,608	2096
Laguna del Maule	-0,184	TSD	35,620	2264
Dial	-0,001	TNSD	-	-

3.3 Clima y cambios en las superficies lacustres

3.3.1 Variabilidad climática en los Andes Centrales

Los datos climáticos obtenidos para los andes centrales evidencian variaciones importantes (Figura 14). Se observa un gradiente de precipitación que se incrementa de norte a sur y una tendencia general hacia su disminución en la última década (Figura 14.a). Los lagos ubicados entre los 32°-33°y 34°S presentan una precipitación anual con tendencia no significativa decreciente, con una disminución de 2,2 mm/año (Chepical) a 4,0 mm/año (Laguna Negra) (Tabla 7). Mientras que, los lagos ubicados en los 35°S-36°S muestran una tendencia significativa decreciente con una reducción anual que oscila entre 5,3 mm/año (Yeso) a 7,1 mm/año (Dial) (Tabla 7). Así, se evidencia una disminución general en las precipitaciones durante los 36 años de estudio (Tabla 7) con mayor variabilidad, concentración de lluvias y periodos húmedos en 1984-2009, siendo Laguna Dial, Laguna Turbia, Laguna del Maule y Caracol las que registran una mayor cantidad de precipitaciones, alcanzando promedios sobre los 640 mm (Figura 14.a, Tabla 8). Laguna

Chepical e Inca son las que presentan la menor cantidad de lluvia, con un promedio de 256 mm y 340 mm respectivamente en los 36 años de estudio (Figura 14.a). Desde el 2010 existe una reducción importante en los montos de precipitaciones para todos los lagos, con máximas de 600 mm (Figura 14.a, Tabla 8). En este sentido, para describir mejor la situación climática, se compararon los montos de precipitaciones en dos periodos 1984-2009 y 2010-2020 (Tabla 8). Así, por ejemplo, Laguna del Inca redujo su promedio en 120 mm de un periodo a otro equivalente a un déficit de 31%. Asimismo, Los montos de lluvia de Chepical disminuyeron de 280 mm a 198 mm, representando un déficit de 30%, Embalse el Yeso fluctúa de 444 mm a 319 mm (28%). Laguna de lo Encañado pierde 128 mm de un periodo a otro equivalente a un 27%. De igual manera, Laguna el Yeso disminuye de 533 a 393 (25%) y la Laguna el Yeso varía de 533 mm a 399 mm en el 2020 (25%). Las lagunas ubicadas en los 35° (Teno, Mollera, Aguas Calientes, Caracol, Turbia, Cari Launa, Laguna del Maule y Dial) varían desde 600 mm - 800 mm aproximadamente en el primer periodo a 400 mm - 600 mm aproximadamente en el segundo. En general, los lagos presentan un déficit de precipitaciones entre 2010-2020 que oscila de 22% a 31% (Tabla 8)

Figura 14: Datos climáticos para las lagunas andinas de 1984-2020 obtenidos de Terraclimate (Abatzoglou et al, 2018). a) Precipitación media anual b) Evaporación media anual c) Temperatura media anual. Se resalta el periodo de 2010-2020 correspondiente a la Megasequía (Garreaud et al., 2020).

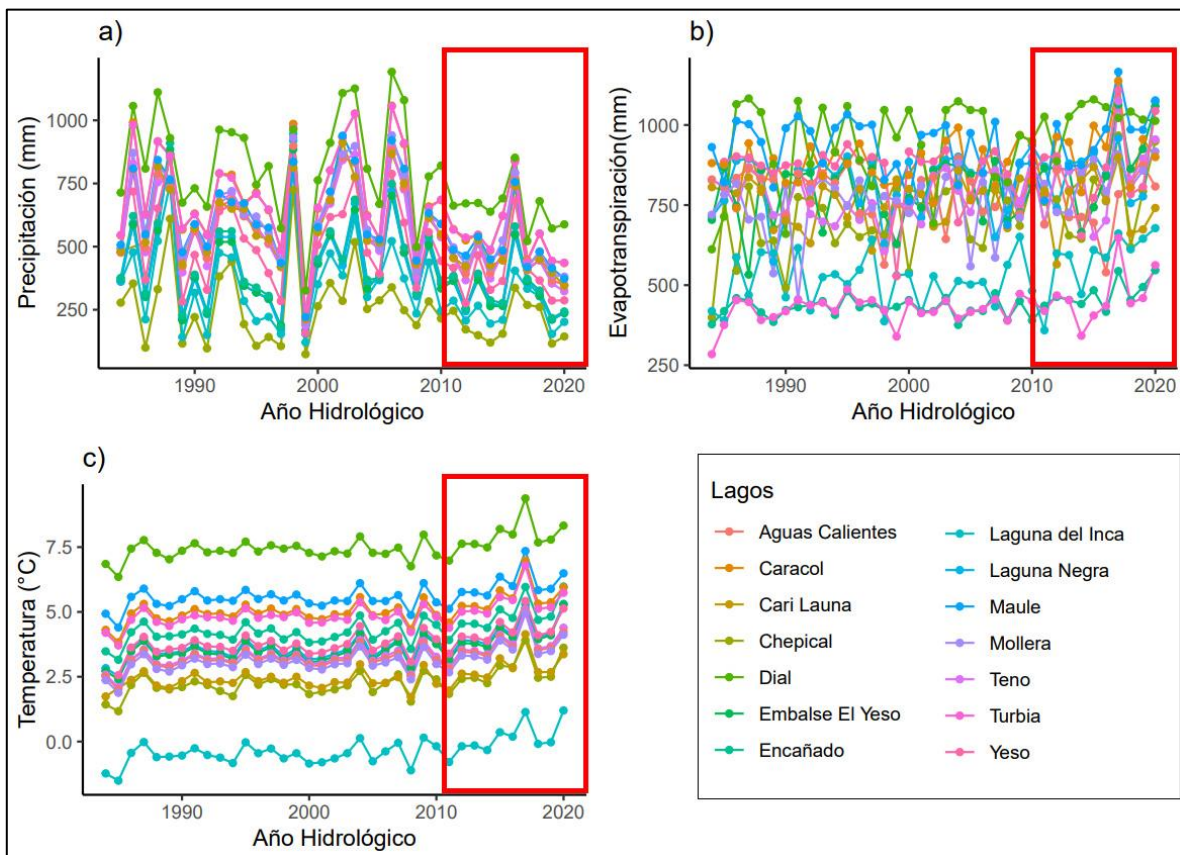


Tabla 7: Estadístico de Man Kendall para los datos climáticos de las lagunas altoandinas desde 1984-2020.

Lagos	Precipitación		Temperatura		Evaporación	
	Q (mm/año)	Tendencia	Q (°C/año)	Tendencia	Q (mm/año)	Tendencia
Chepical	-2,214	TNSD	0,022	TSC	4,391	TSC
Laguna del Inca	-3,722	TNSD	0,024	TSC	3,648	TSC
Laguna Negra	-4,042	TNSD	0,026	TSC	1,812	TNSC
Embalse el Yeso	-3,794	TNSD	0,027	TSC	2,663	TSC
Encañado	-3,944	TNSD	0,026	TSC	1,447	TSC
Yeso	-5,397	TNSD	0,025	TSC	-0,142	TNSD
Teno	-5,861	TSD	0,024	TSC	2,724	TSC
Mollera	-6,118	TSD	0,023	TSC	3,147	TSC
Aguas Calientes	-5,833	TSD	0,023	TSC	-1,371	TNSD
Caracol	-6,379	TSD	0,022	TSC	2,461	TNSC
Turbia	-5,510	TSD	0,022	TSC	1,054	TSC
Cari Launa	-5,915	TSD	0,018	TSC	0,878	TNSC
Laguna del Maule	-5,842	TSD	0,019	TSC	0,118	TNSC
Dial	-7,195	TSD	0,018	TSC	1,439	TNSC

Tabla 8: Resumen de los datos climáticos de las lagunas altoandinas de Chile Central en dos periodos.

Lagos	Precipitación (mm)			Temperatura (°C)			Evaporación (mm)		
	Promedio (1984-2009)	Promedio 2010-2020)	Cambio (%)	Promedio (1984-2009)	Promedio 2010-2020)	Cambio (%)	Promedio (1984-2009)	Promedio (2010-2020)	Cambio (%)
Chepical	280	198	30,9%	2,1	2,7	27,4%	700,8	779,6	11,3%
Laguna del Inca	375	255	31,1%	-0,5	0,1	-	519	572,5	10,3%
Laguna Negra	446	323	27,4%	3,5	4,2	20%	811,2	876,2	8%
Embalse el Yeso	444	319	28%	3,4	4,1	20,6%	777,8	869,1	11,7%
Encañado	464	336	27,4%	4,1	4,8	17%	430	465,7	8,3%
Yeso	533	393	25,2%	3,7	4,3	16,9%	831,4	863,8	3,9%
Teno	614	458	24,9%	3,2	3,7	17,7%	766,7	844,3	10,1%
Mollera	642	494	23,6%	3,0	3,5	18,6%	736,5	832,3	13%
Aguas Calientes	611	464	23,9%	3,1	3,7	17,6%	782,4	761,7	-2,7%
Caracol	715	559	23,6%	4,9	5,5	11,2%	872,7	923	5,8%
Turbia	713	559	23,5%	4,7	5,3	11,3%	427,9	462,3	8,1%
Cari Launa	611	469	23,7%	2,3	2,8	21,6%	752,3	764,8	1,7%
Laguna del Maule	642	496	23,8%	5,5	6,0	9,0%	925,3	956,1	-16,6%
Dial	841	670	22,5%	7,3	7,8	6,8%	950,6	1016,7	-20%

La temperatura media anual en los Andes Centrales muestra variaciones importantes y un comportamiento homogéneo en todas las lagunas en los 36 años de estudio. (Figura 14. c.) Se observa una tendencia significativa creciente, con incrementos anuales que oscilan entre 0,018 °C (CariLauna) a 0,026 °C (Embalse el Yeso) (Tabla 7). Las temperaturas medias más altas se registran en el segundo periodo, siendo Laguna Dial la que mayor temperatura presenta dentro del estudio, variando de 7,3°C a 7,8°C (Tabla 8). Mientras que, las temperaturas más bajas se observan en el primer periodo, siendo Laguna del Inca la que menor temperatura presenta oscilando de -0,53°C en 1984-2009 a 0,1°C en los últimos diez años. Laguna Chepical varía de 2,1°C en el primer periodo a 2,6°C en el segundo. Las lagunas ubicadas en los 33°S aumentan aproximadamente 0,6°C de un periodo a otro (Tabla 8). El Yeso, fluctúa de 3,6°C a 4,2°C. El Teno, Mollera y Aguas calientes presentan una variación cercana a los 0,5°C al comparar los períodos de 1984-2009 y 2010-2020. Entre 1984 y 2009, las lagunas Caracol y Turbia oscilan en torno a 4,9°C y 4,7°C respectivamente. Estas lagunas experimentan un incremento de la temperatura durante el período 2010-2020 oscilando en torno a 5,4°C y 5,2°C respectivamente. Cari Launa y el Maule aumentan 0,4°C de un periodo a otro. Así, se evidencia un aumento sostenido en las temperaturas para todas las lagunas que coincide con las tendencias climáticas global actual (Figura 14.c.).

Para la evaporación media anual se registran variaciones en todas las superficies que demuestran una tendencia creciente al año 2020 (Figura 14.b., Tabla 7). La zona donde se registra mayor evaporación corresponde a los 35° en la región del Maule alcanzando montos sobre los 1000 mm al 2020 para laguna Maule y Dial (Figura 14.b.). Al analizar los dos periodos de estudio, se observa un aumento entre 70 y 100 mm para lagunas Chepical, Embalse el Yeso, Teno y Mollera, equivalente a un cambio de 11,2%, 11,7%, 10,1% y 13% respectivamente (Tabla 8) y cuyos incrementos anuales oscilan entre 2,7 mm y 4,3 mm (Tabla 7). Laguna del Inca oscila de 519 mm en el primer periodo a 572 mm en el segundo, equivalente a un cambio porcentual del 10% (Tabla 8) y un incremento anual de 3,6 mm (Tabla 7). Laguna lo Encañado y Turbia aumentan 53,4 mm y 34,4 mm de un periodo a otro, con un incremento anual de 3,6 mm y 1 mm respectivamente (Tabla 7). Laguna Negra, laguna Caracol, Turbia, Maule y Dial presentan una tendencia positiva y no significativa. Así, en el periodo de 1984-2009 laguna Negra, varió de 811 mm a 876 mm en el 2010-2020 (8%), con un aumento anual de 1,8 mm (Tabla 7 y 8). Laguna Caracol y Dial aumentaron 50,2 mm (5%) y 66 mm (19%) al 2020 con un incremento anual de 2,4 mm y 1,4 mm respectivamente (Tabla 7 y 8). Asimismo, CariLauna y Maule presentaron variaciones de 752 mm y 952 mm en 1984-2009 a 764 mm y 956 mm en el 2010-2020, con un aumento anual leve de 0,8 mm y 0,1 mm respectivamente (Tabla 7 y 8). Laguna el Yeso y Aguas Calientes son las únicas que presentan variaciones leves y tendencias no significativas, oscilando de 831 mm y 782 mm a 863 mm y 761 mm equivalentes a un déficit de 0,1% y 1,3% respectivamente (Tabla 7 y 8).

3.3.2 Efecto del Clima en la Lámina de Agua de los lagos andinos 1984-2020

Para analizar la relación entre las superficies lacustres y los datos climáticos, se elaboraron gráficos combinados y correlaciones, con un promedio móvil de 3 años, que serán analizadas por grados:

3.3.2.1 Lagos andinos ubicados en los 32°

Como se mencionó anteriormente, se observa que se siguen las tendencias globales. Estas consisten en una disminución en los montos de precipitaciones, donde desde el 2010 no pasan los 400 mm anuales (Figura 15), un aumento de temperatura (Figura 16) y un incremento en la evaporación (Figura 17). El espejo de agua de la laguna el Chepical e Inca, presenta una tasa de variación de 1984-2020 de 28% y un 27% respectivamente (Tabla 5).

La Tabla 9 resume las correlaciones obtenidas para las variables climáticas y las lagunas andinas estudiadas entre 1984-2020, los diagramas de correlación se pueden observar en el Anexo 6, 7 y 8. Para la precipitación, se obtuvieron asociaciones positivas, pero significativas sólo en Chepical. En el caso de las temperaturas, ambas lagunas exhibieron una tendencia negativa y significativa y para la evaporación se identifican correlaciones negativas, donde sólo laguna del Inca demuestra un comportamiento significativo (Tabla 9). De esta forma, la variación en las láminas de agua se puede analizar visualmente en 3 periodos, que finalizan con una disminución abrupta en la superficie de las lagunas (1984-2000, 2001-2010, 2011-2020): Desde 1984 hasta los 2000, donde se observan cambios extremos en lámina de agua, con dos puntos de decrecimiento notorios en las superficies (1991 y 1997) asociados a montos de precipitación muy bajos (220-300 mm aproximadamente) en el año actual y en los dos años anteriores (Figura 15), a un aumento de temperatura media anual (Figura 16), que se puede relacionar con el calentamiento superficial del lago ya que se registran mayores cantidades de agua evaporada para 1991 y 1997 para Laguna Chepical e Inca (Figura 17). También se observa, un crecimiento significativo en las láminas de agua en el año 1994 en Chepical y 1998 en Inca, lo que viene acompañado de un monto de precipitación importante (400 mm, Chepical y 835 mm, Inca), una bajada en la temperatura, registrando 1,75°C (Chepical) y -0,65°C (Inca) y una disminución en la evaporación con 631 mm y 387 mm respectivamente (Figura 15, 16 y 17).

El segundo periodo corresponde al 2001-2010, donde las diferencias interanuales de la superficie lacustre son mínimas y la lámina se comporta más estable. Laguna Chepical en 2005 experimenta una anormal bajada de su superficie que coincide con bajos montos de precipitación anual tanto en 2004 como en 2005 (287 mm), una disminución en la temperatura cercana al 1°C en 2005 precedida por un año cálido con temperaturas por sobre los 6°C y una evaporación de 684 mm (Figura 15,16 y 17). Mientras que, laguna El Inca se mantiene estable hasta 2004/2005, donde presenta un decrecimiento de su superficie la que no concuerda con su año hidrológico actual, pero si con el anterior, donde

se registra una caída importante en la precipitación con 300 mm, un aumento en la temperatura de 0,13°C y una evaporación estable (Figura 15, 16 y 17).

El tercer periodo corresponde a los últimos 10 años de estudio, donde se experimenta una pérdida constante de superficie de ambas lagunas, sin incrementos hasta el 2015. Esta disminución está asociada a una reducción en las precipitaciones con 176 mm aproximadamente para Chepical y 234 mm para Inca, un aumento sostenido y significativo en las temperaturas cercano a 2,8°C (Chepical) y 1,3°C (Inca) y un incremento en la evaporación de 747 mm y 519 mm respectivamente (Figura 15, 16 y 17). En el año 2016 se experimenta un aumento en las láminas seguido de una caída importante. La disminución de precipitaciones, el aumento de temperatura y evaporación a partir del 2016 coincide perfectamente con la disminución de la superficie que se experimenta hasta la actualidad evidenciando que la lámina de agua sigue el comportamiento de las variables climáticas (Figura 15, 16 y 17).

Entre 1984-1998 y 2012-2016 se evidencian los cambios más drásticos en las superficies que en el resto de los años. El año 1998, corresponde al punto de mayor incremento de las superficies, que se relaciona con montos importantes de precipitación. Existen 6 decrecimientos significativos en la superficie de las lagunas (1987, 1991, 1997, 2005, 2015 y 2020), las que concuerdan con un bajo monto de precipitación, con aumentos de temperatura y evaporación.

Tabla 9: Correlación entre las superficies lacustres y la precipitación media anual, temperatura media anual y evaporación media anual. Esta correlación se estimó para un promedio móvil de 3 años. R= Coeficiente de Correlación de Pearson, * = valor $p < 0,05$.

Lagunas	Precipitación	Temperatura	Evaporación
	R	R	R
Chepical	0,57*	-0,46*	-0,0068
Inca	0,74	-0,5*	-0,38*
Negra	0,51*	-0,56*	-0,26
Embalse el Yeso	0,54*	-0,55*	-0,29*
Encañado	0,1	-0,11	-0,32*
Yeso	0,6*	-0,56*	0,06
Teno	0,66	-0,58*	-0,4*
Mollera	0,44*	-0,58*	-0,45*
Aguas Calientes	0,88	-0,55*	0,48
Caracol	0,63*	-0,58*	-0,11
Turbia	0,7	-0,4*	-0,25
CariLauna	0,57*	-0,72	-0,23
Maule	0,73	-0,5*	-0,056
Dial	-0,01	0,16	-0,021

Figura 15: Comparación entre la variación de la superficie de las lagunas andinas seleccionadas en función de la precipitación media anual.

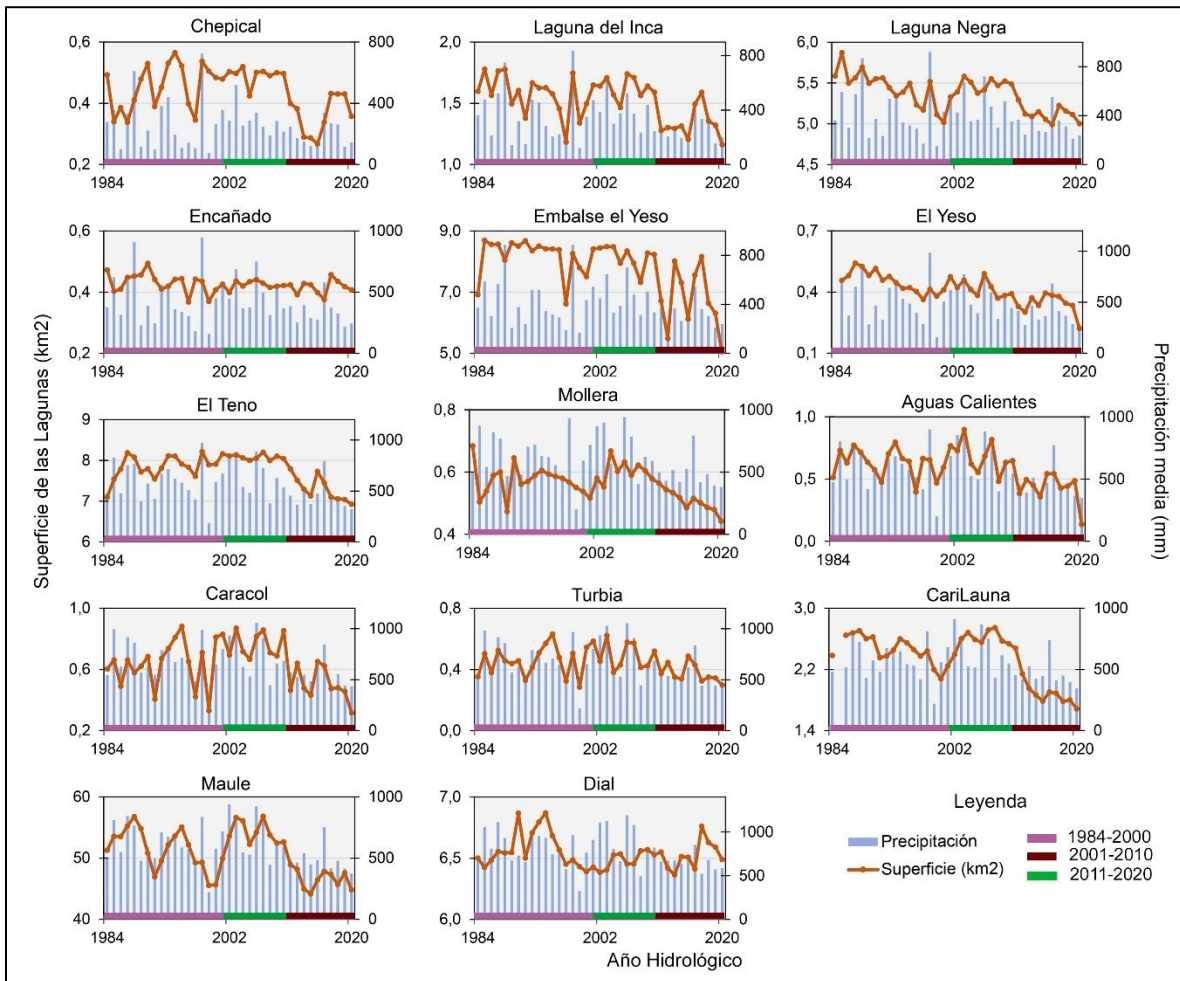


Figura 16: Comparación entre la variación de la superficie de las lagunas andinas seleccionadas en función de las temperaturas medias anuales.

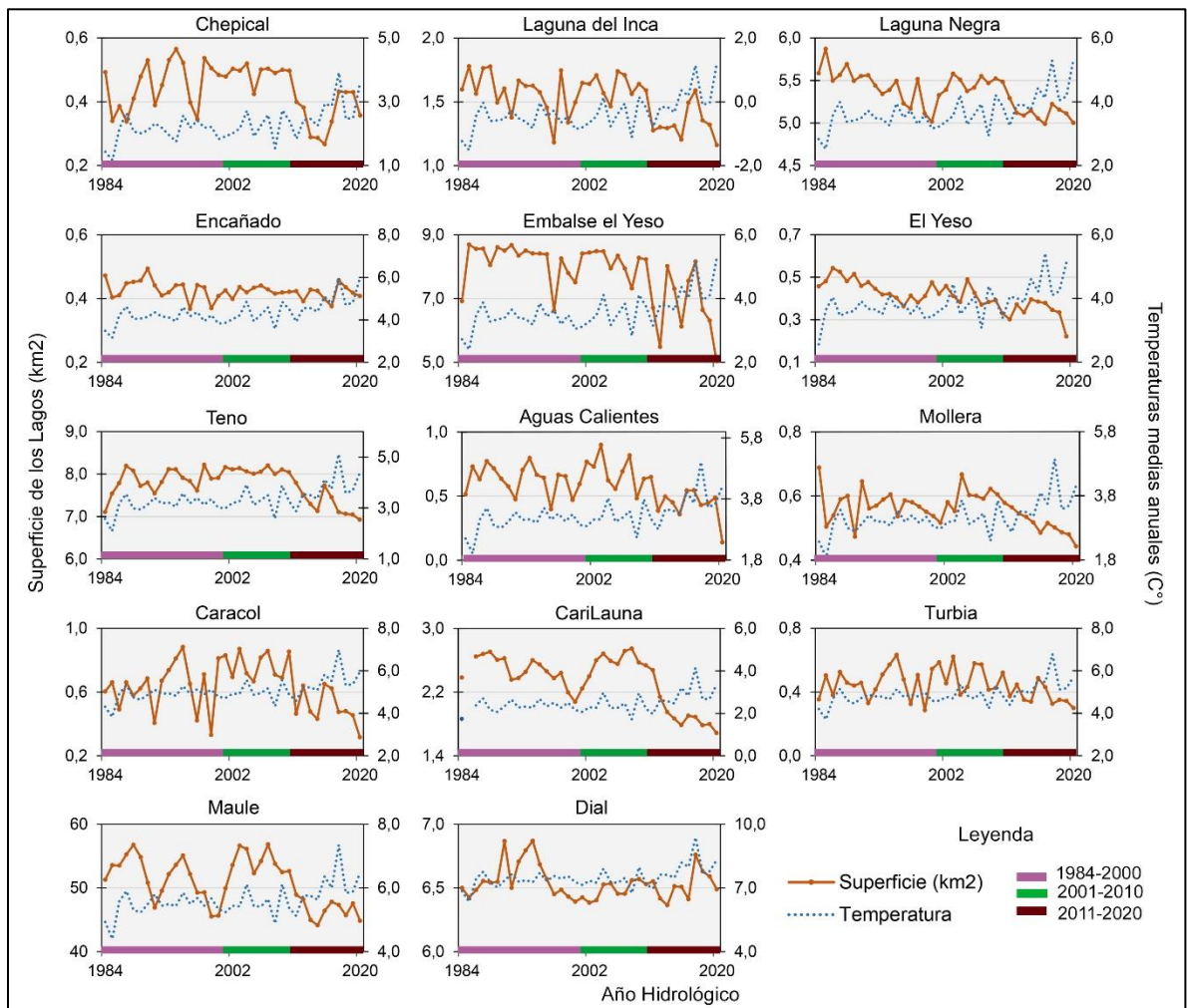
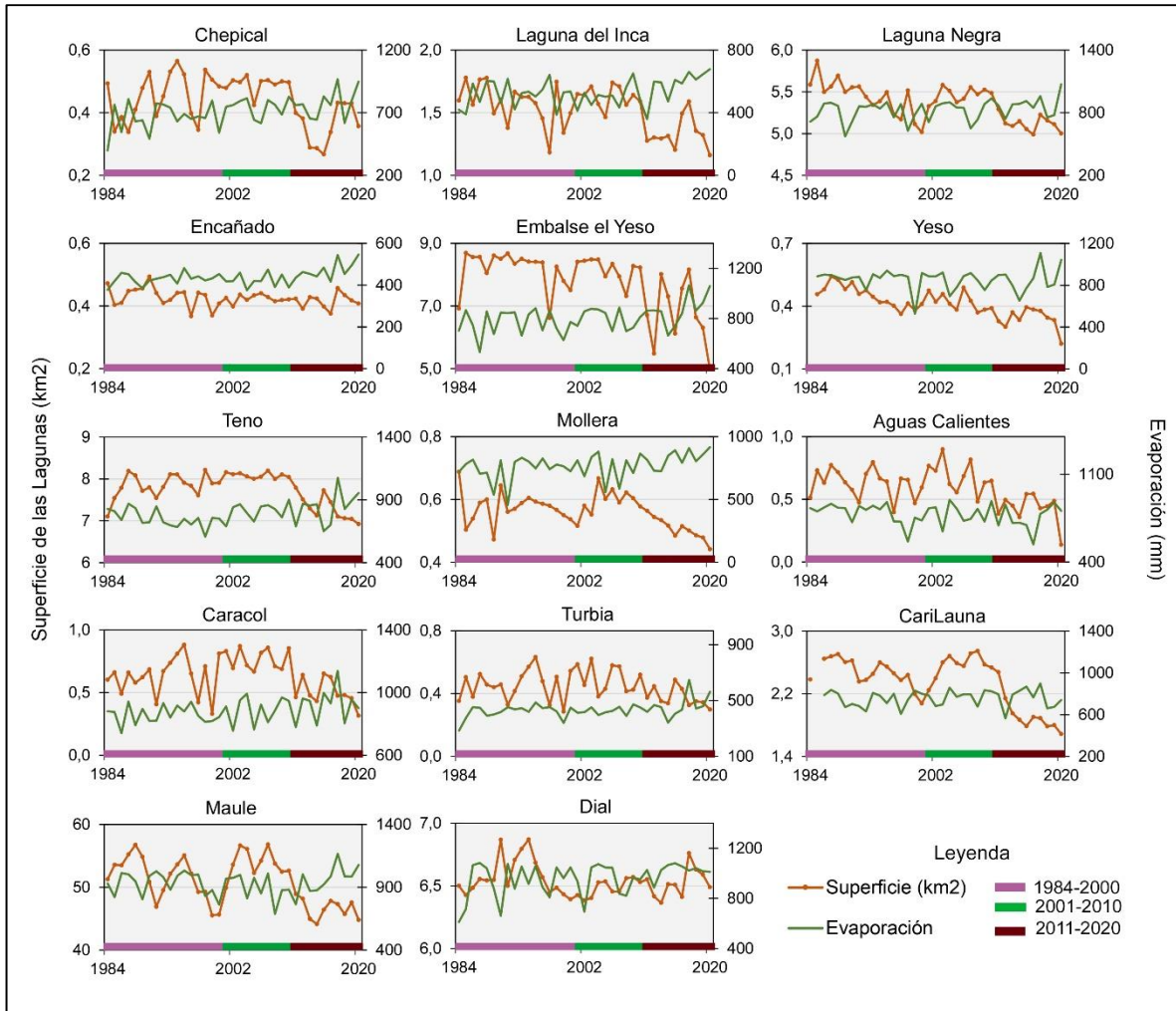


Figura 17: Comparación entre la variación de la superficie de las lagunas andinas seleccionadas en función de la evaporación media anual.



3.3.2.3 Lagunas andinas en los 33°S

Corresponde al complejo Laguna Negra, Embalse el Yeso y lo Encañado, los que presentan una variación desde 1984 de 8%, 28% y 14% respectivamente (Tabla 5). Nuevamente se siguen las tendencias para temperatura (Figura 16), precipitación (Figura 15) y evaporación (Figura 17), donde en los últimos 15 años las precipitaciones no sobrepasan los 600 mm como años anteriores.

Las precipitaciones muestran una correlación positiva y significativa, exceptuando encañado en el que se exhibe una asociación pero que no es demostrativa. La temperatura media anual evidencia una correlación negativa para las 3 lagunas mencionadas, pero significativa sólo en Negra y Embalse el Yeso. Para la evaporación se registran correlaciones negativas y significativas en Encañado y Embalse el Yeso (Tabla 9). De este

modo, las láminas de agua de las 3 lagunas evidencian un comportamiento similar, que se puede analizar en 3 periodos: 1984-2000, donde las variaciones en la superficie son abruptas de un año a otro y se destacan 3 decrecimientos importantes (1986, 1997 y los 2000) (Figura 15), los que se encuentran asociados a una caída en la precipitación, registrando montos que oscilan entre 300 mm y 400 mm, un aumento en las temperaturas que fluctúa de 3°C-4°C, lo que se puede relacionar a mayor agua por fusión de nieves, sin embargo, esto requiere mayor información ya que no se puede determinar con los datos actuales; y, un aumento en la cantidad de evaporación registrada para los años mencionados, que rodea los 400 mm para Lo Encañado y los 800 mm para Negra y Embalse el Yeso. Existe 1 año donde el crecimiento en la superficie es notorio (1991), el cual va acompañado de un aumento significativo en los montos de lluvia (800 mm - 910 mm) los dos años anteriores, una disminución en la temperatura y en la evaporación lo que indica menos pérdida de agua (Figura 15).

El segundo periodo corresponde 2001-2010, donde los cambios en la lámina de agua son menores e incluso se destaca el Embalse el Yeso, donde los primeros años mantiene su superficie estable. En este periodo, se registran años donde las láminas no responden de la misma forma a las variables climáticas, sin embargo, hacia el final del periodo antes mencionado, se empieza a asimilar el comportamiento (2008) donde la lámina de las tres lagunas desciende, asociada a un monto de precipitación bajo, cercano a 300 mm aproximadamente para las 3 lagunas, una temperatura media anual de 2,9°C para Negra, 3,5°C para Encañado y 2,8°C para el Embalse precedida de un año cálido anterior y un aumento en la evaporación con 700 mm (Embalse) y 390 mm (Encañado) (Figura 15, 16 y 17).

El último periodo, corresponde desde el 2010 a la actualidad, vuelven a aparecer los cambios abruptos en las superficies y se puede observar que las temperaturas medias presentan una menor variación y se quedan entorno los 5 y 6°C (Figura 16). La correlación con la lámina es visible y responde a la tendencia de los datos climáticos: por ejemplo, para las precipitaciones, se evidencia que cuando existe un incremento, la lámina aumenta; esto ocurre en el 2017, que es el último año donde incrementan las superficies y que va acompañado de un monto de precipitación importante el año hidrológico anterior, y es significativo para laguna Negra y Embalse el Yeso (Tabla 9, Figura 15), lo que, también, se asocia al calentamiento superficial de los lagos ya que la evaporación alcanza valores sobre los 1000 mm para Embalse el Yeso y 500 mm para lo Encañado, que corresponden a las lagunas con correlación negativa y significativa para superficie y evaporación (Tabla 9). Existen 3 eventos de decrecimiento importantes (2012, 2014 y 2020) los que se asocian a la disminución de las precipitaciones, al aumento de las temperaturas y al incremento de la evaporación que se ha experimentado en los últimos años (Figura 15, 16 y 17).

3.3.2.4 Lagunas andinas en los 34°S – 35 °S

Es la zona donde se localizan la mayor cantidad de lagos altoandinos: El Yeso, el Teno, Mollera, Aguas Calientes, Caracol y Turbia, los que presentan una tasa de variación

desde 1984 de 12%, 3%, 10%, 73%, 48% y 15% respectivamente (Tabla 5). Se siguen las tendencias globales para temperatura (Figura 16), precipitación (Figura 15) y evaporación (Figura 17), y en el caso de las precipitaciones, desde el 2008 no pasan los 800 mm anuales como años anteriores

Se obtuvieron correlaciones positivas para todas las lagunas, pero significativas sólo para el Yeso, Mollera y Caracol, teniendo años donde se presentan montos bajos con bajadas de superficies (1989, 1997, 2005, 2012 y 2020) (Tabla 9, Figura 15). Asimismo, la temperatura media anual muestra una correlación negativa y significativa para todas las lagunas, donde el aumento de temperatura se refleja en una disminución en la lámina de agua (Figura 16). La evaporación evidencia una correlación negativa pero que sólo es significativa en laguna El Teno y Mollera. Aguas Calientes, es la única que no presenta una asociación positiva con la evaporación y su superficie (Tabla 9).

Aguas Calientes, Caracol, Teno y Turbia presentan un comportamiento “jorobado”, mientras que el Yeso y Mollera uno “lineal decreciente” (Figura 9), sin embargo, existen momentos de cambios de superficie comunes a todos los cuerpos de agua y donde las lagunas responden de manera similar. En este sentido, se divide la lámina en tres periodos: El primero de 1984 al 2000, donde se evidencian los cambios más abruptos en la superficie. Existen 4 años de decrecimiento notorios (1989, 1991, 1997 y 1999), los que se acompañan de un aumento en la temperatura, un monto de precipitación muy bajo en el año actual y un aumento en la evaporación (Figura 15, 16 y 17). Especialmente en 1999 donde las lluvias oscilan entre 150 mm – 200 mm, se observa un incremento de la temperatura que fluctúa entre los 3°C – 5°C aumentando hacia el sur y una evaporación que se incrementa cerca de 100 mm para 1999 (Figura 15). Se reconoce un incremento significativo para todas las lagunas, en 1998 que responde a un año actual lluvioso (900 mm) y a una serie de años anteriores con precipitaciones sobre los 500 mm, a una disminución en las temperaturas entre 0,3°C y 0,5°C para 1998 y a una disminución en la evaporación, que oscila entre los 600 mm - 800 mm (Figura 17).

El segundo periodo corresponde del 2000 al 2010 donde los cambios que se registran en la superficie son menos abruptos e incluso en los primeros años lagunas Yeso, Caracol, Teno, presentan una lámina estable. Se identifican 2 eventos de crecimiento (2003 y 2007) asociados a eventos de precipitación significativos, donde las precipitaciones alcanzan valores sobre los 800 mm para el año actual, precedido por 2 años lluviosos, un aumento leve en las temperaturas de alrededor de 0,1°C y una disminución en la evaporación (Figura 15, 16 y 17). Es importante destacar que existen dos años donde la mayoría de las lagunas decrecen (2002 y 2008), sin embargo, el primer evento no se asocia a cambios en las precipitaciones ya que presenta un monto pluviométrico alto. El segundo evento de decrecimiento si se puede asociar, porque se evidencia una caída en las precipitaciones con 300 - 400 mm, un aumento de temperatura cercano a los 0,8°C y un aumento en la evaporación en Teno y Mollera de 30 mm y 300 mm respectivamente (Figura 15, 16 y 17). Las demás lagunas presentan un incremento leve en la evaporación, que no es significativo con el cambio de las superficies (Tabla 9).

Finalmente, el periodo entre 2010 y la actualidad donde las superficies muestran un decrecimiento constante con cambios moderados, exceptuando laguna Caracol y Aguas Calientes. En este periodo disminuyen las precipitaciones significativamente, las temperaturas se homogenizan entorno a los 4°C y 5°C y la evaporación aumenta alcanzando valores sobre los 1000 mm en algunos años (Figura 15, 16 y 17). Se identifican tres años de decrecimiento importante, 2014, 2017 y 2020, los que concuerdan con las tendencias climáticas descritas anteriormente. 2020 es el año con mayor decrecimiento registrado para todas las lagunas. No se observan eventos de incremento significativos en las superficies.

3.3.2.5 Lagunas en los 36°S

Corresponde a Laguna Cari Launa, Maule y Dial, que presentan una variación con respecto a su superficie desde 1984 de 29%, 13% y 0,2% respectivamente (Tabla 5). Nuevamente se observa una disminución general de las precipitaciones, un aumento de la temperatura y un incremento en la evaporación (Figura 15, 16 y 17).

Se obtuvieron correlaciones positivas con la precipitación para las tres lagunas, siendo Cari Launa la única significativa, evidenciando años en que las precipitaciones bajan junto a las superficies (Tabla 9, Figura 15). También, se identificaron asociaciones negativas para la temperatura, pero que solo son significativas en Laguna el Maule, de esta forma se tienen años en que la temperatura sube mientras las láminas bajan (Tabla 9, Figura 16). Para la evaporación se exhibió una tendencia negativa leve y no significativa (Tabla 98). Laguna Dial es la única que no presenta correlaciones significativas ni variaciones importantes. En este sentido, la lámina se divide en tres periodos: desde 1984 al 2000, donde se producen variaciones significativas alejadas del promedio. La pérdida de superficie constante entre los años 1989-1991 y 1996-2000, va acompañada de una serie de años con una reducción importante en los montos de precipitación, de al menos 200 mm (Figura 15); un aumento en la temperatura de 0,2°C para laguna el Maule alcanzando una media de 5,5°C para los años mencionados (Figura 16). Se registra un aumento leve en la evaporación de las tres lagunas (Figura 17). Se identifican dos puntos de crecimiento importante, correspondiente a los años 1988 y 1995 en el que las precipitaciones superan los 700 mm en el año actual en Maule y Cari Launa, acompañados de un descenso leve en las temperaturas y a un aumento en la evaporación (Figura 16 y 17).

El segundo periodo corresponde desde el 2000 hasta el 2010, donde las láminas presentan una variación cercana a su promedio. Las lagunas el Maule y Cari Launa siguen las mismas tendencias, mientras que laguna Dial entre los años mencionados presenta un comportamiento más pasivo con respecto a su media. Se identifica un decrecimiento importante (2005) en el que la bajada de la superficie no concuerda con el año lluvioso actual, pero se encuentra precedida por dos años en que las lluvias no sobrepasan los 500 mm anuales (Figura 15), un aumento leve en la temperatura, registrando 3°C para Cari Launa y 5°C para el Maule anteceditos por años cálidos y un aumento en la evaporación

(Figura 16 y 17). En el 2007 se registra un incremento importante en las superficies que responde a un par de años lluviosos desde el 2005, alcanzando precipitaciones de 751 mm (Cari Launa) y 921 mm (Maule) (Figura 15).

Finalmente, el periodo desde el 2010 hasta la actualidad, donde se experimenta una constante pérdida de superficie, que concuerda con el aumento de temperatura, disminución de las precipitaciones e incremento en la evaporación que se exhibe en los últimos 10 años (Tabla 7). Exceptuando el año 2017, para Laguna Dial, en que existe un pequeño aumento de superficie con respecto al promedio, el cual no responde a las precipitaciones del año hidrológico actual (522 mm) y registra un aumento en la temperatura (9,3 °C) (Figura 15, 16 y 17). Se identifican cinco eventos de decrecimientos importantes en los 30 años de estudio, donde las tres lagunas siguen el mismo comportamiento, los que concuerdan con disminución en las lluvias, aumento de la temperatura y evaporación (Figura 15, 16 y 17).

CAPITULO 4: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1 Clima y cuerpos lacustres

A nivel mundial se ha observado una tendencia a la desecación de lagunas en zonas áridas o semiáridas, donde la variabilidad climática y las presiones humanas son factores claves en la disminución del nivel de agua. Por ejemplo, el lago Chad en África (Coe y Foley, 2001), el lago Urmia en Irán (Ha Nhu et al., 2018) y laguna Acúleo en la cuenca baja de Chile Central (Barria et al., 2021). Por lo tanto, se puede esperar que los ecosistemas lacustres cordilleranos presenten la misma tendencia. En Chile central, se identificaron 216 lagos andinos, que representan 99,9 km² de superficie de agua y con una distribución que responde, en parte, a un gradiente latitudinal, ya que se observa que el tamaño y la cantidad de lagos presenta un aumento general hacia el sur, concentrándose la mayor cantidad de ellos en los 35°S (Región del Maule) (Figura 6). Esta situación, se repite para las precipitaciones, presentando montos mayores mientras aumenta la latitud (Tabla 7), lo que podría explicar la mayor presencia de lagos hacia el sur. La reducción del suministro de agua, al reducirse significativamente las precipitaciones (Tabla 7), junto al aumento de temperatura experimentado puede tener un fuerte impacto en las superficies de los lagos lo que puede desencadenar graves problemas ambientales y sociales en cuanto a la disponibilidad y seguridad hídrica. Sin embargo, para estudiar este impacto se necesita de un análisis más profundo y que considere múltiples factores como la profundidad de los lagos, entradas de agua, cambios nivales, presiones humanas, entre otros que permitiría conocer mejor la situación de los lagos andinos, ya que el NDWI aplicado en imágenes de alta resolución tiene ciertas limitaciones asociadas a la disponibilidad de imágenes, a la resolución y a la dificultad para analizar lagos pequeños (Özelkan, 2020).

4.2 Cambios en la Superficie de agua de los lagos

Las 14 lagunas de montaña seleccionadas presentan una superficie mayor a 0,5km² (DGA, 2017), exceptuando lo Encañado (0,4 km²). Las superficies de estos lagos exhiben 3 comportamientos principales (Figura 9) durante los 36 años de estudio: jorobado (Aguas Calientes, Chepical, Caracol, Teno, Turbia), “lineal decreciente” (Cari Launa, Embalse el Yeso, Encañado, Inca, Mollera y Yeso) y “curvo de aumento general” para laguna Dial. Se observa que todas las lagunas disminuyen su superficie hacia el 2020, existiendo una mayor tasa de variación y coeficiente de variación hacia el sur. Esta tendencia es especialmente importante en la región del Maule (35°S) e incluye a las lagunas laguna Aguas Calientes, Caracol y Turbia. Esta región concentra la mayor cantidad de lagunas y cuyo coeficiente de variación supera el 20% (Figura 10).

En general, las lagunas con menor superficie (<1,0km²) (Figura 8), son las que experimentan los cambios más abruptos en sus láminas de agua (Figura 9), con CV clasificados como medios y altos. Esto se puede asociar a una menor alimentación y

posiblemente a su escasa profundidad, ya que, al ser menos profunda, sus orillas son más susceptibles a los cambios ambientales y al calentamiento superficial (Quintana, 2021). Mientras que las lagunas de mayor superficie mantienen su espejo de agua más estable en los 36 años de estudio, esto principalmente por la constatación de la relación entre el cambio interanual y su extensa superficie, pues de un año a otro el área que se pierde es mínima en comparación con su gran tamaño.

Al comparar los dos periodos de estudio utilizando la prueba paramétrica de Wilcoxon, se obtuvo que la mayoría de las lagunas presenta su superficie más baja durante el periodo 2010-2020, mientras que la más alta se registra durante el periodo 1990-2000, exceptuando laguna Caracol, Turbia y lo Encañado. Estas dos últimas presentan su superficie más baja en 1990, sin embargo, el resto de los años con superficies bajas concuerda con la década del 2010. La pérdida de superficie que han experimentado los lagos desde el 2010 es de entre 6,9% y 28,1% representando una pérdida de 8,89 km² de superficie de agua, excluyendo laguna Dial, cuya pérdida es de 0,2% (0,01 km²) (Tabla 5). En este sentido, los lagos con mayores pérdidas de superficie son los ubicados en los 35°S-36°S en la Región de O'Higgins y el Maule. De esta forma, laguna Aguas Calientes es la que presenta la mayor variación (CV) y mayor pérdida (TV) dentro de los 36 años de estudio, a partir del 2010 pierde 28% de su superficie equivalentes a 0,18 km². Por otro lado, laguna Dial es la que presenta la menor variación y pérdida dentro del estudio.

Para entender el comportamiento en las láminas de las lagunas, se estimó la tendencia en sus superficies mediante el estadístico de Mann-Kendall (Tabla 6). Si se mantienen las condiciones actuales de reducción en las áreas, se estima que en los próximos 50 años comiencen a secarse algunas de ellas; tales como Aguas Calientes y el Yeso, que corresponden a las lagunas con el peor pronóstico ya que su desaparición tendencial se estima para el 2039 y el 2066 respectivamente. Sin embargo, esto corresponde solo a estimaciones, considerando el comportamiento monótonico de los datos, para tener una idea general en los lagos. Para tener una conclusión absoluta y una certeza de cuando desaparecerían estos cuerpos de agua, se necesita más información y modelos que consideren diversos factores, no sólo el climático. Además, a pesar de que los datos responden a los requisitos para utilizar el macro Man-Kendall no se registran investigaciones que lo hayan utilizado en superficies.

4.3 Variabilidad climática, Megasequía y disminución en la superficie de los lagos

El clima de Chile central sigue las tendencias globales de aumento de temperaturas, incremento en la evaporación y reducción de los montos de precipitaciones, las que se exacerbaban en la última década de estudio (2010-2020), concordando con el inicio de la Megasequía y lo mencionado por Garreaud (2011), en el que señala una disminución en las precipitaciones de alrededor de 100 mm/década. Las temperaturas muestran un aumento sobre 0,5°C para el periodo analizado y un aumento cercano a los 70 mm en la evaporación para los lagos estudiados (Tabla 7), información que coincide con lo planteado por el (CR)2, 2015 y Garreaud et al., 2017, donde señala que las temperaturas medias de

Chile Central han incrementado desde 1970, presentando incrementos entre 0,5°C y 1°C para el periodo de la megasequía. Además, se proyecta para Chile Central una disminución en las precipitaciones de alrededor del 20% en los montos actuales y un aumento cercano a los 2°C para 2065 bajo el escenario RCP 8.5, considerando de línea base los datos de 1976-2005 (Matskovsy et al., 2021).

En cuanto a los efectos del clima en las láminas de agua las correlaciones indican que, aparentemente, la pérdida de superficie va acorde a las tendencias climáticas registradas para los años 1984-2020. Las correlaciones entre las superficies y un promedio móvil de 3 años en las precipitaciones muestran una tendencia positiva y significativa que es visible y se evidencia en la Figura 15 ya que cuando existen incrementos en la superficie, estos van acompañados de años lluviosos, como es el caso de 1998 para laguna del Inca. Además, se identifican años en que la respuesta de las láminas no es inmediata a la entrada de agua y pareciera observarse un pequeño retraso de 2 a 3 años. Por ejemplo, desde el 2017 se evidencia una pérdida significativa en las precipitaciones anuales en todos los lagos (Tabla 7) que concuerda con la superficie más baja registrada para las lagunas en el 2020 (Figura 15). Esta situación coincide con lo planteado por Chura-Cruz et al., (2012) en el que señala que los cambios en el nivel del lago Titicaca responden hasta dos años más tarde a las precipitaciones. También con lo descrito por Barria et al., (2021) para laguna Acúleo, donde las entradas de agua provenientes de las precipitaciones residen aproximadamente 2.2 años en la laguna.

En el caso de las temperaturas, en general, se obtuvieron correlaciones negativas y significativas para las lagunas, indicando que existe una asociación entre estas variables de tal forma que al aumentar la temperatura se observa una disminución en las láminas como ocurre en los años 1997 en Chepical (Figura 16). En cuanto a la evaporación anual registrada, a pesar de que se obtuvieron correlaciones negativas en la mayoría de las lagunas, estas no son significativas lo que pareciera señalar que es una variable que no influye directamente en los cambios de superficie registrados. Sin embargo, existen años en se evidencian aumentos importantes acompañados de decrecimientos en las lagunas (Figura 17):

Se puede decir, que lo mencionado anteriormente es más evidente en las lagunas ubicadas al norte de los 35°S, donde la relación entre las variables es más notoria que hacia el sur, ya que la mayor cantidad de lagunas que responde significativamente a las variables climáticas estudiadas se localiza ahí, lo que nos indicaría que los lagos más susceptibles a la temperatura y a la precipitación son las ubicadas en la menor latitud del estudio, tales como Chepical, Negra y Embalse el Yeso. Sin embargo, se necesita de otros sensores ambientales y más información para poder establecer la susceptibilidad en los lagos. Laguna Dial es la única que muestra correlaciones no significativas con las tres variables climáticas, lo que se puede relacionar a que no responde a las escalas interanuales trabajadas aquí, además es la laguna ubicada a la menor altitud (1600 m.s.n.m) lo cual puede influir en los resultados obtenidos. Se necesita un análisis más detallado para entender que es lo que sucede con este cuerpo de agua.

4.3.1 Megasequía y Desafíos Actuales

Al año 2020 todos los lagos andinos estudiados se encuentran perdiendo superficie, lo que se acentúa en los últimos 10 años de estudio (Figura 9), concordando con el inicio de la megasequía (Garreaud, 2017). Esta reducción es general y responde en gran medida a las tendencias climáticas actuales para precipitación y temperatura coincidiendo con lo establecido por la literatura científica para el área (Serrano-Notivoli et al., 2020). Estos resultados se complementan con la disminución de las zonas nivales y la pérdida de masa de hielo que se experimenta a escala planetaria y que alimentan, en gran parte, los lagos durante la época estival (Shugar et al., 2020, IPCC, 2020, Shaw et al., 2021). Además, se pronostica un adelanto de la primavera y la elevación progresiva de la altura de la línea de nieve y con ello el aumento de las precipitaciones líquidas en altura (CR2, 2015), lo que significa riesgos asociados a deslizamientos de tierra (IPCC, 2020). Algo interesante sucede en las cuencas de alta montaña predominadas por el régimen nival a nivel mundial, y es que el derretimiento de glaciares ha provocado el aumento en la superficie de lagos pequeños y el surgimiento de lagos glaciares y periglaciares (Li y Wang, 2009; Liao et al., 2013, IPCC, 2020) e incluso se registran inundaciones por el desbordamiento de lagos o GLOFs (Emmer, 2017). La meseta tibetana expone diversos ejemplos de esto, como los lagos ubicados en el área de Naggu (Li y Wang, 2009) y las lagunas de Qinghai (Liao et al., 2013) que experimentan una tendencia a la expansión producto del derretimiento de glaciares. No obstante, los resultados obtenidos para las zonas montañosas de Chile Central no coinciden con lo descrito ya que los lagos estudiados pierden superficie a pesar de que se conoce una disminución en la fuente glaciar (Shaw et al., 2020). Esto podría indicar que las lagunas estudiadas no reciben los aportes directamente o son marginales estos cambios.

Como se ha mencionado anteriormente, nos encontramos frente a la sequía más extensa e intensa que ha experimentado Chile Central en los últimos tiempos (Serrano-Notivoli et al., 2020). El efecto combinado de la variabilidad natural del clima y el forzamiento antropogénico son factores claves en el mantenimiento de la Megasequía (Garreaud et al., 2019). Debido a esto, se espera una mejoría parcial en la situación climática de las precipitaciones en las próximas décadas (Garreaud et al., 2019), pero se desconoce si será suficiente para revertir el daño en las lagunas, considerando los 2 a 3 años de retraso en la respuesta de la lámina de agua a las precipitaciones identificados aquí. De esta forma, los lagos podrían colapsar y dejar de tener agua hasta el punto en que las napas subterráneas no sean capaces de recargar, como lo ocurrido con laguna Acúleo (Barria et al., 2021). Esto implicaría una mayor presión en las aguas subterráneas que ya de por sí se encuentran en una situación crítica. Muñoz et al., (2020) señala que los factores hidrometeorológicos junto a las extracciones de caudal con fines productivos y una falta de gestión han impactado negativamente en la cuenca de Petorca, donde se ha evidenciado una reducción de hasta un 300% de las aguas subterráneas de forma permanente. La reducción de las aguas subterráneas es alarmante ya que constituye a una de las fuentes de alimentación de lagos, humedales y ríos (Esteller et al., 2011). Un descenso en el nivel de estos necesariamente va a repercutir en las lagunas y sus dinámicas.

Los resultados obtenidos representan serios desafíos para la gestión de recursos hídricos. Un fuerte impacto en la superficie de estos lagos puede desencadenar graves problemas ambientales y sociales en cuanto a la disponibilidad del recurso y la seguridad hídrica (Jenny et al., 2020). Lo que pone en riesgo no solo el desarrollo de actividades agropecuarias, sino que también el abastecimiento en zonas pobladas como es el caso de la región Metropolitana, cuyo abastecimiento depende directamente de 3 cuerpos de aguas estudiados aquí y los que al 2020 se encuentran perdiendo superficie (Figura 9) (IAM, 2021). El sistema de asignación de agua en Chile está fuertemente influenciado por el mercado ya que depende de los derechos de agua, lo que limita la gestión y la supervisión del recurso (Muñoz et al., 2017). Sin embargo, es importante integrar este conocimiento para conocer la disponibilidad del recurso a futuro; la implementación de un sistema de monitoreo es crucial para conocer el estado actual de los lagos andinos lo que puede ayudar en la toma de decisiones, en las medidas de adaptación, que apunten a la gestión ambiental, en las medidas de mitigación considerando el escenario actual, y así asegurar los servicios ecosistémicos que ofrecen los lagos (Jenny et al., 2020). En este sentido, es necesario fortalecer la institucionalidad ligada a las políticas públicas en un contexto de Megasequía y Cambio Climático (Santibáñez, 2018)

A pesar de que se observa el efecto de las variables hidrometeorológicas en las lagunas andinas. Es necesario evaluar la intervención antrópica en cada una de las lagunas por separado, considerando que 6 de las 14 son embalsadas, ya que el factor humano juega un papel importante en los procesos de transformación del territorio (Aguayo, 2009).

5. Conclusiones

El análisis de imágenes satelitales y NDWI son herramientas útiles que permiten abarcar un gran periodo de tiempo y acceder a zonas de difícil acceso de forma rápida. En esta investigación se abordaron los cambios interanuales en las superficies lacustres de 14 lagos andinos y se relacionaron con datos climáticos propios de cada laguna. A partir de los resultados obtenidos es posible afirmar que el clima de Chile Central sigue las tendencias climáticas globales para temperatura, precipitación y evaporación, las que se exacerban en la última década del estudio (2010-2020), concordando con el inicio de la Megasequía. Se evidencia que todas las lagunas estudiadas reducen su lámina de agua al año 2020, presentando una tendencia general hacia la disminución que se acentúa desde el 2010, existiendo una mayor pérdida y variación en la Región del Maule (35°S). Laguna Aguas Calientes es la que presenta una mayor variación dentro del estudio, perdiendo más de un cuarto de su superficie en la última década.

En cuanto a los efectos del clima en las lagunas, se puede decir que existe una relación más clara entre las precipitaciones y las temperaturas con las láminas de agua que con la evaporación. La mayoría de los lagos presentan una correlación negativa y significativa con las temperaturas medias anuales durante 1984-2020. En el caso de la precipitación, 7 de las 14 lagunas presenta una relación significativa; mientras que, las tendencias registradas para la evaporación no fueron significativas en la mayoría de los

lagos. Sin embargo, se observan años en que al aumentar la temperatura también lo hace la evaporación. Así, desde el 2017 la disminución de los montos de precipitaciones y el aumento de temperatura concuerda perfectamente con las caídas de las superficies de las lagunas. Lo antes mencionado es más evidente en las lagunas ubicadas al norte de los 35°S. Se identificó un retraso de 2 a 3 años en la respuesta de las lagunas a la entrada de agua.

Los lagos son reservorios importantes de agua dulce y en este contexto climático son imprescindibles ya que el agua es un recurso primordial para la sociedad. Son tantas las aristas que abarca este recurso que una crisis en hídrica necesariamente va a repercutir en la sociedad y su desarrollo. Por ello es de vital importancia visibilizar los efectos del cambio climático en estos recursos para evitar su futuro deterioro y desaparición. Integrar este conocimiento y generar medidas de adaptación, monitoreo, protección y mitigación es la clave para evitar que se produzcan tragedias ecosistémicas como sería la desaparición de lagos. Aquí se plantea la variabilidad climática como una posible causa en la disminución en la superficie de los lagos, pero es importante mencionar que existen diversos factores como: volumen de agua del lago, profundidad, presiones humanas, recargas y extracción de agua (considerando que 6 lagunas estudiadas son embalsadas), afluentes, napas subterráneas, cambios glaciares, entre otras dinámicas propias del lago que no se consideran y que podrían impactar significativamente en los cambios de superficie. Se necesita un enfoque mucho más detallado para poder establecer el alcance total del impacto de la Megasequía en esta área.

DECLARACIÓN

La presente memoria fue elaborada como parte del estudio de los cambios de las superficies de los lagos andinos de Chile Central liderada por el Laboratorio de Paleoecología y Paleoambientes Cuaternarios (PUC). En dicho marco se ha publicado parte de los resultados presentados aquí en la revista *Journal of hydrology: regional studies*: Fuentealba, M., Bahamóndez, C., Sarricolea, P., Meseguer-Ruiz, O., y Latorre, C. (2021). The 2010–2020 megadrought drives reduction in lake surface area in the Andes of central Chile (32°–36°S). [en línea]. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, Vol. 38, issue 100952 <<https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2021.100952> >

CAPITULO 5: REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abramovitz, J. y Peterson, J. (1996). Imperiled waters, impoverished future: The decline of freshwater ecosystems (Worldwatch Paper No. 128). Washington, DC: Worldwatch Institute. pp.80.

Abatzoglou, T., Dobrowski, S.Z., Parks, S.A. y Hegewisch K.C. (2018). TerraClimate, a high-resolution global dataset of monthly climate and climatic water balance from 1958-2015. [en línea]. Scientific Data, Vol. 5, issue 170191 <<https://doi.org/10.1038/sdata.2017.191>> [consulta: 4 de agosto 2020]

Aguayo, M., Pauchard, A., Azócar, G., y Parra, O. (2009). Cambio del uso del suelo en el centro sur de Chile a fines del siglo XX: Entendiendo la dinámica espacial y temporal del paisaje. Revista Chilena de Historia Natural, Vol. 82, issue 3.

Alencar da Silva, K. M., Manuela, K. Silva Nóbrega, R. (2017). Tendencia Pluviométrica Y Concentración Estacional De Precipitación En La Cuenca Hidrográfica Del Río Moxotó – Pernambuco – Brasil. [en línea]. Revista Geográfica de América Central, Vol. 1, issue 58 <<https://doi.org/10.15359/rgac.58-1.12>> [consulta: 21 de junio 2021]

Alvial, I., Cruces, F., Araneda, A., Grosjean M. y Urrutia R. (2008). Estructura comunitaria de diatomeas presentes en los sedimentos superficiales de ocho lagos andinos de Chile central. [en línea]. Revista Chilena de Historia Natural, Vol. 81, issue 1 <<http://dx.doi.org/10.4067/S0716-078X2008000100007>> [consulta: 21 de julio 2020]

Ariza, A., Melgarejo, O. J. R., Serrato, P. K. y Rincón, H. A. L. (2018). Uso de índices espectrales derivados de sensores remotos para la caracterización geomorfológica en zonas insulares del Caribe colombiano. [en línea]. Perspectiva Geográfica, Vol. 23, issue 1 <<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6747881>> [consulta: 21 de junio 2021]

Asensi, C. (2021). Canarias ante la emergencia climática: Creando un clima de resiliencia. [en línea]. <https://www.ecologistasenaccion.org/wp-content/uploads/2021/10/informe_canarias_ante_la_emergencia_climatica.pdf> [consulta: 12 de agosto 2021]

Barange, M. y Perry, R.I. (2009). Physical and ecological impacts of climate change relevant to marine and inland capture fisheries and aquaculture. En: K. Cochrane, C. De Young, D. Soto and T. Bahri (eds). Climate change implications for fisheries and aquaculture: overview of current scientific knowledge. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper. No. 530. Roma. pp. 7–106

Barria, P., Chadwick, C., Ocampo-Melgar, A., Galleguillos, M., Garreaud, R., Díaz, R., Poblete, D., Rubio, E. y Poblete, D. (2021). Water management or megadrought: what caused the Chilean Aculeo Lake drying? [en línea]. Regional Environmental Change, Vol.21 issue 19 <https://www.researchgate.net/publication/349019491_Water_management_or_megadroug ht_what_caused_the_Chilean_Aculeo_Lake_drying> [consulta:2 de febrero 2021]

Caballero, M. y Vázquez, G. (2019). Lagos como sensores de cambio climático: el caso de La Alberca de Tacámbaro, Michoacán, México. [en línea]. TIP Revista Especializada en Ciencias Químico-biológicas, Vol. 22 < doi: 10.22201/fesz.23958723e.2019.0.193 > [consulta: 28 de abril de 2021]

Calcumil, B. (2017). Análisis de la precipitación en Chile central y su relación con las teleconexiones climáticas entre los años 1965 y 2015. Memoria de Geografía. Santiago, Universidad de Chile, Facultad de Arquitectura y Urbanismo. 85p.

Canales, P. (2007). Soporte para la distribución turística y difusión cultural del Cajón del Maipo-Estación San José. Memoria de Arquitectura. Santiago, Universidad de Chile, Facultad de Arquitectura y Urbanismo, 83p.

Cantor, D. y Ochoa, A. (2011). Evaluación y Análisis EspacioTemporal de Tendencias de largo plazo en a Hidroclimatología colombiana. Tesis de Magister en Ingeniería de Recursos Hidraulicos. Medellín, Universidad Nacional de Colombia. 83 p.

Carrevedo, M.L, Frugone, M., Latorre, C., Maldonado, A., Bernárdez, P., Prego, R., Cárdenas, D. y Valero-Garcés, B. (2015). A 700-year record of climate and environmental change from a high Andean Lake: Laguna del Maule, central Chile (36S). [en línea]. The Holocene, Vol. 25, issue 6 < <https://doi.org/10.1177/0959683615574584>> [consulta: 21 de junio 2021]

Catalán, J., Pla, S., Rieradevall, M., Felip, M., Ventura, M., Buchaca, T., Camarero, L., Brancelj, A., Appleby, P.G., Lami, A., Grytnes, J.A., Agusti-Panareda, A. y Thompson, R. (2002). Lake Redó ecosystem response to an increasing warming in the Pyrenees during the twentieth century. Journal of Paleolimnology, Vol.28, issue 129.

Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia (CR)2. (2015). Informe a la Nación: La megasequía 2010-2015: Una lección para el futuro. [en línea] < <https://www.cr2.cl/wp-content/uploads/2015/11/informe-megasequia-cr21.pdf>> [consulta: 14 de abril 2020]

Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX). (2004). Caracterización de los tipos de ríos y lagos. [en línea]. <[https://www.chj.es/es-es/medioambiente/planificacionhidrologica/Documents/Plan-Hidrologico-cuenca-2021-2027/Documentos-iniciales/Referencia%20bibliografica/CEH,%202005_DMA_Caracterizacion_Rios_Lagos.p](https://www.chj.es/es-es/medioambiente/planificacionhidrologica/Documents/Plan-Hidrologico-cuenca-2021-2027/Documentos-iniciales/Referencia%20bibliografica/CEH,%202005_DMA_Caracterizacion_Rios_Lagos.pdf)
df> [consulta: 20 de abril 2020]

Coe, M. T., y Foley, J. A. (2001). Human and natural impacts on the water resources of the Lake Chad basin. [en línea]. Journal of Geophysical Research: Atmospheres Vol. 106, issue D4 < <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1029/2000JD900587>> [consulta: 4 de Agosto 2021]

Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), (2012). La economía del cambio climático en Chile. [en línea]. <https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/35372/S2012058_es.pdf?sequence> [consulta: 4 de febrero 2021]

Chura-Cruz, R., Cubillos, L. A., Tam, J., Segura, M. y Villanueva, C. (2013). Relación entre el nivel del lago y la precipitación sobre los desembarques del PEJERREY *Odontesthes bonariensis* (VALENCIENNES, 1835) en el sector peruano del Lago Titicaca entre 1981 y 2010. [en línea]. *Ecología aplicada*, Vol. 12, issue 1 < http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1726-22162013000100003> [consulta: 12 de octubre 2021]

De Jong, R., Von Gunten, L., Maldonado, A. y Grosjean, M. (2013). Late Holocene summer temperatures in the central Andes reconstructed from the sediments of high-elevation Laguna Chepical, Chile (32° S). [en línea]. *Clim. Past*, Vol.9 < <https://cp.copernicus.org/articles/9/1921/2013/>> [consulta: 21 de junio 2021]

Dionizis, D. P. (2018). Análisis de las proyecciones de recursos hídricos aportantes a los sistemas Embalse El Yeso y Laguna Negra bajo el escenario de cambio climático RCP 8.5. Memoria de Ingeniería Civil. Santiago, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. 100p.

Dirección General de Aguas (DGA). (2017). Catastro de Lagos. Santiago.

Duarte, C., Alonso, S., Benito, G., Dachs, J., Montes, C., Pardo, M., Ríos, A., Simó, R. y Valladares, F. (2006). Cambio Global. Impacto de la actividad humana sobre el sistema Tierra. CSIC. Consejo superior de investigaciones científicas.

Esteller, M.V., Rodríguez, R., Cardona, A. y Padilla, L. (2011). Evaluation of hydrochemical changes due to intensive aquifer exploitation: case studies from Mexico. [en línea]. *Environmental Monitoring and Assessment*, Vol. 184, issue 9 < doi: 10.1007/s10661-011-2376-0.> [consulta: 12 de agosto 2021]

Ferrando, F. (2012). Glaciar Pirámide: Características y evolución reciente de un glaciar cubierto. Evidencias del cambio climático. [en línea]. *Investig. Geogr. Chile*, Vol 44. < <https://analesfcfm.uchile.cl/index.php/IG/article/view/26409/27702>> [consulta: 4 de agosto 2021]

Figuroa, P. (2014). Variabilidad de las precipitaciones (1965-2012) en Chile centrosur (33,9°S – 41,6°S) mediante índices estadísticos y temporales de la irregularidad. Memoria de Geografía. Santiago, Universidad de Chile, Facultad de Arquitectura y Urbanismo. 96p.

Fuentealba, M., Latorre, C., Frugone-Álvarez, M., Sarricolea, P., Giralt, S., Contreras-Lopez, M., Prego, R., Bernárdez, P. y Valero-Garcés, B. (2020). A combined approach to establishing the timing and magnitude of anthropogenic nutrient alteration in a mediterranean coastal lake-watershed system. [en línea]. *Scientific reports* Vol. 10, issue 1 < <https://www.nature.com/articles/s41598-020-62627-2>> [consulta: 4 de marzo 2021]

Gao, H. (2015). Satellite remote sensing of large lakes and reservoirs: from elevation and area to storage. [en línea]. *WIREs Water*, Vol 2, issue 2 < <https://wires.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/wat2.1065>>

Garreaud, R. (2011). Cambio Climático: Bases físicas e impactos en Chile. [en línea] Revista Tierra Adentro, Vol. 93. < http://www.dgf.uchile.cl/rene/PUBS/inia_RGS_final.pdf> [consulta. 14 de octubre 2021]

Garreaud, R., Alvarez, C., Jonathan, B., Boisier, J., Christie, D., Galleguillos, M., LeQuesne, C., McPhee J. y Zambrano, M., (2017). The 2010-2015 megadrought in central Chile: impacts on regional hydroclimate and vegetation. [en línea] Hydrology and Earth System Sciences, Vol 21. Issue 6307-6327 < <http://dgf.uchile.cl/rene/PUBS/hess-21-6307-2017.pdf> > [consulta: 31 de octubre 2021]

Garreaud, R. D., Boisier, J. P., Rondanelli, R., Montecinos, A., Sepúlveda, H. H. y Veloso-Aguila, D. (2019). The central Chile mega drought (2010–2018): a climate dynamics perspective. [en línea]. International Journal of Climatology, Vol. 40, issue 1 < http://dgf.uchile.cl/rene/PUBS/MD_dynamics.pdf > [consulta. 4 de agosto 2021]

Gordón, R. y Camargo, I. (2015). Selección de Estadísticos para la Estimación de la Precisión Experimental en Ensayos de Maíz. [en línea]. Agronomía Mesoamericana, Vol. 26, issue 1 < <https://www.scielo.sa.cr/pdf/am/v26n1/a06v26n1.pdf>> [consulta: 21 de junio 2021]

Ha Nhu, V., Mohammadi, A., Shahabi, H., Shirzadi, A., Al-Ansari, N., Bin Ahmad, B., Chen, W., Khodadadi, M., Ahmadi, M., Khosravi, K., Jaafari, A. y Nguyen, H. (2020). Monitoring and Assessment of Water Level Fluctuations of the Lake Urmia and Its Environmental Consequences Using Multitemporal Landsat 7 ETM+ Images. [en línea]. International Journal of Environmental Research and Public Health, Vol. 17, issue 4210 < doi:10.3390/ijerph17124210> [consulta: 21 de agosto 2021]

Instituto Nacional de Estadística (IDE). (2019). Zonas climáticas de Chile según Köppen-Geiger. Santiago. Escala 1:1.500.000.

Inversiones de Aguas Metropolitanas (IAM). (2021). Nuestras Operaciones. [en línea]. <<https://www.iam.cl/es/nuestro-negocio/nuestras-operaciones>> [consulta: 21 de junio 2020]

Jenny, J. P., Anneville, O., Arnaud, F., Baulaz, Y., Bouffard, D., Domaizon, I., Bocaniov, S., Chèvre, N., Dittrich, M., Dorioz, J-M, Erin, D., Dur, G., Guillard., Guinaldo, T., Jacquet, S., Jamoneau, A., Jawed, Z., Jeppesen, E., Krantzberg, G., Lenters, J., Leoni, B., Meybeck, M., Nava, V., Nöges, T., Nöges, P., Patelli M., Pebbles V., Perga, M-E., Rasconi, S., Ruetz, C., Rudstam, L., Salmaso, N., Sapna, S., Straile, D., Tammeorg, O., R. Twiss, M., Uzarski, D., Ventelä, A-M., Vincent, W., Wilhelm, S., Wängberg, S-A. y Weyhenmeyer, G. (2020). Scientists' Warning to Humanity: Rapid degradation of the world's large lakes. [en línea] Journal of Great Lakes Research, Vol. 46, issue 4 < <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0380133020300988> > [consulta: 2 de febrero 2021]

Kendall, M.G. (1962). Rank correlation methods. Hafner Publishing Company, New York.

Leng, M. (2006). Isotopes in paleoenvironmental Research [en línea] Nottingham. Springer Science y Business Media < <https://link.springer.com/book/10.1007/1-4020-2504-1> > [consulta: 5 de marzo 2021]

Liao, J., Shen, G. y Li, Y. (2013). Lake variations in response to climate change in the Tibetan Plateau in the past 40 years. [en línea] International Journal of Digital Earth, Vol. 6, issue 6 <https://www.researchgate.net/publication/254245265_Lake_variations_in_response_to_climate_change_in_the_Tibetan_Plateau_in_the_past_40_years> [consulta: 21 de junio 2021]

Lu, S., Ouyang, N., Wu, B., Wei, Y. y Tesemma, Z. (2013). Lake water volume calculation with time series remote-sensing images. [en línea]. International Journal of Remote Sensing, Vol. 34, issue 22 <<https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/01431161.2013.827814?journalCode=tres20>> [consulta: 4 de octubre 2021]

Li, L. y Wang, W. (2009). The response of lake change to climate fluctuation in north Qinghai-Tibet Plateau in last 30 years. Journal of Geographical Sciences, Vol. 19, issue 2.

Matskovsky, V., Venegas, A., Garreaud, R., A.Roig, F., Gutiérrez, A., Muñoz, A., Le Quesne, C., Klock, K. y Canales C. (2021). Tree growth decline as a response to projected climate change in the 21st century in Mediterranean mountain forests of Chile. [en línea]. Global and Planetary Change, Vol. 198 < <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2020.103406>>

Mann, H.B. (1945). Nonparametric Test Against Trend. [en línea]. Econometrica Vol.13, issue 3 < <https://doi.org/10.2307/1907187>> [consulta: 20 de julio 2020]

Martel-Cea, A., Maldonado, A., Grosjean, M., Alvial, I., De Jong, R., Fritz, S. y Von Gunten, L. (2016). Late Holocene environmental changes as recorded in the sediments of high Andean Laguna Chepical, Central Chile (32°S; 3050 m.a.s.l.). [en línea]. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, Vol. 461, issue 1 < <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2016.08.003>> [consulta: 21 de junio 2021]

Montealegre, J. (2009). Estudio de la variabilidad climática de la precipitación en Colombia asociada a procesos oceánicos y atmosféricos de meso y gran escala. [en línea] < <http://www.ideam.gov.co/documents/21021/21789/Estudio+de+la+variabilidad+clim%C3%A1tica+de+la.pdf/643c4c0e-83d7-414f-b2b4-6953f64078d3>> [consulta: 4 de octubre 2021]

Muñoz, A., Klock-Barria, K., Alvarez, C., Aguilera, I., Gonzalez, A., Lastra, J., Chavez, R., Barria, P., Christie, D., Rojas y M., leQuesne, C. (2020). Water Crisis in Petorca Basin, Chile: The Combined Effects of a Mega-Drought and Water Management. [en línea]. Water, Vol. 12, issue 648 < <https://www.mdpi.com/2073-4441/12/3/648>> [consulta: 4 de noviembre 2021]

McFeeters, S.K. (1996). The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. [en línea]. International Journal of Remote Sensing, Vol. 7, issue 7 <

<https://www.tandfonline.com/doi/citedby/10.1080/01431169608948714?scroll=topyneedAccess=true> [consulta: 21 de junio 2021]

Núñez, J. y Verbist, K. (2018). Atlas de sequías de América Latina y el Caribe. [en línea]. UNESCO y CAZALAC < http://dgf.uchile.cl/rene/PUBS/AtlasSequia_latam_UNESCO.pdf> [consulta: 5 de marzo 2021]

Oficina Nacional de Administración Oceánica y Atmosférica (NOAA). (2020). National Centers for Environmental Information, State of the Climate: Global Climate Report for 2020. [en línea] < <https://www.ncdc.noaa.gov/sotc/global/202013/supplemental/page-6.>> [consulta: 25 de diciembre 2021]

Oki, T., y Kanae, S. (2006). Global hydrological cycles and world water resources. [en línea] Science Vol. 313, issue 5790 < <https://www.science.org/doi/10.1126/science.1128845>> [consulta: 31 de octubre 2021]

Ordúz, R. (2018). Análisis multitemporal del espejo de agua del lago de Tota ubicado en el departamento de Boyacá, para los años 1989, 2001 y 2018. Tesis de Especialista en Geomática. Bogotá, Universidad Militar Nueva Granada, Facultad de Ingeniería. 15p.

Organización de las Naciones Unidas (ONU-Agua). (2019). Informe de políticas de la ONU-AGUA sobre el Cambio Climático y el Agua. UN WATER. [en línea]. <https://www.unwater.org/app/uploads/2019/12/UN-Water_PolicyBrief_Water_Climate-Change_ES.pdf > [consulta: 5 de marzo 2021]

Ovakoglou, G., Alexandridis, T., Crisman, T., Skoulikaris, C. y Vergos, G. (2016). Use of MODIS satellite images for detailed lake morphometry: Application to basins with large water level fluctuations. [en línea]. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation Vol. 51 < <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0303243416300666>> [consulta: 4 de Agosto de 2021]

Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC). (2018). Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty. [en línea] < https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/06/SR15_Full_Report_High_Res.pdf > [consulta: 28 de abril 2021]

Özelkan, E. (2020). Water Body Detection Analysis Using NDWI Indices Derived from Landsat-8 OLI. [en línea]. Polish Journal of Environmental Studies Vol. 29, issue 2 < doi: 10.15244/pjoes/110447> [consulta: 21 de junio 2021]

Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC). (2020). El Océano y la Criosfera en un Clima Cambiante. [en línea] <

https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/3/2020/07/SROCC_SPM_es.pdf> [consulta: 4 de julio 2021]

Pinilla, M., Sánchez, J., Rueda, A. y Pinzón, C. (2012). Variabilidad climática y cambio climático: Percepciones y procesos de adaptación espontánea entre campesinos del centro de Santander, Colombia. [en línea]. < http://aeclim.org/wp-content/uploads/2016/02/0090_PU-SA-VIII-2012-MC_PINILLA.pdf> [consulta: 4 de agosto 2020]

Prein, A. y Pendergrass, A (2019). Can we constrain Uncertainty in Hydrologic Cycle Projections? [en línea] Geophysical Research Letters, Vol. 46, issue 7 < <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1029/2018GL081529> > [consulta: 6 de octubre 2021]

Quintana, C. (2021). El Uso de Diatomeas como Indicador de Cambios Ambientales en Sedimentos del Lago Yanacocha (Cuzco, Perú) Durante el Holoceno Tardío. Tesis de Ingeniero Ambiental. Lima, Universidad Nacional Agraria La Molina, Facultad de Ciencias. 117p.

Quintero, M., Carvajal, Y. y Aldunce, P. (2012). Adaptación a la variabilidad y el cambio climático: Intersecciones con la gestión del riesgo. [en línea]. Revista luna azul Vol. 34 < <https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/183214/Adaptacion-a-la-variabilidad-y-el-cambio-climatico.pdf?sequence=1&isAllowed=y> > [consulta: 4 de agosto]

Richard, E. y Contreras, D. (2015). La problemática ambiental del Lago Poopó (Oruro, Bolivia) 2015: Cuando la crisis se convierte en catástrofe y la catástrofe en masacre. En: SERNANP-PROFONANPE. El reto de la conservación en Tacna. Lima.

Rivas-Ruiz, R., Moreno, J. y Talavera, J. (2013). Investigación clínica XVI Diferencias de medianas con la U de Mann-Whitney. [en línea]. Revista Médica del Instituto Mexicano del Seguro Social. Vol. 51, issue 4 < <https://www.medigraphic.com/pdfs/imss/im-2013/im134k.pdf>> [consulta: 21 de junio 2021]

Sahuquillo, A., Custodio, E., y Escaler, I. (2008). Efectos hidrológicos del Cambio climático y adaptación a los cambios con medidas de gestión. En: Simposio Internacional: Evaluación crítica de las previsiones sobre el cambio climático: una perspectiva científica: 2 y 3 de abril 2008. Madrid, Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de España. pp. 2.

Salmi, T., Määttä, A., Anttila, P., Ruoho-Airola, T. y Amnell, T. (2002). Detecting trends of annual values of atmospheric pollutants by the Mann-Kendall test and Sen's slope estimates MAKESENS—The excel template application. [en línea]. Finish Meteorological Institute, Vol. 24 < https://www.researchgate.net/publication/259356944_Detecting_Trends_of_Annual_Values_of_Atmospheric_Pollutants_by_the_Mann-Kendall_Test_and_Sen's_Solpe_Estimates_the_Excel_Template_Application_MAKESENS> [consulta: 21 de junio 2021]

Santibáñez, F., Santibáñez, P., y González, P. (2016). El cambio climático y los recursos hídricos en Chile. [en línea] < <https://www.odepa.gob.cl/wp-content/uploads/2018/01/cambioClim12parte.pdf>> [consulta: 12 de marzo 2021]

Sarricolea, P. y Romero, H. (2015). Variabilidad y cambios climáticos observados y esperados en el Altiplano del norte de Chile. [en línea]. *Revista de Geografía Norte Grande*, Vol. 62 < <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34022015000300010>> [consulta: 12 de agosto 2020]

Sarricolea, P., Ossandon, M.J. y Meseguer-Ruiz, O. (2017). Climatic regionalisation of continental Chile. [en línea]. *Journal of Maps*, Vol. 13, issue 2 < <https://doi.org/10.1080/17445647.2016.1259592>> [consulta: 4 de agosto 2021]

Serrano-Notivoli, R., Tejedor, E., Sarricolea, P., Meseguer-Ruiz, O., Vuille, M., Fuentealba, M. y de Luis, M. (2020). Hydroclimatic variability in Santiago (Chile) since the 16th century. [en línea]. *International Journal of Climatology*, Vol.41, issue S1 < <https://rmets.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/joc.6828>> [consulta:12 de Agosto 2021]

Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN). (2003). Mapa Geológico de Chile: Versión Digital. (No. 04). Santiago. Esc. 1:1.000.000.

Servicio Nacional de Turismo (SERNATUR). (2012). Atractivos Turísticos 2012 Región de Valparaíso. [en línea]. <<https://www.sernatur.cl/wp-content/uploads/2018/09/V-REGION-DE-VALPARAISO.pdf>> [consulta: 21 de julio 2020]

Sumiya, E., Dorjsuren.B., Yan, D., Dorligjav, S., Wang, H., Enkhbold, A., Weng, B., Qin, T., Wang, K. Gerelmaa, T., Dambaravjaa, O., Bi, W., Yang, Y., Ganbold, B., Gedefaw, M., Abiyu, A., Girma, A. (2020) Changes in Water Surface Area of the Lake in the Steppe Region of Mongolia: A Case Study of Ugii Nuur Lake, Central Mongolia. [en línea] *Water* Vol. 12, issue 1470 < <https://www.mdpi.com/2073-4441/12/5/1470>> [consulta: 12 de octubre 2021]

Schleussner, C., Lissner, T., Fischer, E., Wohland, J., Perrette, M., Golly, A., Rogelj, J., Childers, K., Schewe, J., Frieler, K., Mengel, M., Hare, W. y Schaeffer, M. (2016). Differential climate impacts for policy-relevant limits to global warming: the case of 1.5 °C and 2 °C. [en línea] *Earth System Dynamics* Vol. 7, issue 327-351 <<https://esd.copernicus.org/articles/7/327/2016/esd-7-327-2016.pdf>> [consulta: 1 de marzo 2021]

Shaw, T., Ulloa, G., Farías-Barahona, D., Fernández, R., Lattus, J. y McPhee, J. (2020). Glacier albedo reduction and drought effects in the extratropical Andes, 1986–2020. [en línea]. *Journal of Glaciology*, Vol. 67, issue 261 < <https://doi.org/10.1017/jog.2020.102>> [consulta: 4 de julio 2021]

Shugar, D., Burr, A., Haritashya, U.K., Kargel, J.S., Watson, C., Kennedy, M.C., Bevington, A.R., Betts, R., Harrison, S. y Stratman K. (2020). Rapid worldwide growth of

glacial lakes since 1990. [en línea] *Nature Climate Change*, Vol. 10 <<https://www.nature.com/articles/s41558-020-0855-4> > [consulta: 14 de febrero 2021]

Steffen, W., Broadgate, W., Deutsch, L., Gaffney, O., y Ludwig, C. (2015). The trajectory of the Anthropocene: the great acceleration. *The Anthropocene Review*, 2(1): 81-98.

Torres, H., Brenning, A. y García, J.L. (2013). Balance de masa del glaciar cubierto del Pirámide (Chile Central, 33°S) entre 1965 y 2000 aplicando métodos geodésicos. [en línea]. *Revista de Geografía Espacios* Vol. 3, issue 5 <http://geografia.uc.cl/images/academicos/Juan_Luis_Garcia/Torres%20et%20al_%20Espacios%205_2013_BN.pdf>

Valdespino, P., Ramírez-Zierold, J. y Merino-Ibarra, M. (2016). Los lagos tienen mucho que decir del Cambio Climático. [en línea] *Revista ContactoS* Vol. 9 <https://www.researchgate.net/publication/314671107_Los_lagos_tienen_mucho_que_decir_del_Cambio_Climatico> [consulta: 5 de marzo 2021]

Vasconi, P. (2008). Chile y el Calentamiento Global: Una mirada desde la política. [en línea]. Santiago. Liberona, F. Fundación Terram <https://www.terram.cl/descargar/cambio_climatico/rpp_-_reporte_de_politicas_publicas/RPP-24-Chile-y-el-calentamiento-global-Una-mirada-desde-la-politica-publica.pdf > [consulta: 14 de mayo 2020]

Ventura, M. (2009). Los lagos de alta montaña como sensores del cambio climático. En: *Agencia Catalana d'Aigua. Agua y Cambio climático. Diagnóstico de los impactos previstos en Cataluña.* España. pp. 215-219.

Vitousek, P. M., Mooney, H. A., Lubchenco, J., y Melillo, J. M. (1997). Human domination of Earth's ecosystems. [en línea] *Science*, Vol. 277, issue 5325 <<https://www.science.org/doi/10.1126/science.277.5325.494>> [consulta: 26 de septiembre 2021]

Wang, L., Lu, A., Yao, T. y Wang, N. (2007). The study of typical glaciers and lakes fluctuations using remote sensing in Qinghai-Tibetan Plateau. [en línea]. *IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium* < doi: 10.1109/IGARSS.2007.4423863 > [consulta: 14 de marzo de 2021]

Welz, J. y Krellenberg, K. (2016). Vulnerabilidad frente al cambio climático en la Región Metropolitana de Santiago de Chile: posiciones teóricas versus evidencias empíricas. [en línea]. *Eure*, Vol. 42, issue 125 <https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0250-71612016000100011> [consulta: 5 de agosto 2021]

Yao, F., Wang, J., Wang, C. y Cretaux, J.F. (2019). Constructing long-term high-frequency time series of global lake and reservoir areas using Landsat imagery. [en línea]. *Remote Sensing of Environment*, Vol. 232 <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0034425719302238>> [consulta: 14 de marzo 2021]

Yang, X., Zhao, S., Qin, X., Zhao, Na. y Liang, L. (2017). Mapping of Urban Surface Water Bodies from Sentinel-2 MSI Imagery at 10 m Resolution via NDWI-Based Image Sharpening. [en línea]. Remote Sens, Vol. 9, issue 6 < <https://doi.org/10.3390/rs9060596>> [consulta: 4 de agosto 2021]

Zamora, M. E., Huerta, A. H., Maqueo, O. P., Badillo, G. B., y Bernal, S. I. (2015). Cambio global: el Antropoceno. [en línea] Revista Científica Multidisciplinaria de Prospectiva, Vol. 23, issue 1 < <https://www.redalyc.org/journal/104/10444319008/html/> > [consulta: 4 de agosto 2021]

ANEXOS

Anexo 1: Colecciones de Imágenes seleccionadas por año y satélite.

Año	Satélite
1984	Landsat 5
1985	
1986	
1987	
1988	
1989	
1990	
1991	
1992	
1993	
1994	
1995	
1996	
1997	
1998	
1999	
2000	Landsat 7
2001	
2002	
2003	
2004	
2005	Landsat 5
2006	Landsat 7
2007	Landsat 5
2008	
2009	
2010	
2011	
2012	Landsat 7
2013	
2014	Landsat 8
2015	
2016	
2017	Sentinel 2
2018	
2019	
2020	

Anexo 2: Valor estadístico Z de Mann-Kendall

Ecuación	Descripción
----------	-------------

<p>Valor Estadístico Z de Mann-Kendall</p>	$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{(\text{Var}(S))^{1/2}} & \text{Se } S > 0 \\ 0 & \text{Se } S = 0 \\ \frac{S+1}{(\text{Var}(S))^{1/2}} & \text{Se } S < 0 \end{cases}$	<p>Medida que indica la posición relativa de un dato en unidades de desviación estándar con respecto a la media.</p>
--	--	--

Fuente: Elaboración propia en base a Alencar et al., (2016), 2021.

Anexo 3: Estimador de la pendiente de Sen

Ecuación	Descripción
<p>Estimador de la Pendiente de Sen.</p>	$Q = \frac{X_j - X_k}{j - k}$ <p>Q: pendiente de Sen j: 1, ...N. Xj: datos j/k: tiempo donde (j>k)</p> <p>La mediana de los N valores es el Q.</p>

Fuente: Elaboración propia en base a los descrito por Cantor y Ochoa (2011), 2020.

Anexo 4: Caracterización General de los lagos andinos de Chile Central

ID	NOMBRE	TIPO	LATITUD	LONGITUD	REGION	PROVINCIA	COMUNA	SUPERFICIE	ALTITUD
1		Laguna Menor	32° 10,835' S	70° 27,916' W	V	Petorca	Petorca	0,056	3356,9
2	LAGUNA DEL SOBRANTE	Laguna Menor	32° 11,596' S	70° 33,114' W	V	Petorca	Petorca	0,099	2546,8
3	LAGUNA CHEPICAL	Embalse	32° 15,549' S	70° 29,921' W	V	Petorca	Cabildo	0,479	3043,3
4	LAS LAGUNAS	Laguna Menor	32° 25,408' S	70° 22,244' W	V	San Felipe de Aconcagua	Putauendo	0,054	3514,5
5		Laguna Menor	32° 34,408' S	70° 12,525' W	V	Los Andes	San Esteban	0,078	3543,4
6	LAGUNA DE TORDILLO	Laguna Menor	32° 35,759' S	70° 13,684' W	V	Los Andes	San Esteban	0,098	4242,3
7	LAGUNA DEL COPIN	Laguna Menor	32° 36,023' S	70° 33,325' W	V	San Felipe de Aconcagua	Santa Maria	0,174	2470,2
8	LAGUNA DEL TORO	Laguna Menor	32° 36,854' S	70° 23,219' W	V	Los Andes	San Esteban	0,085	3594,7
9		Laguna Menor	32° 48,235' S	70° 15,308' W	V	Los Andes	San Esteban	0,057	3726,8
10	LAGUNA DEL INCA O DE PORTILLO	Laguna Menor	32° 49,250' S	70° 8,015' W	V	Los Andes	Los Andes	1,523	2855,9
11	LAGUNA DEL TORO	Laguna Menor	33° 0,512' S	70° 24,733' W	V	Los Andes	Los Andes	0,142	3340,9
12		Laguna Menor	33° 1,914' S	70° 17,010' W	V	Los Andes	Los Andes	0,095	3621,1
13		Laguna Menor	33° 3,947' S	70° 21,015' W	V	Los Andes	Los Andes	0,072	3571,1
14		Laguna Menor	33° 4,605' S	70° 16,555' W	V	Los Andes	Los Andes	0,039	3568,4
15		Laguna Menor	33° 4,650' S	70° 20,818' W	V	Los Andes	Los Andes	0,141	3547,7
16	LAGUNA DE LA TURQUESA	Laguna Menor	33° 5,481' S	70° 18,926' W	V	Los Andes	Los Andes	0,272	3372,3
17		Laguna Menor	33° 5,449' S	70° 17,010' W	V	Los Andes	Los Andes	0,095	3604,0
18		Laguna Menor	33° 6,423' S	70° 19,834' W	RM	Santiago	Lo Barnechea	0,076	3590,8
19		Laguna Menor	33° 6,692' S	70° 13,696' W	V	Los Andes	Los Andes	0,206	3759,3
20		Laguna Menor	33° 6,835' S	70° 17,081' W	V	Los Andes	Los Andes	0,075	3699,6
21		Laguna Menor	33° 7,308' S	70° 18,661' W	RM	Santiago	Lo Barnechea	0,079	3534,1
22		Laguna Menor	33° 9,203' S	70° 8,631' W	RM	Cordillera	San Jose de Maipo	0,241	3647,3
23	SAN FRANCISCO	Laguna Menor	33° 13,068' S	70° 20,611' W	RM	Santiago	Lo Barnechea	0,833	2556,2
24	LAGUNA NEGRA	Embalse	33° 38,509' S	70° 7,466' W	RM	Cordillera	San Jose de Maipo	5,427	2707,7
25	EMBALSE EL YESO	Embalse	33° 38,819' S	70° 4,416' W	RM	Cordillera	San Jose de Maipo	6,01	2570,2
26	LAGUNA DEL ENCANADO	Embalse	33° 40,240' S	70° 8,005' W	RM	Cordillera	San Jose de Maipo	0,391	2489,4
27		Laguna Menor	33° 50,846' S	70° 18,435' W	RM	Cordillera	San Jose de Maipo	0,153	3151,5
28		Laguna Menor	33° 51,678' S	70° 19,509' W	RM	Cordillera	San Jose de Maipo	0,154	2975,9
29	PIUQUENCILLO	Laguna Menor	33° 52,574' S	70° 18,867' W	RM	Cordillera	San Jose de Maipo	0,06521772	2913,1
30		Laguna Menor	33° 57,983' S	70° 19,958' W	RM	Cordillera	San Jose de Maipo	0,056	3265,4
31		Laguna Menor	33° 58,262' S	70° 20,483' W	RM	Cordillera	San Jose de Maipo	0,059	3392,3
32	PIUQUENCILLO	Laguna Menor	33° 59,214' S	70° 18,867' W	RM	Cordillera	San Jose de Maipo	0,10888323	3371,9
33		Laguna Menor	33° 59,918' S	70° 19,861' W	VI	Cachapoal	Codegua	0,036	3354,0
34		Laguna Menor	34° 0,587' S	70° 19,112' W	RM	Cordillera	San Jose de Maipo	0,167	3641,2
35	LAGUNA DE LOS PATOS	Laguna Menor	34° 1,644' S	70° 17,330' W	RM	Cordillera	San Jose de Maipo	0,092	3152,0
36		Laguna Menor	34° 1,775' S	70° 19,060' W	RM	Cordillera	San Jose de Maipo	0,162	3265,3
37		Laguna Menor	34° 1,671' S	70° 19,668' W	RM	Cordillera	San Jose de Maipo	0,021	3422,5
38		Laguna Menor	34° 1,963' S	70° 19,649' W	RM	Cordillera	San Jose de Maipo	0,032	3305,7
39		Laguna Menor	34° 2,083' S	70° 17,061' W	RM	Cordillera	San Jose de Maipo	0,12	3018,4
40		Laguna Menor	34° 3,383' S	70° 19,531' W	RM	Cordillera	San Jose de Maipo	0,045	3315,6
41		Laguna Menor	34° 3,634' S	70° 26,486' W	VI	Cachapoal	Machali	0,164	2221,0
42		Laguna Menor	34° 4,328' S	70° 26,525' W	VI	Cachapoal	Machali	0,05	2101,2
43		Laguna Menor	34° 4,451' S	70° 17,748' W	VI	Cachapoal	Machali	0,03	3288,5
44		Laguna Menor	34° 4,833' S	70° 30,333' W	VI	Cachapoal	Machali	1,194	1659,9
45		Laguna Menor	34° 5,131' S	70° 18,510' W	VI	Cachapoal	Machali	0,018	3400,7
46		Laguna Menor	34° 5,631' S	70° 30,390' W	VI	Cachapoal	Machali	0,58	1594,1
47	LAGUNA DE REYES	Laguna Menor	34° 8,825' S	70° 19,313' W	VI	Cachapoal	Machali	0,096	3201,8
48	LAGUNA VERDE	Laguna Menor	34° 20,838' S	70° 4,127' W	VI	Cachapoal	Machali	0,112	2795,2
49		Laguna Menor	34° 24,472' S	70° 27,729' W	VI	Cachapoal	Machali	0,04	2801,0
50	LAGUNA EL YESO	Laguna Menor	34° 24,881' S	70° 11,873' W	VI	Cachapoal	Machali	0,513	2153,1
51		Laguna Menor	34° 26,307' S	70° 21,817' W	VI	Cachapoal	Machali	0,032	3262,0
52		Laguna Menor	34° 26,890' S	70° 21,326' W	VI	Cachapoal	Machali	0,053	2704,3
53		Laguna Menor	34° 27,217' S	70° 21,566' W	VI	Cachapoal	Machali	0,082	2876,5
54	LAGUNA DE LOS PIUQUENES	Laguna Menor	34° 27,219' S	70° 28,816' W	VI	Cachapoal	Machali	0,099	2378,8
55		Laguna Menor	34° 30,138' S	70° 34,047' W	VI	Cachapoal	Machali	0,03	2818,0
56		Laguna Menor	34° 30,887' S	70° 11,070' W	VI	Cachapoal	Rengo	0,102	3152,2
57		Laguna Menor	34° 33,771' S	70° 14,601' W	VI	Cachapoal	Machali	0,062	2980,4
58		Laguna Menor	34° 34,064' S	70° 15,449' W	VI	Cachapoal	Machali	0,055	3059,4
59	LAGUNA DE LOS CRISTALES	Laguna Menor	34° 34,081' S	70° 30,925' W	VI	Cachapoal	Rengo	0,125	2283,0
60	LAGUNA TARA	Laguna Menor	34° 35,266' S	70° 34,280' W	VI	Colchagua	San Fernando	0,063	2935,5
61	LAGUNA NEGRA O SIERRA DE BELLEROS	Laguna Menor	34° 35,470' S	70° 32,138' W	VI	Cachapoal	Rengo	0,174	3003,2
62		Laguna Menor	34° 39,477' S	70° 15,964' W	VI	Cachapoal	Machali	0,148	3054,7
63		Laguna Menor	34° 39,497' S	70° 15,233' W	VI	Cachapoal	Machali	0,037	3113,4
64		Laguna Menor	34° 39,713' S	70° 15,412' W	VI	Cachapoal	Machali	0,022	3142,0
65		Laguna Menor	34° 39,784' S	70° 15,030' W	VI	Cachapoal	Machali	0,027	3125,5
66		Laguna Menor	34° 40,671' S	70° 18,066' W	VI	Colchagua	San Fernando	0,037	3320,4
67		Laguna Menor	34° 41,429' S	70° 18,575' W	VI	Colchagua	San Fernando	0,09	3278,5
68	SAN ANDRES	Laguna Menor	34° 42,764' S	70° 18,647' W	VI	Colchagua	San Fernando	0,06	2935,1
69	SAN ANDRES	Laguna Menor	34° 42,872' S	70° 19,988' W	VI	Colchagua	San Fernando	0,091	2646,3
70		Laguna Menor	34° 50,613' S	70° 37,726' W	VI	Colchagua	San Fernando	0,032	2637,5
71		Laguna Menor	34° 50,770' S	70° 37,255' W	VI	Colchagua	San Fernando	0,023	2541,5
72		Laguna Menor	34° 52,223' S	70° 25,952' W	VI	Colchagua	San Fernando	0,043	3037,2
73	LAGUNA GUZMÁN	Laguna Menor	34° 52,668' S	70° 44,590' W	VI	Colchagua	San Fernando	0,086	2325,2
74		Laguna Menor	34° 53,048' S	70° 24,826' W	VI	Colchagua	San Fernando	0,052	3266,0
75		Laguna Menor	34° 55,257' S	70° 34,563' W	VI	Colchagua	San Fernando	0,051	2527,9
76		Laguna Menor	34° 53,425' S	70° 44,662' W	VII	Curico	Romeral	0,054	2345,0
77		Laguna Menor	34° 58,257' S	70° 36,840' W	VII	Curico	Romeral	0,058	2623,1
78		Laguna Menor	34° 58,577' S	70° 32,735' W	VII	Curico	Romeral	0,057	2558,3
79		Laguna Menor	34° 58,567' S	70° 36,764' W	VII	Curico	Romeral	0,037	2673,5
80		Laguna Menor	35° 0,331' S	70° 37,416' W	VII	Curico	Romeral	0,251	2633,1

ID	NOMBRE	TIPO	LATITUD	LONGITUD	REGION	PROVINCIA	COMUNA	SUPERFICIE	ALTITUD
81		Laguna Menor	35° 0,905' S	70° 38,329' W	VII	Curico	Romeral	0,03	2780,3
82		Laguna Menor	35° 1,569' S	70° 37,901' W	VII	Curico	Romeral	0,184	1958,7
83		Laguna Menor	35° 4,822' S	70° 41,413' W	VII	Curico	Romeral	0,045	2427,8
84		Laguna Menor	35° 5,055' S	70° 34,711' W	VII	Curico	Romeral	0,051	2617,1
85		Laguna Menor	35° 5,667' S	70° 40,959' W	VII	Curico	Romeral	0,061	2239,4
86		Laguna Menor	35° 6,262' S	70° 38,874' W	VII	Curico	Romeral	0,129	2058,8
87		Laguna Menor	35° 6,268' S	70° 33,712' W	VII	Curico	Romeral	0,016	2737,5
88		Laguna Menor	35° 7,049' S	70° 36,632' W	VII	Curico	Romeral	0,039	2589,3
89	LAGUNA DE TENO	Embalse	35° 10,858' S	70° 33,709' W	VII	Curico	Romeral	7,985	2549,5
90	LAGUNA DEL PLANCHÓN O LOS	Laguna Menor	35° 11,324' S	70° 36,162' W	VII	Curico	Romeral	0,051	2387,2
91		Laguna Menor	35° 14,405' S	70° 37,848' W	VII	Curico	Romeral	0,107	2340,7
92		Laguna Menor	35° 16,178' S	70° 38,484' W	VII	Curico	Curico	0,051	2932,6
93		Laguna Menor	35° 19,131' S	70° 28,412' W	VII	Curico	Curico	0,267	2491,0
94		Laguna Menor	35° 21,702' S	70° 49,120' W	VII	Curico	Molina	0,063	2288,0
95		Laguna Menor	35° 22,551' S	70° 49,632' W	VII	Curico	Molina	0,064	2482,3
96		Laguna Menor	35° 23,563' S	70° 36,188' W	VII	Curico	Molina	0,074	2292,4
97		Laguna Menor	35° 23,672' S	70° 36,832' W	VII	Curico	Molina	0,026	2540,7
98		Laguna Menor	35° 25,039' S	70° 37,434' W	VII	Curico	Molina	0,081	2466,0
99	LAGUNA GRANDE	Laguna Menor	35° 25,182' S	70° 35,986' W	VII	Curico	Molina	0,101	2501,0
100		Laguna Menor	35° 28,464' S	70° 34,427' W	VII	Curico	Molina	0,048	2714,3
101		Laguna Menor	35° 28,805' S	70° 34,752' W	VII	Curico	Molina	0,019	2721,5
102		Laguna Menor	35° 28,844' S	70° 34,582' W	VII	Curico	Molina	0,013	2720,5
103		Laguna Menor	35° 28,995' S	70° 34,771' W	VII	Curico	Molina	0,033	2719,3
104		Laguna Menor	35° 29,339' S	70° 30,708' W	VII	Curico	Molina	0,416	2586,4
105	LAGUNA LAS ANIMAS	Laguna Menor	35° 29,023' S	70° 50,863' W	VII	Curico	Molina	0,043	2280,2
106	LAGO DE LA MOLLERA	Laguna Menor	35° 30,283' S	70° 38,510' W	VII	Curico	Molina	0,465	2686,6
107	LAGUNAS AGUAS CALIENTES	Laguna Menor	35° 30,376' S	70° 32,141' W	VII	Talca	San Clemente	0,696	2565,1
108		Laguna Menor	35° 31,097' S	70° 29,400' W	VII	Curico	Molina	0,171	2699,7
109		Laguna Menor	35° 31,032' S	70° 49,062' W	VII	Talca	San Clemente	0,041	2496,0
110		Laguna Menor	35° 31,545' S	70° 32,692' W	VII	Talca	San Clemente	0,062	2567,9
111		Laguna Menor	35° 31,635' S	70° 33,332' W	VII	Talca	San Clemente	0,019	2520,0
112		Laguna Menor	35° 31,876' S	70° 33,204' W	VII	Talca	San Clemente	0,01	2498,0
113		Laguna Menor	35° 31,964' S	70° 33,255' W	VII	Talca	San Clemente	0,012	2508,5
114		Laguna Menor	35° 31,867' S	70° 45,746' W	VII	Curico	Molina	0,047	2657,0
115		Laguna Menor	35° 32,012' S	70° 43,174' W	VII	Curico	Molina	0,065	2824,6
116		Laguna Menor	35° 32,165' S	70° 32,499' W	VII	Talca	San Clemente	0,032	2580,5
117		Laguna Menor	35° 32,226' S	70° 34,052' W	VII	Talca	San Clemente	0,042	2524,0
118		Laguna Menor	35° 32,251' S	70° 33,363' W	VII	Talca	San Clemente	0,008	2491,5
119		Laguna Menor	35° 32,241' S	70° 36,878' W	VII	Talca	San Clemente	0,038	2672,6
120		Laguna Menor	35° 32,383' S	70° 33,412' W	VII	Talca	San Clemente	0,007	2459,5
121	LAGUNA COLORADA	Laguna Menor	35° 32,039' S	71° 1,736' W	VII	Talca	San Clemente	0,157	2075,6
122		Laguna Menor	35° 32,465' S	70° 33,509' W	VII	Talca	San Clemente	0,005	2458,0
123		Laguna Menor	35° 32,527' S	70° 32,029' W	VII	Talca	San Clemente	0,032	2719,3
124		Laguna Menor	35° 32,481' S	70° 38,024' W	VII	Talca	San Clemente	0,056	2584,5
125		Laguna Menor	35° 32,624' S	70° 33,574' W	VII	Talca	San Clemente	0,011	2448,0
126		Laguna Menor	35° 32,648' S	70° 34,187' W	VII	Talca	San Clemente	0,006	2412,0
127		Laguna Menor	35° 32,701' S	70° 34,007' W	VII	Talca	San Clemente	0,019	2421,5
128	LAGUNA EL TOMATE	Laguna Menor	35° 32,514' S	71° 1,658' W	VII	Talca	San Clemente	0,067	2093,0
129		Laguna Menor	35° 33,041' S	70° 43,308' W	VII	Talca	San Clemente	0,031	2755,8
130		Laguna Menor	35° 33,076' S	70° 43,481' W	VII	Talca	San Clemente	0,021	2792,0
131		Laguna Menor	35° 32,907' S	71° 1,586' W	VII	Talca	San Clemente	0,035	1907,8
132		Laguna Menor	35° 33,433' S	70° 30,777' W	VII	Talca	San Clemente	0,067	3256,3
133		Laguna Menor	35° 34,078' S	70° 29,052' W	VII	Curico	Molina	0,093	3205,9
134	LAGUNA LA CABECERA DEL GRAJ	Laguna Menor	35° 36,679' S	70° 29,694' W	VII	Talca	San Clemente	0,191	2572,1
135	LAGUNA DE ALTOS DE LIRCAY	Laguna Menor	35° 37,139' S	71° 1,228' W	VII	Talca	San Clemente	0,114	2032,8
136	LAGUNA DEL CARACOL	Laguna Menor	35° 38,787' S	70° 49,675' W	VII	Talca	San Clemente	0,939	2027,3
137		Laguna Menor	35° 39,344' S	70° 50,072' W	VII	Talca	San Clemente	0,168	2060,2
138	LAGUNA LA TURBIA	Laguna Menor	35° 40,318' S	70° 51,147' W	VII	Talca	San Clemente	0,482	2034,9
139		Laguna Menor	35° 43,440' S	70° 34,702' W	VII	Talca	San Clemente	0,036	1731,8
140		Laguna Menor	35° 43,474' S	70° 49,015' W	VII	Talca	San Clemente	0,199	1896,9
141	LAGUNA LA ENGORDA GRANDE	Laguna Menor	35° 53,644' S	71° 10,306' W	VII	Linares	Linares	0,02	2183,0
142		Laguna Menor	35° 54,114' S	70° 47,536' W	VII	Talca	San Clemente	0,023	2343,5
143		Laguna Menor	35° 54,197' S	70° 48,961' W	VII	Talca	San Clemente	0,035	2082,3
144	LAGUNA LA ENGORDA GRANDE	Laguna Menor	35° 53,824' S	71° 11,844' W	VII	Linares	Linares	0,049	1945,2
145	LAGUNA LA ENGORDA GRANDE	Laguna Menor	35° 54,134' S	71° 11,666' W	VII	Linares	Linares	0,027	1891,3
146	LAGUNA LA ENGORDA GRANDE	Laguna Menor	35° 54,253' S	71° 11,077' W	VII	Linares	Linares	0,065	1943,7
147	LAGUNA LA ENGORDA GRANDE	Laguna Menor	35° 54,588' S	71° 10,868' W	VII	Linares	Linares	0,085	1932,4
148	LAGUNA LA ENGORDA GRANDE	Laguna Menor	35° 55,361' S	71° 10,747' W	VII	Linares	Linares	0,071	2002,4
149	LAGUNA LA ENGORDA GRANDE	Laguna Menor	35° 56,482' S	71° 8,385' W	VII	Linares	Linares	0,029	1997,8
150		Laguna Menor	35° 57,074' S	70° 45,548' W	VII	Talca	San Clemente	0,029	2327,8
151		Laguna Menor	34° 26,168' S	70° 29,096' W	VI	Cachapoal	Machali	0,04466582	2721,8
152	LAGUNA LA ENGORDA GRANDE	Laguna Menor	35° 56,917' S	71° 8,436' W	VII	Linares	Linares	0,098	1975,5
153		Laguna Menor	35° 57,216' S	70° 55,483' W	VII	Linares	Colbun	0,065	2082,8
154	LAGUNA LA ENGORDA GRANDE	Laguna Menor	35° 57,103' S	71° 9,168' W	VII	Linares	Linares	0,087	2248,7
155		Laguna Menor	35° 57,503' S	70° 42,655' W	VII	Talca	San Clemente	0,043	2222,2
156	LAGUNA LA ENGORDA GRANDE	Laguna Menor	35° 57,517' S	71° 10,003' W	VII	Linares	Linares	0,071	2047,1
157		Laguna Menor	35° 58,099' S	70° 42,985' W	VII	Talca	San Clemente	0,037	2422,3
158	LAGUNA LA ENGORDA GRANDE	Laguna Menor	35° 57,747' S	71° 11,624' W	VII	Linares	Linares	0,13	2210,2
159	LAGUNA LA ENGORDA GRANDE	Laguna Menor	35° 57,732' S	71° 12,612' W	VII	Linares	Linares	0,032	2039,5
160		Laguna Menor	35° 58,266' S	70° 43,520' W	VII	Talca	San Clemente	0,033	2395,5

ID	NOMBRE	TIPO	LATITUD	LONGITUD	REGION	PROVINCIA	COMUNA	SUPERFICIE	ALTITUD
161		Laguna Menor	35° 58,301' S	70° 54,430' W	VII	Linares	Colbun	0,059	2424,8
162		Laguna Menor	35° 58,461' S	70° 49,017' W	VII	Linares	Colbun	0,029	2674,0
163		Laguna Menor	35° 58,451' S	70° 54,192' W	VII	Linares	Colbun	0,031	2472,8
164		Laguna Menor	35° 59,014' S	70° 44,006' W	VII	Linares	Colbun	0,074	2540,1
165	LAGUNA LA ENGORDA GRANDE	Laguna Menor	35° 58,615' S	71° 12,046' W	VII	Linares	Linares	0,067	2030,3
166		Laguna Menor	35° 59,431' S	70° 41,854' W	VII	Linares	Colbun	0,02	2449,0
167		Laguna Menor	35° 59,534' S	70° 40,731' W	VII	Linares	Colbun	0,014	2584,0
168		Laguna Menor	35° 59,765' S	70° 42,004' W	VII	Linares	Colbun	0,035	2380,4
169		Laguna Menor	35° 59,730' S	71° 6,481' W	VII	Linares	Colbun	0,093	2201,5
170	LAGUNA DEL MAULE	Embalse	36° 3,410' S	70° 29,901' W	VII	Talca	San Clemente	46,7	2163,4
171	LAGUNA CARI LAUNA	Laguna Menor	36° 1,722' S	70° 23,743' W	VII	Talca	San Clemente	2,214	2707,5
172		Laguna Menor	36° 1,463' S	70° 33,469' W	VII	Talca	San Clemente	0,968	2164,8
173		Laguna Menor	36° 1,075' S	70° 35,819' W	VII	Linares	Colbun	0,034	2414,5
174		Laguna Menor	36° 0,866' S	71° 9,465' W	VII	Linares	Linares	0,088	2041,2
175	LAGUNAS CUELLAR	Laguna Menor	36° 1,486' S	71° 5,403' W	VII	Linares	Linares	0,149	1880,6
176	LAGUNAS VERDES	Laguna Menor	36° 1,781' S	71° 7,496' W	VII	Linares	Linares	0,213	1963,9
177	LAGUNAS CUELLAR	Laguna Menor	36° 1,780' S	71° 5,244' W	VII	Linares	Linares	0,032	1889,2
178	LAGUNA SIN PUERTO	Laguna Menor	36° 2,448' S	70° 35,964' W	VII	Talca	San Clemente	0,127	2475,7
179	LAGUNAS VERDES	Laguna Menor	36° 2,092' S	71° 7,143' W	VII	Linares	Linares	0,089	1874,2
180	LAGUNA NIEBLAS O DEL PIOJO	Laguna Menor	36° 5,326' S	70° 33,576' W	VII	Talca	San Clemente	0,313	2198,5
181		Laguna Menor	36° 6,940' S	70° 37,859' W	VII	Linares	Colbun	0,065	2586,9
182		Laguna Menor	36° 7,444' S	70° 34,101' W	VII	Talca	San Clemente	0,053	2725,3
183		Laguna Menor	36° 8,360' S	71° 1,796' W	VII	Linares	Linares	0,251	2456,2
184		Laguna Menor	36° 9,610' S	70° 35,108' W	VII	Linares	Colbun	0,039	2574,7
185		Laguna Menor	36° 9,736' S	71° 10,066' W	VII	Linares	Longavi	0,026	2007,0
186		Laguna Menor	36° 11,274' S	71° 3,392' W	VII	Linares	Linares	0,192	1661,0
187		Laguna Menor	36° 11,899' S	71° 0,062' W	VII	Linares	Colbun	0,012	2133,0
188		Laguna Menor	36° 11,971' S	70° 59,888' W	VII	Linares	Colbun	0,026	2117,6
189		Laguna Menor	36° 12,099' S	71° 2,212' W	VII	Linares	Linares	0,025	2094,0
190	LAGUNA ACHIBUENO	Laguna Menor	36° 13,048' S	71° 4,331' W	VII	Linares	Longavi	0,434	1790,6
191		Laguna Menor	36° 13,276' S	71° 16,228' W	VII	Linares	Longavi	0,054	1552,4
192		Laguna Menor	36° 17,549' S	71° 11,289' W	VII	Linares	Longavi	0,033	2229,6
193		Laguna Menor	36° 18,887' S	71° 8,537' W	VII	Linares	Longavi	0,019	2422,3
194		Laguna Menor	36° 20,182' S	71° 9,180' W	VII	Linares	Longavi	0,011	2166,0
195		Laguna Menor	36° 20,661' S	71° 11,670' W	VII	Linares	Longavi	0,108	1811,7
196		Laguna Menor	36° 21,321' S	70° 59,369' W	VII	Linares	Colbun	0,046	2167,3
197		Laguna Menor	36° 22,226' S	70° 41,725' W	VII	Linares	Colbun	0,412	2536,5
198		Laguna Menor	36° 22,450' S	70° 41,490' W	VII	Linares	Colbun	0,008	2543,0
199		Laguna Menor	36° 23,502' S	71° 3,305' W	VII	Linares	Colbun	0,067	2296,9
200		Laguna Menor	36° 24,627' S	71° 13,424' W	VII	Linares	Parral	0,04	1871,3
201	LAGUNA DIAL	Laguna Princip	36° 26,742' S	70° 57,076' W	VII	Linares	Colbun	6,997	1607,4
202		Laguna Menor	36° 27,026' S	70° 54,211' W	VII	Linares	Colbun	0,067	2088,7
203		Laguna Menor	36° 27,149' S	71° 20,009' W	VII	Linares	Parral	0,05	1936,5
204		Laguna Menor	36° 28,742' S	71° 22,222' W	VII	Linares	Parral	0,052	1679,6
205		Laguna Menor	36° 35,535' S	71° 11,822' W	VIII	Ñuble	San Fabian	0,094	2045,8
206		Laguna Menor	36° 35,780' S	71° 10,549' W	VIII	Ñuble	San Fabian	0,041	2053,3
207		Laguna Menor	36° 35,955' S	71° 11,897' W	VIII	Ñuble	San Fabian	0,036	2029,2
208		Laguna Menor	36° 36,039' S	71° 11,334' W	VIII	Ñuble	San Fabian	0,12	1930,2
209		Laguna Menor	36° 36,379' S	71° 11,048' W	VIII	Ñuble	San Fabian	0,055	1823,8
210		Laguna Menor	36° 36,748' S	71° 12,226' W	VIII	Ñuble	San Fabian	0,051	1907,4
211		Laguna Menor	36° 37,456' S	71° 12,195' W	VIII	Ñuble	San Fabian	0,176	1940,1
212		Laguna Menor	36° 37,808' S	71° 13,208' W	VIII	Ñuble	San Fabian	0,101	1993,5
213	LAGUNA LA PILA	Laguna Menor	36° 39,118' S	71° 13,432' W	VIII	Ñuble	San Fabian	0,064	2317,4
214	LAGUNA LEJIA	Laguna Menor	36° 40,410' S	71° 13,449' W	VIII	Ñuble	San Fabian	0,056	2246,1
215	LAGUNA LA DETENIDA	Laguna Menor	36° 41,183' S	71° 7,647' W	VIII	Ñuble	San Fabian	0,116	2118,3
216		Laguna Menor	36° 37,486' S	71° 12,940' W	VIII	Ñuble	San Fabian	0,03423649	2041,0

Anexo 5: Superficies y datos climáticos para las lagunas de Chile Central 1984-2020.

ID	Año	Lago	Precipitación	Temperatura	Evaporación	Superficie
1	1984	Chepical	278	1,43	399	0,493
2	1985	Chepical	354	1,17	764	0,34
3	1986	Chepical	100	2,18	545	0,386
4	1987	Chepical	331	2,65	808	0,338
5	1988	Chepical	610	2,07	631	0,41
6	1989	Chepical	116	2,01	639	0,479
7	1990	Chepical	221	2,1	492	0,53
8	1991	Chepical	97	2,32	775	0,389
9	1992	Chepical	382	2,18	766	0,452
10	1993	Chepical	440	1,95	741	0,531
11	1994	Chepical	193	1,75	631	0,565
12	1995	Chepical	107	2,57	691	0,522
13	1996	Chepical	142	2,19	650	0,398
14	1997	Chepical	106	2,41	671	0,345
15	1998	Chepical	724	2,19	658	0,537
16	1999	Chepical	74	2,21	798	0,505
17	2000	Chepical	264	1,83	541	0,484
18	2001	Chepical	356	1,92	747	0,479
19	2002	Chepical	285	2,01	761	0,503
20	2003	Chepical	518	2,16	793	0,497
21	2004	Chepical	253	2,72	815	0,52
22	2005	Chepical	287	1,91	643	0,424
23	2006	Chepical	339	2,26	616	0,501
24	2007	Chepical	248	2,59	802	0,504
25	2008	Chepical	189	1,54	764	0,49
26	2009	Chepical	283	2,73	685	0,5
27	2010	Chepical	215	2,4	827	0,497
28	2011	Chepical	246	1,84	760	0,399
29	2012	Chepical	172	2,42	768	0,382
30	2013	Chepical	149	2,46	655	0,289
31	2014	Chepical	120	2,25	645	0,287
32	2015	Chepical	155	2,93	830	0,267
33	2016	Chepical	337	2,87	762	0,338
34	2017	Chepical	269	3,91	967	0,432
35	2018	Chepical	261	2,46	619	0,43
36	2019	Chepical	116	2,5	793	0,43
37	2020	Chepical	144	3,62	949	0,357
38	1984	Laguna del Inca	361	-1,23	419	1,598
39	1985	Laguna del Inca	477	-1,51	390	1,779
40	1986	Laguna del Inca	212	-0,44	587	1,564
41	1987	Laguna del Inca	522	-0,02	469	1,764
42	1988	Laguna del Inca	750	-0,6	603	1,778
43	1989	Laguna del Inca	142	-0,58	600	1,495
44	1990	Laguna del Inca	317	-0,54	462	1,604
45	1991	Laguna del Inca	150	-0,26	616	1,378
46	1992	Laguna del Inca	475	-0,52	421	1,667
47	1993	Laguna del Inca	457	-0,62	525	1,625
48	1994	Laguna del Inca	285	-0,83	534	1,627
49	1995	Laguna del Inca	205	-0,03	503	1,575
50	1996	Laguna del Inca	222	-0,45	548	1,455
51	1997	Laguna del Inca	154	-0,27	642	1,183
52	1998	Laguna del Inca	835	-0,65	387	1,747
53	1999	Laguna del Inca	121	-0,45	530	1,339
54	2000	Laguna del Inca	351	-0,85	535	1,496
55	2001	Laguna del Inca	473	-0,8	413	1,649
56	2002	Laguna del Inca	386	-0,65	528	1,641
57	2003	Laguna del Inca	616	-0,45	450	1,708
58	2004	Laguna del Inca	300	0,13	513	1,569
59	2005	Laguna del Inca	377	-0,76	502	1,465
60	2006	Laguna del Inca	522	-0,38	510	1,74

ID	Año	Lago	Precipitación	Temperatura	Evaporación	Superficie
61	2007	Laguna del Inca	374	-0,05	433	1,71
62	2008	Laguna del Inca	235	-1,11	563	1,563
63	2009	Laguna del Inca	437	0,15	651	1,641
64	2010	Laguna del Inca	245	-0,18	482	1,59
65	2011	Laguna del Inca	286	-0,79	359	1,276
66	2012	Laguna del Inca	207	-0,18	599	1,302
67	2013	Laguna del Inca	266	-0,15	594	1,294
68	2014	Laguna del Inca	195	-0,33	472	1,314
69	2015	Laguna del Inca	210	0,36	610	1,204
70	2016	Laguna del Inca	405	0,19	586	1,494
71	2017	Laguna del Inca	333	1,14	661	1,589
72	2018	Laguna del Inca	303	-0,09	612	1,355
73	2019	Laguna del Inca	154	-0,03	645	1,321
74	2020	Laguna del Inca	202	1,2	678	1,161
75	1984	Laguna Negra	363	2,83	714	5,585
76	1985	Laguna Negra	593	2,52	764	5,872
77	1986	Laguna Negra	300	3,57	889	5,498
78	1987	Laguna Negra	576	3,99	895	5,565
79	1988	Laguna Negra	869	3,38	865	5,694
80	1989	Laguna Negra	217	3,41	574	5,497
81	1990	Laguna Negra	373	3,48	716	5,553
82	1991	Laguna Negra	233	3,72	861	5,563
83	1992	Laguna Negra	538	3,49	857	5,44
84	1993	Laguna Negra	538	3,46	881	5,342
85	1994	Laguna Negra	345	3,26	840	5,388
86	1995	Laguna Negra	319	3,95	902	5,496
87	1996	Laguna Negra	293	3,51	756	5,231
88	1997	Laguna Negra	172	3,72	884	5,169
89	1998	Laguna Negra	920	3,3	628	5,517
90	1999	Laguna Negra	154	3,58	781	5,113
91	2000	Laguna Negra	431	3,16	885	5,017
92	2001	Laguna Negra	550	3,22	711	5,328
93	2002	Laguna Negra	426	3,38	862	5,39
94	2003	Laguna Negra	671	3,56	891	5,582
95	2004	Laguna Negra	356	4,2	901	5,511
96	2005	Laguna Negra	367	3,28	851	5,376
97	2006	Laguna Negra	720	3,6	849	5,417
98	2007	Laguna Negra	475	3,93	650	5,553
99	2008	Laguna Negra	303	2,93	734	5,47
100	2009	Laguna Negra	518	4,21	883	5,524
101	2010	Laguna Negra	352	3,86	937	5,485
102	2011	Laguna Negra	366	3,25	871	5,292
103	2012	Laguna Negra	244	3,9	741	5,121
104	2013	Laguna Negra	379	3,89	880	5,09
105	2014	Laguna Negra	275	3,75	886	5,148
106	2015	Laguna Negra	267	4,43	912	5,054
107	2016	Laguna Negra	552	4,12	847	4,989
108	2017	Laguna Negra	359	5,3	959	5,225
109	2018	Laguna Negra	313	4,04	756	5,157
110	2019	Laguna Negra	211	4,17	777	5,111
111	2020	Laguna Negra	237	5,31	1073	5,001
112	1984	Embalse El Yeso	373	2,72	704	6,916
113	1985	Embalse El Yeso	586	2,4	867	8,691
114	1986	Embalse El Yeso	304	3,47	747	8,557
115	1987	Embalse El Yeso	564	3,88	533	8,566
116	1988	Embalse El Yeso	885	3,28	858	8,049
117	1989	Embalse El Yeso	208	3,35	676	8,611
118	1990	Embalse El Yeso	378	3,39	847	8,501
119	1991	Embalse El Yeso	238	3,65	844	8,677
120	1992	Embalse El Yeso	518	3,4	850	8,347

ID	Año	Lago	Precipitación	Temperatura	Evaporación	Superficie
120	1992	Embalse El Yeso	518	3,4	850	8,347
121	1993	Embalse El Yeso	519	3,36	664	8,504
122	1994	Embalse El Yeso	345	3,18	833	8,415
123	1995	Embalse El Yeso	318	3,86	883	8,407
124	1996	Embalse El Yeso	293	3,43	707	8,386
125	1997	Embalse El Yeso	188	3,63	865	6,617
126	1998	Embalse El Yeso	885	3,19	722	8,256
127	1999	Embalse El Yeso	168	3,48	628	7,801
128	2000	Embalse El Yeso	434	3,05	773	7,505
129	2001	Embalse El Yeso	544	3,12	742	8,41
130	2002	Embalse El Yeso	449	3,28	858	8,445
131	2003	Embalse El Yeso	646	3,47	878	8,485
132	2004	Embalse El Yeso	333	4,12	873	8,482
133	2005	Embalse El Yeso	388	3,17	845	7,945
134	2006	Embalse El Yeso	701	3,51	699	8,345
135	2007	Embalse El Yeso	478	3,84	888	7,946
136	2008	Embalse El Yeso	313	2,83	700	7,32
137	2009	Embalse El Yeso	505	4,12	727	8,275
138	2010	Embalse El Yeso	334	3,76	812	8,229
139	2011	Embalse El Yeso	364	3,15	865	6,71
140	2012	Embalse El Yeso	256	3,79	866	5,481
141	2013	Embalse El Yeso	368	3,79	859	8,017
142	2014	Embalse El Yeso	264	3,64	665	7,305
143	2015	Embalse El Yeso	265	4,36	743	6,118
144	2016	Embalse El Yeso	546	4,01	840	7,557
145	2017	Embalse El Yeso	363	5,16	1064	8,162
146	2018	Embalse El Yeso	306	3,95	863	6,64
147	2019	Embalse El Yeso	211	4,1	925	6,311
148	2020	Embalse El Yeso	237	5,28	1059	4,98
149	1984	Encañado	376	3,479166667	377,8	0,472
150	1985	Encañado	621	3,154166667	418,9	0,4032
151	1986	Encañado	314	4,216666667	459,4	0,409924
152	1987	Encañado	593	4,625	452,6	0,448004
153	1988	Encañado	910	4,041666667	414,9	0,452484
154	1989	Encañado	228	4,0625	385,1	0,456
155	1990	Encañado	389	4,133333333	422,3	0,493687
156	1991	Encañado	245	4,354166667	431	0,441284
157	1992	Encañado	560	4,154166667	438,2	0,40952282
158	1993	Encañado	561	4,1125	450,1	0,41931
159	1994	Encañado	361	3,933333333	407,1	0,441667
160	1995	Encañado	338	4,604166667	481,2	0,444143
161	1996	Encañado	305	4,166666667	430,9	0,367363
162	1997	Encañado	179	4,3625	442,1	0,442087
163	1998	Encañado	946	3,941666667	422,1	0,43531
164	1999	Encañado	160	4,220833333	432,3	0,369603
165	2000	Encañado	449	3,820833333	453,3	0,407684
166	2001	Encañado	561	3,8625	418	0,42560338
167	2002	Encañado	448	4,033333333	419	0,3987236
168	2003	Encañado	686	4,208333333	460,1	0,43605698
169	2004	Encañado	368	4,8625	375,7	0,41963
170	2005	Encañado	375	3,929166667	420	0,43381705
171	2006	Encañado	748	4,254166667	419,2	0,44053691
172	2007	Encañado	496	4,579166667	474,7	0,4285902
173	2008	Encañado	313	3,570833333	390,7	0,41514998
174	2009	Encañado	539	4,854166667	450,3	0,41888388
175	2010	Encañado	366	4,504166667	389,5	0,42112349
176	2011	Encañado	384	3,916666667	435,8	0,42336354
177	2012	Encañado	252	4,55	463,3	0,39125646
178	2013	Encañado	393	4,541666667	453,7	0,42780352
179	2014	Encañado	287	4,383333333	441,2	0,4241101
180	2015	Encañado	277	5,095833333	484	0,39872323

ID	Año	Lago	Precipitación	Temperatura	Evaporación	Superficie
181	2016	Encañado	580	4,766666667	416,8	0,37557716
182	2017	Encañado	372	5,9625	544	0,45696364
183	2018	Encañado	326	4,691666667	453,5	0,43531037
184	2019	Encañado	217	4,820833333	494,2	0,41813662
185	2020	Encañado	243	5,979166667	546,5	0,407658
186	1985	Yeso	718	2,56	885	0,457
187	1986	Yeso	369	3,63	902	0,48
188	1987	Yeso	651	4,04	898	0,542
189	1988	Yeso	854	3,46	873	0,525
190	1989	Yeso	282	3,55	850	0,481
191	1990	Yeso	467	3,61	874	0,515
192	1991	Yeso	329	3,91	880	0,458
193	1992	Yeso	640	3,67	755	0,476
194	1993	Yeso	666	3,65	906	0,445
195	1994	Yeso	532	3,5	871	0,418
196	1995	Yeso	486	4,09	940	0,421
197	1996	Yeso	395	3,68	887	0,402
198	1997	Yeso	284	3,88	900	0,363
199	1998	Yeso	984	3,51	882	0,413
200	1999	Yeso	158	3,78	528	0,38
201	2000	Yeso	506	3,38	917	0,41
202	2001	Yeso	617	3,43	885	0,475
203	2002	Yeso	628	3,6	886	0,421
204	2003	Yeso	775	3,76	922	0,458
205	2004	Yeso	476	4,45	696	0,412
206	2005	Yeso	392	3,51	779	0,383
207	2006	Yeso	788	3,78	887	0,489
208	2007	Yeso	595	4,06	918	0,426
209	2008	Yeso	337	3,07	846	0,37
210	2009	Yeso	557	4,38	754	0,383
211	2010	Yeso	443	3,95	847	0,391
212	2011	Yeso	416	3,39	899	0,329
213	2012	Yeso	276	4,05	902	0,301
214	2013	Yeso	466	4,01	798	0,371
215	2014	Yeso	329	3,88	654	0,334
216	2015	Yeso	364	4,61	772	0,395
217	2016	Yeso	682	4,21	867	0,384
218	2017	Yeso	412	5,42	1109	0,378
219	2018	Yeso	366	4,1	784	0,345
220	2019	Yeso	286	4,23	807	0,334
221	2020	Yeso	287	5,13	1044	0,221
222	1984	Teno	479	2,58	828	7,1
223	1985	Teno	828	2,09	810	7,54
224	1986	Teno	478	3,17	740	7,785
225	1987	Teno	755	3,55	869	8,189
226	1988	Teno	764	2,98	834	8,08
227	1989	Teno	398	2,94	718	7,718
228	1990	Teno	572	3,13	722	7,797
229	1991	Teno	423	3,4	849	7,544
230	1992	Teno	669	3,18	722	7,808
231	1993	Teno	714	3,22	698	8,111
232	1994	Teno	620	3,05	684	8,106
233	1995	Teno	582	3,58	749	7,908
234	1996	Teno	510	3,18	704	7,835
235	1997	Teno	419	3,4	756	7,609
236	1998	Teno	972	3,13	607	8,216
237	1999	Teno	187	3,35	756	7,893
238	2000	Teno	586	3,02	752	7,907
239	2001	Teno	670	2,99	690	8,161
240	2002	Teno	842	3,2	842	8,11

ID	Año	Lago	Precipitación	Temperatura	Evaporación	Superficie
241	2003	Teno	864	3,25	866	8,137
242	2004	Teno	539	3,92	795	8,061
243	2005	Teno	483	3,12	728	8,002
244	2006	Teno	886	3,31	847	8,053
245	2007	Teno	726	3,5	859	8,199
246	2008	Teno	378	2,59	826	7,998
247	2009	Teno	628	3,88	762	8,105
248	2010	Teno	537	3,27	901	8,042
249	2011	Teno	455	2,87	689	7,791
250	2012	Teno	367	3,54	869	7,514
251	2013	Teno	513	3,5	856	7,295
252	2014	Teno	374	3,37	866	7,128
253	2015	Teno	474	4,12	651	7,73
254	2016	Teno	790	3,75	702	7,45
255	2017	Teno	413	5,11	1075	7,101
256	2018	Teno	445	3,59	828	7,059
257	2019	Teno	354	3,68	895	7,042
258	2020	Teno	323	4,39	955	6,923
259	1984	Aguas Calientes	476	2,51	830	0,513
260	1985	Aguas Calientes	804	2,02	804	0,731
261	1986	Aguas Calientes	495	3,13	835	0,630
262	1987	Aguas Calientes	786	3,51	864	0,772
263	1988	Aguas Calientes	735	2,93	832	0,715
264	1989	Aguas Calientes	421	2,86	830	0,635
265	1990	Aguas Calientes	561	3,06	718	0,575
266	1991	Aguas Calientes	453	3,37	848	0,474
267	1992	Aguas Calientes	658	3,12	816	0,703
268	1993	Aguas Calientes	684	3,14	849	0,795
269	1994	Aguas Calientes	621	3,03	820	0,665
270	1995	Aguas Calientes	572	3,51	878	0,642
271	1996	Aguas Calientes	515	3,13	724	0,396
272	1997	Aguas Calientes	420	3,32	721	0,665
273	1998	Aguas Calientes	899	3,07	564	0,654
274	1999	Aguas Calientes	200	3,3	753	0,469
275	2000	Aguas Calientes	567	2,95	731	0,593
276	2001	Aguas Calientes	686	2,91	828	0,766
277	2002	Aguas Calientes	853	3,13	837	0,728
278	2003	Aguas Calientes	832	3,14	644	0,898
279	2004	Aguas Calientes	523	3,83	896	0,621
280	2005	Aguas Calientes	497	3,06	825	0,554
281	2006	Aguas Calientes	883	3,19	729	0,685
282	2007	Aguas Calientes	734	3,4	744	0,816
283	2008	Aguas Calientes	401	2,53	824	0,481
284	2009	Aguas Calientes	613	3,79	723	0,633
285	2010	Aguas Calientes	546	3,15	885	0,647
286	2011	Aguas Calientes	456	2,81	691	0,384
287	2012	Aguas Calientes	392	3,46	858	0,495
288	2013	Aguas Calientes	512	3,43	712	0,449
289	2014	Aguas Calientes	395	3,3	713	0,357
290	2015	Aguas Calientes	471	4,04	695	0,542
291	2016	Aguas Calientes	771	3,66	540	0,543
292	2017	Aguas Calientes	406	5,01	784	0,428
293	2018	Aguas Calientes	448	3,53	817	0,444
294	2019	Aguas Calientes	367	3,62	875	0,487
295	2020	Aguas Calientes	348	4,23	808	0,137
296	1984	Mollera	493	2,37	720	0,688
297	1985	Mollera	871	1,88	783	0,504
298	1986	Mollera	541	2,98	817	0,539
299	1987	Mollera	821	3,37	705	0,589

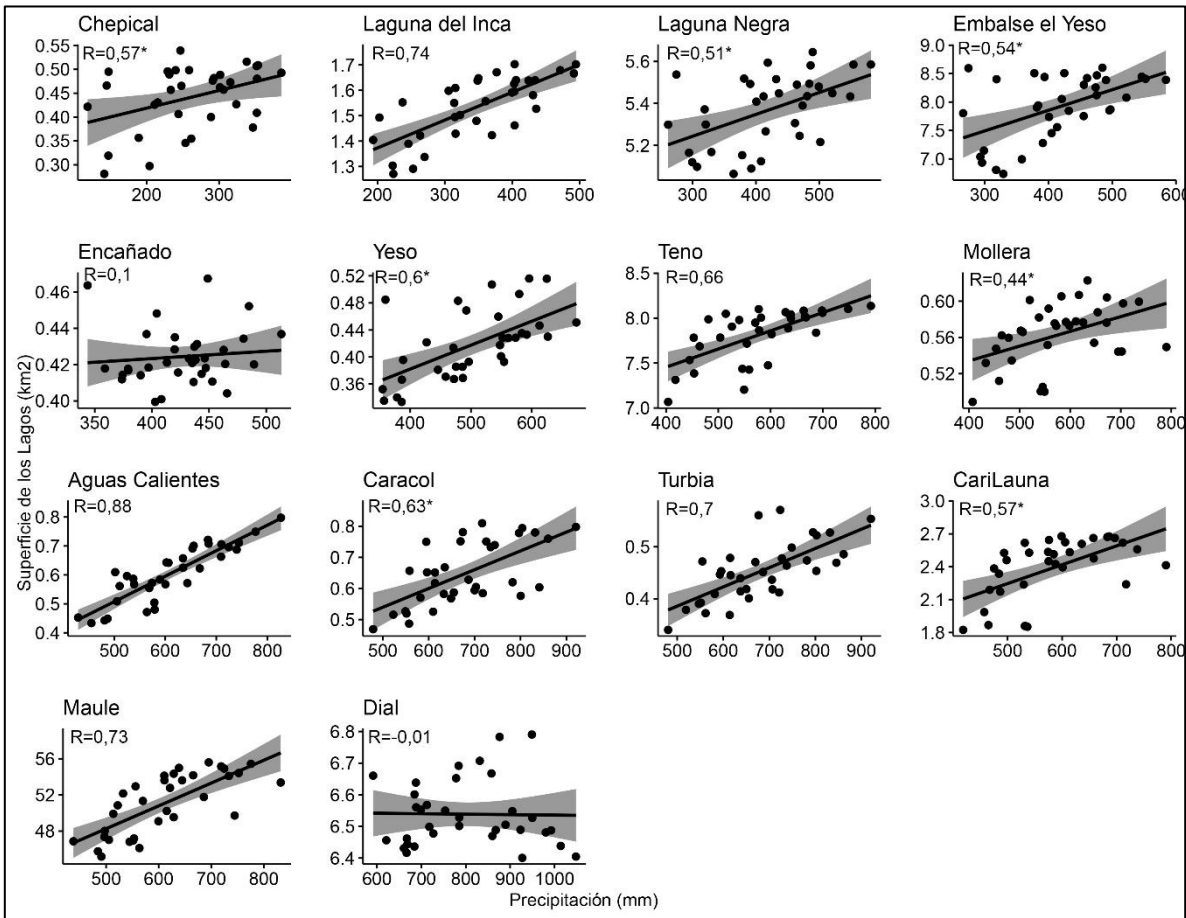
ID	Año	Lago	Precipitación	Temperatura	Evaporación	Superficie
300	1988	Mollera	768	2,8	713	0,600
301	1989	Mollera	466	2,7	537	0,473
302	1990	Mollera	585	2,94	811	0,645
303	1991	Mollera	481	3,2	456	0,561
304	1992	Mollera	703	2,99	799	0,57
305	1993	Mollera	720	3,01	833	0,589
306	1994	Mollera	628	2,87	802	0,605
307	1995	Mollera	619	3,35	748	0,593
308	1996	Mollera	554	2,99	827	0,586
309	1997	Mollera	444	3,2	741	0,58
310	1998	Mollera	932	2,96	778	0,567
311	1999	Mollera	199	3,15	764	0,55
312	2000	Mollera	591	2,84	725	0,537
313	2001	Mollera	716	2,78	811	0,516
314	2002	Mollera	866	2,98	685	0,58
315	2003	Mollera	898	3,02	838	0,552
316	2004	Mollera	567	3,67	881	0,667
317	2005	Mollera	495	2,93	559	0,602
318	2006	Mollera	941	3,05	821	0,632
319	2007	Mollera	784	3,25	586	0,59
320	2008	Mollera	403	2,4	811	0,622
321	2009	Mollera	620	3,65	711	0,604
322	2010	Mollera	589	2,99	865	0,578
323	2011	Mollera	497	2,67	816	0,564
324	2012	Mollera	430	3,32	728	0,544
325	2013	Mollera	516	3,29	726	0,534
326	2014	Mollera	420	3,16	849	0,517
327	2015	Mollera	525	3,9	892	0,485
328	2016	Mollera	793	3,55	792	0,515
329	2017	Mollera	418	4,95	909	0,501
330	2018	Mollera	481	3,38	805	0,486
331	2019	Mollera	389	3,49	858	0,479
332	2020	Mollera	381	4,12	917	0,442
333	1984	Caracol	544	4,31	881	0,603
334	1985	Caracol	992	3,83	876	0,661
335	1986	Caracol	628	4,94	741	0,49
336	1987	Caracol	917	5,31	943	0,66
337	1988	Caracol	861	4,75	792	0,578
338	1989	Caracol	567	4,64	896	0,622
339	1990	Caracol	631	4,86	819	0,685
340	1991	Caracol	547	5,11	821	0,406
341	1992	Caracol	789	4,92	933	0,671
342	1993	Caracol	785	4,94	841	0,737
343	1994	Caracol	672	4,82	917	0,81
344	1995	Caracol	714	5,28	880	0,882
345	1996	Caracol	644	4,93	942	0,651
346	1997	Caracol	487	5,13	852	0,421
347	1998	Caracol	986	4,89	813	0,71
348	1999	Caracol	212	5,11	819	0,33
349	2000	Caracol	650	4,78	844	0,811
350	2001	Caracol	802	4,72	912	0,83
351	2002	Caracol	933	4,91	756	0,694
352	2003	Caracol	1027	4,92	951	0,87
353	2004	Caracol	624	5,57	992	0,717
354	2005	Caracol	531	4,87	765	0,666
355	2006	Caracol	1058	4,95	924	0,816
356	2007	Caracol	906	5,17	811	0,858
357	2008	Caracol	444	4,33	885	0,709
358	2009	Caracol	659	5,56	969	0,688
359	2010	Caracol	684	4,88	947	0,853
360	2011	Caracol	569	4,59	780	0,463

ID	Año	Lago	Precipitación	Temperatura	Evaporación	Superficie
361	2012	Caracol	525	5,23	963	0,64
362	2013	Caracol	547	5,22	947	0,477
363	2014	Caracol	485	5,09	790	0,431
364	2015	Caracol	622	5,83	998	0,651
365	2016	Caracol	844	5,52	931	0,623
366	2017	Caracol	447	6,98	1138	0,474
367	2018	Caracol	551	5,32	804	0,48
368	2019	Caracol	443	5,37	956	0,455
369	2020	Caracol	435	5,95	900	0,316
370	1984	Turbia	546	4,195833333	284,4	0,3528
371	1985	Turbia	981	3,708333333	375,6	0,504
372	1986	Turbia	626	4,695833333	453,1	0,379322
373	1987	Turbia	916	5,154166667	447,3	0,524488
374	1988	Turbia	859	4,616666667	391	0,456646
375	1989	Turbia	573	4,458333333	400	0,439868
376	1990	Turbia	628	4,716666667	418,3	0,457516
377	1991	Turbia	545	4,870833333	452,3	0,32971723
378	1992	Turbia	791	4,795833333	437,2	0,41513191
379	1993	Turbia	773	4,779166667	445,3	0,509319
380	1994	Turbia	667	4,658333333	419	0,570885
381	1995	Turbia	709	5,1375	486,3	0,632451
382	1996	Turbia	647	4,770833333	445,7	0,478531
383	1997	Turbia	485	4,883333333	453,2	0,324611
384	1998	Turbia	968	4,8	421,6	0,50625
385	1999	Turbia	219	4,983333333	339,5	0,28522
386	2000	Turbia	654	4,579166667	448,8	0,544184
387	2001	Turbia	802	4,591666667	413	0,58576411
388	2002	Turbia	934	4,775	416,3	0,4537283
389	2003	Turbia	1026	4,695833333	452	0,62150898
390	2004	Turbia	620	5,370833333	395,7	0,381509
391	2005	Turbia	530	4,833333333	416	0,43038493
392	2006	Turbia	1055	4,6875	425,4	0,57919844
393	2007	Turbia	910	5,016666667	455,4	0,57263334
394	2008	Turbia	446	4,225	389	0,41433611
395	2009	Turbia	652	5,295833333	472,8	0,42454855
396	2010	Turbia	686	4,816666667	450,4	0,52011086
397	2011	Turbia	567	4,3875	419,5	0,37348545
398	2012	Turbia	536	5,008333333	467,9	0,44643281
399	2013	Turbia	545	5,05	453,3	0,35084907
400	2014	Turbia	488	4,9375	342,1	0,33847131
401	2015	Turbia	622	5,575	405	0,48728459
402	2016	Turbia	836	5,458333333	434,7	0,42965702
403	2017	Turbia	441	6,7875	647,5	0,32530103
404	2018	Turbia	552	5,120833333	443,3	0,35087268
405	2019	Turbia	444	5,179166667	459,6	0,34357799
406	2020	Turbia	436	5,7375	562,3	0,298351
407	1984	Cari Launa	481	1,74	806	2,382
408	1986	Cari Launa	517	2,38	787	2,646
409	1987	Cari Launa	817	2,71	837	2,678
410	1988	Cari Launa	725	2,16	802	2,706
411	1989	Cari Launa	430	2,07	672	2,603
412	1990	Cari Launa	573	2,33	702	2,623
413	1991	Cari Launa	478	2,65	682	2,355
414	1992	Cari Launa	675	2,28	631	2,375
415	1993	Cari Launa	650	2,32	809	2,453
416	1994	Cari Launa	649	2,26	782	2,6
417	1995	Cari Launa	543	2,68	711	2,546
418	1996	Cari Launa	531	2,33	800	2,46
419	1997	Cari Launa	421	2,5	608	2,374
420	1998	Cari Launa	812	2,27	743	2,44

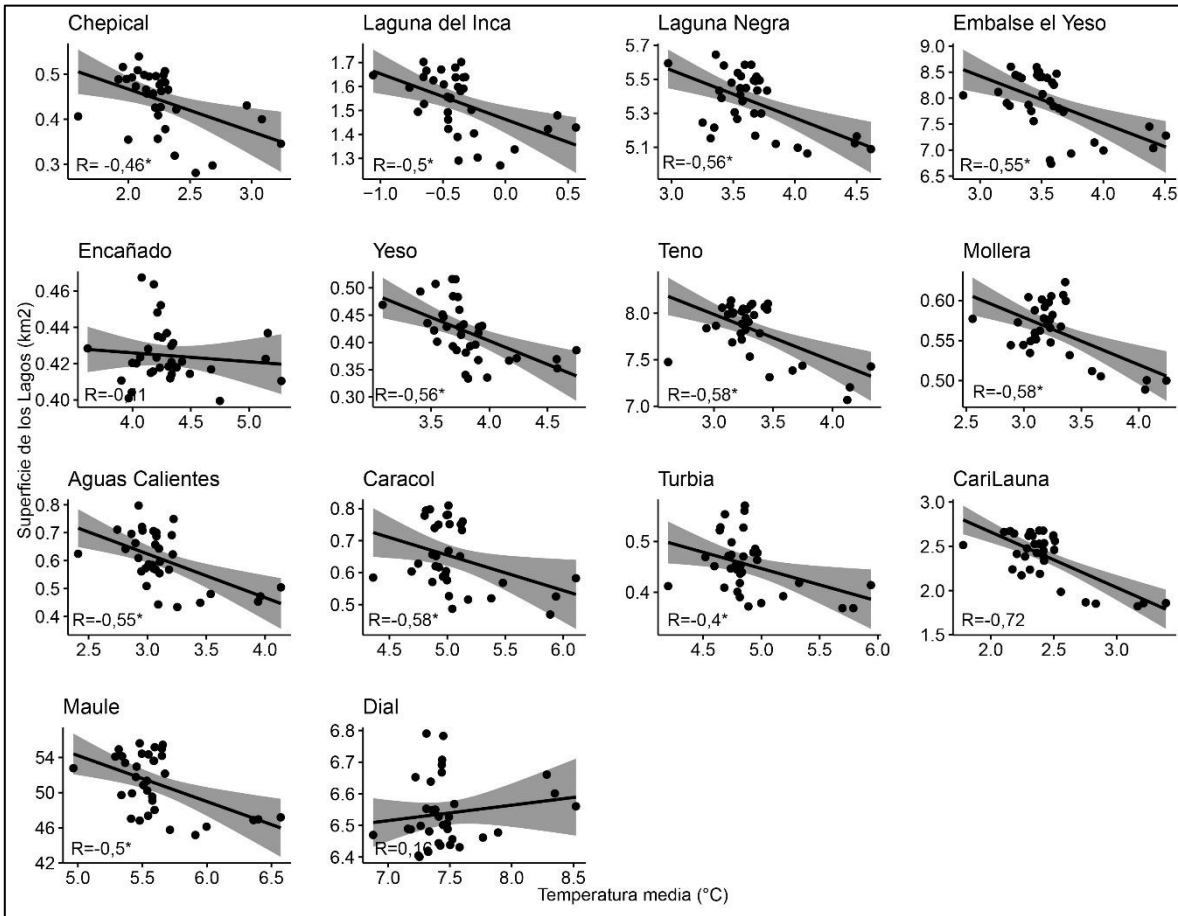
ID	Año	Lago	Precipitación	Temperatura	Evaporación	Superficie
421	1999	Cari Launa	220	2,5	830	2,196
422	2000	Cari Launa	557	2,16	800	2,077
423	2001	Cari Launa	683	2,07	784	2,245
424	2002	Cari Launa	912	2,29	683	2,397
425	2003	Cari Launa	776	2,27	698	2,599
426	2004	Cari Launa	525	2,98	858	2,682
427	2005	Cari Launa	516	2,25	770	2,59
428	2006	Cari Launa	867	2,26	795	2,554
429	2007	Cari Launa	751	2,48	796	2,715
430	2008	Cari Launa	431	1,72	678	2,747
431	2009	Cari Launa	615	2,95	833	2,573
432	2010	Cari Launa	549	2,23	824	2,536
433	2011	Cari Launa	455	1,97	796	2,476
434	2012	Cari Launa	422	2,62	565	2,141
435	2013	Cari Launa	525	2,58	792	1,951
436	2014	Cari Launa	425	2,47	828	1,867
437	2015	Cari Launa	445	3,21	869	1,785
438	2016	Cari Launa	739	2,83	766	1,904
439	2017	Cari Launa	411	4,14	899	1,888
440	2018	Cari Launa	449	2,68	661	1,783
441	2019	Cari Launa	396	2,68	674	1,8
442	2020	Cari Launa	345	3,37	741	1,686
443	1984	Maule	507	4,93	931	51,282
444	1985	Maule	809	4,4	821	53,564
445	1986	Maule	549	5,58	1013	53,497
446	1987	Maule	843	5,9	1003	55,242
447	1988	Maule	765	5,31	947	56,762
448	1989	Maule	478	5,23	805	54,835
449	1990	Maule	589	5,49	990	50,821
450	1991	Maule	499	5,8	1028	46,909
451	1992	Maule	711	5,44	981	49,537
452	1993	Maule	676	5,49	881	52,169
453	1994	Maule	671	5,43	991	53,622
454	1995	Maule	587	5,85	1033	55,075
455	1996	Maule	575	5,5	996	52,161
456	1997	Maule	435	5,68	1001	49,248
457	1998	Maule	836	5,44	829	49,281
458	1999	Maule	221	5,67	878	45,522
459	2000	Maule	577	5,33	762	45,652
460	2001	Maule	718	5,24	969	49,913
461	2002	Maule	939	5,44	975	53,593
462	2003	Maule	840	5,42	999	56,642
463	2004	Maule	548	6,11	812	56,098
464	2005	Maule	528	5,42	975	52,267
465	2006	Maule	921	5,42	851	54,2
466	2007	Maule	808	5,65	1010	56,817
467	2008	Maule	445	4,88	688	53,771
468	2009	Maule	633	6,11	877	52,463
469	2010	Maule	590	5,37	881	52,636
470	2011	Maule	487	5,12	764	48,932
471	2012	Maule	464	5,77	1003	48,175
472	2013	Maule	539	5,75	871	44,975
473	2014	Maule	450	5,63	875	44,135
474	2015	Maule	484	6,36	922	46,403
475	2016	Maule	756	6	988	47,824
476	2017	Maule	419	7,35	1166	47,327
477	2018	Maule	479	5,84	986	45,71
478	2019	Maule	415	5,89	985	47,571
479	2020	Maule	373	6,49	1077	44,813
480	1984	Dial	714	6,85	612	6,501

ID	Año	Lago	Precipitación	Temperatura	Evaporación	Superficie
481	1985	Dial	1057	6,35	714	6,425
482	1986	Dial	809	7,44	1065	6,484
483	1987	Dial	1111	7,77	1083	6,555
484	1988	Dial	930	7,28	1040	6,543
485	1989	Dial	674	7,03	878	6,547
486	1990	Dial	731	7,36	660	6,867
487	1991	Dial	658	7,65	1075	6,501
488	1992	Dial	963	7,3	878	6,707
489	1993	Dial	953	7,36	1054	6,795
490	1994	Dial	931	7,28	915	6,87
491	1995	Dial	745	7,71	1059	6,684
492	1996	Dial	819	7,33	890	6,568
493	1997	Dial	573	7,57	809	6,451
494	1998	Dial	964	7,44	1047	6,485
495	1999	Dial	326	7,55	961	6,432
496	2000	Dial	763	7,28	1047	6,392
497	2001	Dial	911	7,14	938	6,426
498	2002	Dial	1108	7,34	694	6,384
499	2003	Dial	1126	7,25	1047	6,404
500	2004	Dial	808	7,91	1074	6,527
501	2005	Dial	669	7,28	1047	6,535
502	2006	Dial	1192	7,24	1044	6,454
503	2007	Dial	1080	7,48	838	6,454
504	2008	Dial	498	6,76	821	6,56
505	2009	Dial	778	7,98	967	6,57
506	2010	Dial	821	7,18	951	6,529
507	2011	Dial	662	6,98	1026	6,551
508	2012	Dial	671	7,63	887	6,417
509	2013	Dial	673	7,62	1026	6,364
510	2014	Dial	638	7,49	1066	6,513
511	2015	Dial	691	8,2	1080	6,508
512	2016	Dial	852	7,99	1056	6,412
513	2017	Dial	522	9,38	1022	6,761
514	2018	Dial	680	7,68	1042	6,63
515	2019	Dial	572	7,79	1017	6,59
516	2020	Dial	588	8,33	1013	6,489

Anexo 6: Correlación entre las superficies lacustres y la precipitación media anual. Esta correlación se estimó para un promedio móvil de 3 años. R= Coeficiente de Correlación de Pearson, * = valor p < 0,05.



Anexo 7: Correlación entre las superficies lacustres y la temperatura media anual. Esta correlación se estimó para un promedio móvil de 3 años. R= Coeficiente de Correlación de Pearson, * = valor p < 0,05.



Anexo 8: Correlación entre las superficies y la evaporación media anual. Esta correlación se estimó para un promedio móvil de 3 años. R= Coeficiente de Correlación de Pearson, * = valor p < 0,05.

