

## **INFORME EJECUTIVO**

### **NIVEL DE AGUA LAGO CABURGUA**



**CABURGUA**  
**SUSTENTABLE**

El lago Caburgua es un lago chileno ubicado en las comunas de Pucón y Cunco en la Región de la Araucanía, al noreste del Lago Villarrica. El lago ocupa el valle de ríos glaciales, que en la época del período holocénico, fueron bloqueados por la lava de los volcanes de la zona, generando un tapón, que al enfriarse, bloqueó el paso de los ríos, generando una barrera natural que embalsó sus aguas de, creándose así hace miles de años, el lago que actualmente se conoce como Caburgua.

Este se distingue respecto a otros lagos de la Araucanía y del país por su perdurable cristalinidad, debida a desagües tanto subterráneos como superficiales.



Ubicación Lago Caburgua. IX Región

Actualmente el Lago Caburgua presenta uno de sus niveles, o cotas, mas bajas vistas durante los últimos decenios, generando alerta entre sus vecinos, y alteraciones al entorno, además de problemas a las localidades ribereñas, alejando las posibilidades de que turistas y personas del lugar puedan disfrutar de sus costaneras y playas públicas tales como la Playa Negra, la Playa Blanca u otras.

Las siguientes fotos muestran el estado actual del lago, con extensas zonas antes cubiertas por agua.



Situación Actual Ribera Lago Caburgua



Situación Actual Ribera Lago Caburgua



Situación Actual Ribera Lago Caburgua

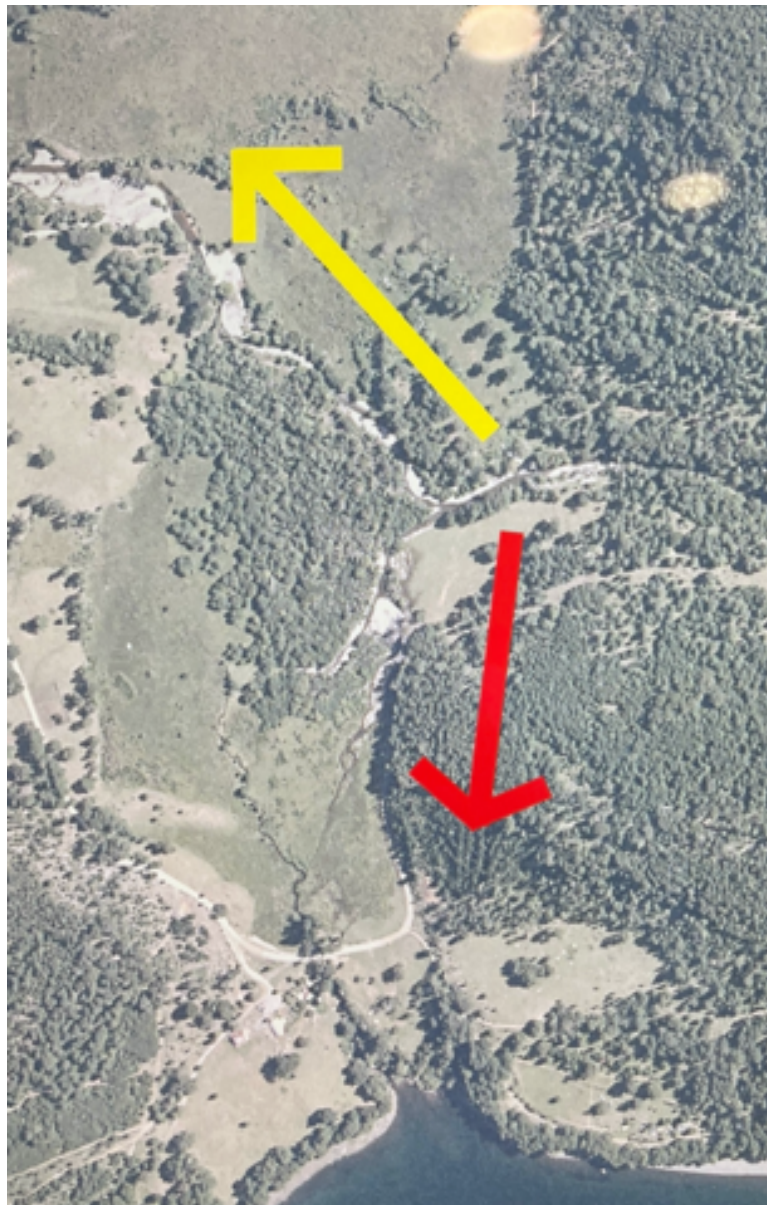
Este informe fue confeccionado por un comité de especialistas de la Asociación Caburgua Sustentable, quienes a su vez contrataron un estudio a la Universidad Austral de Chile (adjunto a este informe) con el objetivo de cuantificar los parámetros usados en los cálculos numéricos que se entregan. Su objetivo es cuantificar la magnitud del efecto del desvío del río Trafampulli, sobre el actual nivel del lago Caburgua.

Como antecedente general, el río Trafampulli es un río que corre desde la Cordillera de Los Andes hacia el poniente, con un régimen que se alimenta de lluvias y nieve. Hasta el año 2007, era uno de los más importantes afluentes del Lago Caburgua, después del Río Blanco que es su principal medio de llenado. En la imagen a continuación se muestra con achurado rojo, el área tributaria del Río Trafampulli aguas arriba del Lago Caburgua y con achurado amarillo, el área tributaria del Río Blanco.



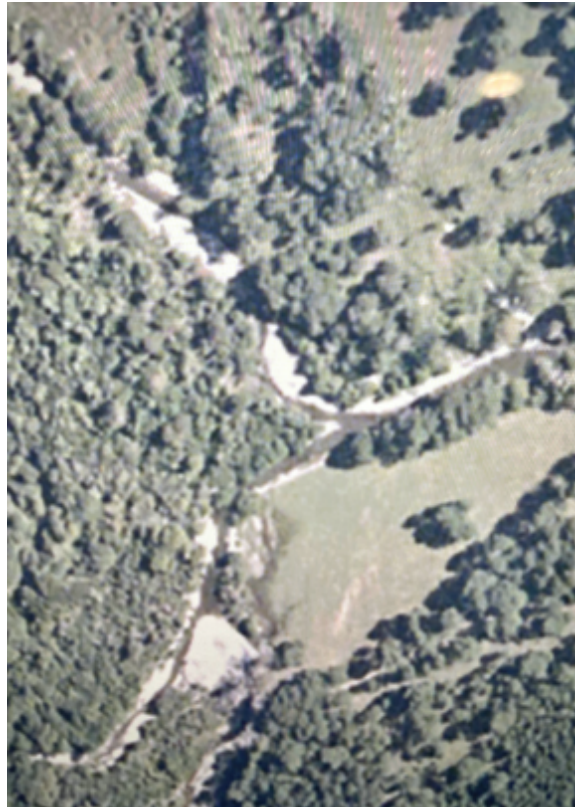
Principales Afluentes del Lago Caburgua

Durante miles de años, el río Trafampulli, por una condición del terreno que atraviesa, se dividía en 2 brazos de caudal posiblemente variable, dentro del actual fundo San Francisco de Los Andes - Llanqui Llanqui. Uno de los brazos del río vaciaba hacia el lago Caburgua, y el otro hacia el Lago Colico. En la imagen a continuación, tomada satelitalmente de manera previa al año 2007, se distinguen ambos brazos del río. En color amarillo el brazo que fluía hacia el Lago Colico, y en color rojo el brazo que fluía hacia el Lago Caburgua.



Sector donde el Río Trafampulli se dividía en 2 brazos, previo al año 2007  
Fuente: Servicio Aerofotogramétrico de Chile (SAF)

Con mayor detalle en la foto a continuación, se aprecia claramente la división del río en los 2 brazos antes mencionados.



Sector donde el Rio Trafampulli se dividía en 2 brazos, previo al año 2007.  
Fuente: Servicio Aerofotogramétrico de Chile (SAF)

Registro de esta división natural de las aguas previas al año 2007, está plasmada en múltiples fotos aéreas disponibles tanto en Google Earth, como en fotos de distintos años, previos al año 2007, compradas por Caburgua Sustentable al Servicio Aerofotogramétrico de Chile (SAF).

**El año 2007, la dirección General de Aguas de Chile (DGA), emitió un oficio dirigido al propietario del Fundo Llanqui Llanqui, en el sector norte del Lago Caburgua, obligándolo a modificar con maquinaria, el cauce del Rio Trafampulli, forzándolo a construir en él, un dique o muralla artificial, la cual cortó y secó por completo, el brazo natural que fluía hacia el Lago Caburgua, dejando el rio Trafampulli de manera exclusiva fluyendo hacia el lago Colico. Lo anterior se determina en este informe como una acción artificial, causada por el ser humano, con un serio e incalculable efecto perjudicial sobre las aguas del Lago Caburgua.**

En las imágenes a continuación se ve el dique o muralla en la actualidad, cerrando totalmente el brazo natural que fluía hacia el Lago Caburgua, impidiendo que parte del agua del Rio Trafampulli que históricamente fluyó hacia el Lago Caburgua, siguiera haciéndolo.



En rojo, dique artificial oficiado a ser construido por la Dirección General de Aguas de Chile, cortando el brazo del Rio Trafampulli que fluía al lago Caburgua. Vuelo dron 2021.



En rojo, dique artificial oficiado a ser construido por la Dirección General de Aguas de Chile, cortando el brazo del Rio Trafampulli que fluía al lago Caburgua. Vuelo dron 2021.



Dique artificial oficiado a ser construido por la Dirección General de Aguas de Chile, cortando el brazo del Rio Trafampulli que fluía al lago Caburgua. En rojo el actual dique, y en amarillo el curso seco del brazo del rio que se secó. Vuelo dron 2021.

Por efectos de la construcción del dique o muralla artificial, la imagen a continuación, tomada de imagen satelital de Google Earth, muestra el mismo brazo del rio que fluía desde el Rio Trafampulli al Lago Caburgua, hoy totalmente seco, alterándose para siempre la condición natural del mencionado rio.



Brazo sur en dirección al lago Caburgua totalmente seco, posterior a la construcción del dique oficiado por la DGA. En amarillo la Ruta S965.  
Fuente: Google Earth.

Existen oficios de la DGA previos al año 2007, con versiones encontradas respecto a las necesidades y razones de la construcción del muro artificial. Estas no son objeto de este estudio, pero si se concluye sobre ellas, que el oficio que obligó a construir el dique o muralla, alteró para siempre la condición del rio Trafampulli, el cual por miles de años había entregado parte de sus aguas a dos cuencas distintas, una de las cuales fue cortada abruptamente, generando una modificación artificial en la naturaleza, creando un

desequilibrio ecológico, y un enorme daño ambiental al Lago Caburgua, el que por miles de años había recibido parte del agua del Río Trafampulli.

En el oficio DGA 1718 fecha 31 de Octubre de 2006, se cita a varias familias oriundas de la zona, entre ellas a Elisa del Carmen Godoy, Raúl Sáez Castro, Fernando Venegas Saldías, Hernan Jara Venegas, Virginia del Carmen Ortiz Sepúlveda, y Dina Habert Villandez, quienes declararon “que el canal que nace del río Trafampulli al Lago Caburgua es de antigua data”, adjuntando en ese entonces fotografías del sector que así lo probaban. En el mismo oficio también se cita a Gaston Holzapfel Gross, propietario por mas de 35 años del predio agrícola San Francisco de Los Andes, y quien en ese entonces conocía la zona por mas de 60 años, porque sus familiares se habían radicado en la zona desde fines del siglo XIX. Testimonia don Gaston Holzapfel Gross, que “asevero y doy fe que desde tiempos inmemoriales siempre existió un brazo del Río Trafampulli al Lago Caburgua, hecho conocido por los lugareños del sector”

El mencionado oficio tiene versiones encontradas respecto a movimientos de tierra que se pudieran haber hecho en el pasado, alterando el curso de las aguas, pero los relatos de los lugareños, y las fotos mas antiguas del SAF, muestran que el brazo intervenido y cerrado siempre existió, hasta su clausura definitiva por el oficio de la DGA del año 2007. Estos relatos no fueron considerados al oficiarse la construcción del dique o muro.

Posiblemente en el momento de la redacción del oficio del año 2007, no se tuvo presente por la falta de posibilidad de anticipar el futuro, la enorme sequía que iba a afectar el país pocos años después de la construcción del dique o muro hasta el día de hoy.

Como consecuencia de lo anterior, y tal como se mencionaba al inicio de este informe, el lago Caburgua tiene un sistema de desagüe o drenaje único en la región, ya que la mayor parte de sus aguas, salen de él manera subterránea, por porosidades de la roca volcánica de su fondo, hasta aflorar aguas abajo, en el sector conocido como Ojos del Caburgua. El lago además de su drenaje subterráneo tiene un desagüe superficial, tal como lo tienen los otros lagos de la región, llamado Río Caburgua, el que solo se activa fluyendo, ante un lleno total o rebalse del lago, lo que no ocurre hace años dado la menor pluviometría en la zona.

Este sistema de desagüe diferencia el equilibrio hidrogeológico del lago Caburgua del resto de los lagos de la región, ya que, si a este lago le sale o vacía mas agua de la que le entra por sus afluentes, se empieza a vaciar lentamente, tal como gráficamente se puede entender lo hace una tina de baño, a la que se le saca el tapón por abajo.

Un lago común, con desagüe solamente superficial, solo se vacía hasta la altura del fondo del río que lo drena en su superficie, sin embargo, el lago Caburgua puede vaciarse dramáticamente, hasta el punto mas bajo donde la roca de su fondo drene agua hacia los ojos del Caburgua, alterando el entorno para siempre.

Por lo tanto, con la construcción del dique o muralla artificial, al secarse el brazo que llegaba desde el río Trafampulli hacia el Lago Caburgua, lo que se hizo al lago Caburgua fue cortarle en su totalidad, el que era uno de sus principales afluentes, después del Río Blanco.

Ya que como se indicó anteriormente, el vaciado subterráneo del lago jamás se detiene, el efecto directo de la construcción del dique o muro del año DGA 2007, fue iniciar un proceso de desequilibrio ecológico, el que salvo mayores lluvias que las que existían anteriores al año 2007, pueden llevar al vaciado casi total del Lago Caburgua.

Al fenómeno de vaciado acelerado se han sumado por cierto las menores lluvias anuales desde el año 2010 que se indican en el informe adjunto de la Universidad Austral, y también la menor acumulación de nieve, ambos efectos posiblemente producto del ciclo de cambio climático que se vive en el país y en el resto del mundo en las últimas décadas.

Sin embargo, la arbitraria construcción del dique o muro son una intervención humana directa que no solo acrecienta dramáticamente el menor volumen de agua que el lago recibe, sino que, por su sistema de vaciado subterráneo, disminuye dramáticamente el nivel natural que este debiera tener sin la intervención humana del dique o muro, mas allá del cambio climático de la última década.

Las fotos que se presentan a continuación muestran la cascada que se generaba de manera natural en la desembocadura del brazo del Rio Trafampulli hacia el Lago Caburgua. Se aprecia en la secuencia de fotos, el gran volumen de agua que corría hacia el Lago Caburgua, el cual fue alterado y detenido para siempre con la construcción del dique o muro artificial solicitado por la DGA.



Inicios años 80. Foto de la cascada de la desembocadura del Rio Trafampulli en el Lago Caburgua.

Fuente: Rosa Zúñiga Novoa, rut 10.450.060-9.

Nacida en Rio Blanco (Caburgua). Residente histórica del lugar.



Inicios años 80. Foto de la cascada de la desembocadura del Rio Trafampulli en el Lago Caburgia.  
Fuente: Rosa Zúñiga Novoa, rut 10.450.060-9.  
Nacida en Rio Blanco (Caburgia). Residente histórica del lugar.



12/2021 Foto actual de la cascada totalmente seca, en la desembocadura del Rio Trafampulli en el Lago Caburgia. Fuente: Jorge Saez Bustos. Rut 21.928.616-3



12/2021 Foto actual de la cascada totalmente seca, en la desembocadura del Río Trafampulli en el Lago Caburgua. Fuente: Jorge Saez Bustos. Rut 21.928.616-3

Como otro antecedente mas que ejemplifica el efecto del cierre del brazo del río Trafampulli que vaciaba en el lago Caburgua, se muestra a continuación foto del antiguo puente de madera que existía sobre el Río Trafampulli, el cual fue reemplazado por el MOP por uno de hormigón, con dimensiones para grandes crecidas en caso de lluvias sobre lo normal, el cual consideró dentro de su cálculo el antiguo volumen del brazo del río Trafampulli. Hoy luce con su cauce totalmente seco debido al dique o muro construido.



Antiguo Puente sobre Río Trafampulli. Fuente: Archivo histórico familiar. Jorge Saez Bustos. Rut 21.928.616-3



Actual foto del Puente Trafampulli, con diseño para que ruta S 965 cruzara el Rio Trafampulli, hoy seco por la construcción del dique o muro. Jorge Saez Bustos. Rut 21.928.616-3



Actual foto del Puente Trafampulli, con diseño para que ruta S 965 cruzara el Rio Trafampulli, hoy seco por la construcción del dique o muro. Jorge Saez Bustos. Rut 21.928.616-3

Con el objetivo de cuantificar el daño y afectación al Lago Caburgua, se contrató por parte de esta asociación, un estudio a la Universidad Austral de Chile, el cual tal como se mencionó, se adjunta a continuación este informe. Este estudio, hace una profunda investigación sobre los diversos efectos y consecuencias que afectan el caudal de agua que recibe el Lago Caburgua

En uno de sus puntos, el estudio hace una estimación del caudal promedio del Rio Trafampulli, y cuanto de este volumen de entrada pudo haberse quitado al Lago Caburgua con la construcción del dique o muro artificial, que bloqueó para siempre el ingreso de

esa parte de las aguas al lago. Se hace hincapié en este informe que el volumen es una estimación, ya que el Río Trafampulli pese a todos los oficios de la DGA que existen sobre él en el pasado, aun no tiene estaciones formales de medida de caudal en la zona en cuestión.

El estudio de la Universidad Austral estima tanto de acuerdo a la hoya hidrográfica del río, como con visitas a terreno, **en 2 metros cúbicos por segundo** el volumen de agua que se dejó de verter en el lago Caburgua, desde la construcción del dique o muro pedido en el oficio de la Dirección General de Aguas.

Si se realiza un calculo MUY conservador, dividiendo para ello en dos el volumen de agua que la Universidad Austral estima ingresaba al Lago Caburgua desde el Río Trafampulli, se puede considerar que se le quitó al lago al menos 1 (un) metro cubico por segundo en régimen promedio anual. En base a este dato, se puede calcular:

1.- Durante toda su historia previa al año 2007, entraba al lago Caburgua hasta antes de la construcción del dique o muro, al menos 1 (un) metro cubico por segundo desde el Río Trafampulli.

2.- 1 (un) metro cúbico por segundo es igual a 86.400 metros cúbicos diarios.

3.- 86.400 metros cúbicos diarios son iguales a 31.500.000 de metros cúbicos en un año.

Han pasado 15 años desde el año 2007 (año en que se construyó el dique o muro que cerró artificialmente el brazo del río que vaciaba al Caburgua) hasta hoy.

4.- 31.500.000 de metros cúbicos por año, multiplicados por los 15 años antes explicados, dan un total de 473.000.000 de metros cúbicos en total, que sería la estimación conservadora de cuanta agua ha dejado de vaciar desde el Río Trafampulli al Lago Caburgua, desde la construcción del dique o muro.

5.- Si se toman los 473.000.000 de metros cúbicos calculados en el punto anterior (a los que se les interrumpió su curso), y se dividen por la superficie del lago Caburgua que es de 53.000.000 de metros cuadrados, queda un resultado de 8,92 metros

**6.- Como conclusión, estos 8,92 metros, calculados de manera conservadora, son la altura de la columna de agua que se le ha quitado al lago Caburga en estos 15 años desde que se construyó el dique o muro por oficio de la DGA.**

**En caso de que no se considere el factor conservador, y se utilice exactamente el volumen de agua que el informe de la Universidad Austral estima, la altura de columna de agua que el lago ha perdido por el desvío del Río Trafampulli desde el 2007 a la fecha, asciende a 17,84 metros, cantidad que incluso habría activado el vaciado superficial del Lago a través del Río Caburgua al llegar a su cota máxima.**

**Por cierto, el cálculo anterior no incluye entre sus factores el peso de la columna de agua sobre el volumen de las salidas subterráneas, ni tampoco incluye de manera detallada el área exacta del lago a medida que el agua sube o baja ni otros detalles, sin embargo, bajo el supuesto conservador antes mencionado en los**

**párrafos anteriores, el lago ha perdido a lo menos 10 metros de altura desde el año 2007, por efectos del dique o muro artificial construido en el brazo del río Trafampulli que vaciaba en él.**

Lo anterior, calculado en base a antecedentes concretos pero simples de entender para cualquier lector de este informe, ha generado un **daño incalculable** sobre el Lago Caburgua en muchos aspectos, los cuales este informe no pretende dimensionar en detalle, pero si nombrar algunos de manera somera, para efectos de cuantificar el daño causado. Entre estos daños se cuentan:

- 1.- Alteración del ciclo de llenado y vaciado del lago de acuerdo a su historia
- 2.- Posible desequilibrio ecológico en su flora y fauna, aun sin estudios ni conocimientos de sus consecuencias futuras
- 3.- Cambio en el paisaje aledaño
- 4.- Cambio en las playas y orillas de todo el borde del lago afectando el turismo y recreación.
- 5.- Perdida de humedales ancestrales y vida silvestre en las orillas originales del lago.

## **CONCLUSIÓN**

**Tal como se demostró en este informe, bastó desviar solo 1 (un) metro cúbico por segundo como volumen afluente del lago Caburgua, para quitarle al lago al menos 10 metros de altura de agua en el efecto acumulado de los últimos quince años, producto del dique o muro que la DGA ofició construir el año 2007.**

**Entendiendo que el devastador efecto que esto generó pudo no ser previsto en el año 2007 al redactar el oficio, pero si está tendiendo los terribles efectos que hoy se pueden ver en terreno o ampliamente difundidos en la prensa chilena, la Asociación Caburgua Sustentable, a través de este informe, solicita formalmente a la dirección General de Aguas de Chile (DGA) oficial y lograr la inmediata destrucción del dique o muro artificial construido en el año 2007, permitiendo que las aguas del Rio Trafampulli vuelvan a fluir nueva y libremente, tal como lo hicieron posiblemente durante miles de años tanto hacia el Lago Colico, como también hacia el Lago Caburgua.**

**Dado que el Lago Caburgua es uno de los lagos menos contaminados y de aguas mas transparentes de la región, fuente de vida, trabajo y turismo, la Asociación Caburgua Sustentable busca preservar estos conceptos y maravillas naturales para el uso y disfrute de todas las generaciones de chilenas y chilenos que vengan en el futuro.**

**Dania Ulloa Davet**

**Luis Gutiérrez Samohod**

**Andrés Bravo Pelizzola**

**Hernán Levy Arensburg**

**Boris Garafulic Litvak**

**Andrés Ochagavía Urrutia**

**Carlos Alberto Urzúa Baeza**



Universidad Austral de Chile  
Facultad de Ciencias Forestales  
y Recursos Naturales

CONVENIO

ENTRE

ASOCIACIÓN PARA LA PROTECCIÓN Y CONSERVACIÓN DEL  
LAGO CABURGUA

Y

UNIVERSIDAD AUSTRAL DE CHILE (UACH)

**INFORME FINAL**

Héctor Ulloa C.  
Andrés Iroumé A.  
Universidad Austral de Chile

28 octubre 2021

# Contenido

RESUMEN EJECUTIVO .....	2
Anexos.....	4
1 ¿Qué es un Lago?.....	4
2 Antecedentes de la cuenca del lago Caburgua.....	5
3 Estaciones analizadas .....	8
4 Resultados.....	10
1. Precipitaciones .....	10
2. Caudales .....	12
3. Alturas Limnimétricas .....	14
4. Análisis doble acumuladas .....	17
5. Análisis Cobertura de nieve .....	20
6. Análisis de los aportes de caudal medio anual al Caburgua.....	23
7. Visita a terreno .....	26
5 Conclusiones.....	29
6 Recomendaciones .....	31
7 Bibliografía .....	32

## RESUMEN EJECUTIVO

**El lago Caburgua** está ubicado en la zona precordillerana de la región de La Araucanía, y es un cuerpo de agua que drena principalmente por vías subterráneas. La cuenca aportante al Caburgua es de 335 km<sup>2</sup>, donde el afluente de mayor importancia es el río Blanco, ubicado en el extremo norte del lago. Los demás afluentes son pequeños ríos de orden 1 o 2. El régimen hidrológico principal de los afluentes al lago Caburgua es nival, con máximos caudales en época de primavera.

Este lago ha evidenciado una notable disminución de los niveles de agua, lo que ha preocupado por un lado a autoridades locales y por otra parte a vecinos. En este sentido “Caburgua Sustentable” ha encargado este estudio con el fin de identificar las principales causas de la disminución de los niveles de agua del lago. Este informe responde al plan de trabajo convenido entre la ASOCIACIÓN PARA LA PROTECCIÓN Y CONSERVACIÓN DEL LAGO CABURGUA y la UNIVERSIDAD AUSTRAL DE CHILE (UACH), siendo Andrés Iroumé y Héctor Ulloa los responsables por parte de la UACH.

Los resultados de este estudio se basaron en la recopilación y posterior análisis de registros históricos referentes a caudales, precipitaciones y alturas limnimétricas en el lago Caburgua y estaciones cercanas, y de la fotointerpretación de imágenes satelitales para evaluar las tendencias de las coberturas de nieve en la parte alta de la cuenca aportante al Caburgua. Adicionalmente, se cuantificó mediante estimaciones indirectas el efecto que podría estar generando el desvío de las aguas del río Trafampulli, el que hasta el año 2007 drenaba parte de su caudal hacia el Caburgua.

**Los resultados** indican que, respecto a los datos hidrometeorológicos:

- Las **precipitaciones** anuales muestran una clara tendencia de disminución para todas las estaciones analizadas, y en promedio la precipitación anual ha disminuido durante las dos últimas décadas en aproximadamente 1000 mm.
- Los registros de todas las estaciones fluviométricas consideradas muestran los caudales medios anuales tienden a la baja en el tiempo. También, es posible identificar que entre los años con menor caudal está el 2016, seguido del 2020, y que posterior al año 2016 (años 2017 a 2019) la recuperación de los caudales no llega al nivel de los registros observados en la primera década de observación (años 2000 a 2010).
- Los caudales medios anuales de entrada al Caburgua, estimados de un análisis de los registros fluviométricos de estaciones cercanas, se han reducido en 5 m<sup>3</sup>/s en la última década.
- Las **alturas limnimétricas**, tanto del lago Caburgua (con descarga subterránea) como de los lagos Villarrica y Neltume (con descarga superficial), muestran una tendencia a la disminución, aun cuando el descenso del nivel del Caburgua ha sido mayor tanto en época de invierno como en verano. En el Caburgua, los niveles limnimétricos registrados en la década 2011-2020 nunca han alcanzado el promedio de lo observado durante la década 2000-2010. Hasta el año 2016, la tendencia a la disminución del nivel

del Caburgua es consistente con las tendencias observadas para el Villarrica y Neltume, pero desde este año esta disminución se acentúa.

- Respecto a la **cobertura de nieve** en la cuenca aportante al Caburgua, ésta ha disminuido considerablemente en los últimos años. Por ejemplo, entre los años 2001 y 2011 la cobertura de nieve fue en promedio de un 56% de la superficie de la cuenca, mientras que en la última década esta media baja a 27%.

Respecto al efecto que el desvío de las aguas del Trafampulli, que ya no descarga al Caburgua, es posible indicar que:

- El caudal medio anual del Trafampulli (cuenca de 38 km<sup>2</sup>) sería de unos 4 m<sup>3</sup>/s. Esta es una estimación usando los registros de la estación Río Trafampulli en Rinconada que controla una superficie total de 150 km<sup>2</sup> y presenta un caudal medio anual de 15 m<sup>3</sup>/s.
- Asumiendo que el 50% de estos 4 m<sup>3</sup>/s ingresaban al Caburgua, se podría suponer que el lago Caburgua ha dejado de recibir, en promedio anual, del orden de 2 m<sup>3</sup>/s (o 63 km<sup>3</sup> de agua).
- Dado que la superficie del espejo de agua del Caburgua es de 52 km<sup>2</sup>, el menor ingreso de 63 km<sup>3</sup> de agua en promedio anual resultaría en un menor nivel del Caburgua en unos 1,2 m por año.

Como **conclusiones generales** se puede decir que todas las variables hidroclimáticas muestran tendencias a la baja en los últimos años, cuestión que sustenta la disminución del nivel del lago Caburgua. Sin embargo, el desvío de las aguas del Trafampulli, que hasta el año 2009 descargaba parte de sus aguas al lago, exacerba el efecto climático en el descenso del nivel del lago.

Entre las recomendaciones, parece indispensable generar las bases para instalar y operar estaciones fluviométricas al menos en el río Blanco en las cercanías a su descarga al Caburgua, y agua debajo de los Ojos del Caburgua, para así poder cuantificar con mayor precisión los caudales de entrada y salida al lago. También, mejorar el sistema de medición de las alturas limnimétrica del lago. Por último, profundizar en la cuantificación de los caudales del Trafampulli, para decidir una restitución de parte de su caudal al Caburgua, como ocurrió en una época.

# Anexos

## 1 ¿Qué es un Lago?

Un lago es una acumulación o cuerpo de agua continental que se ubica en una depresión sobre la superficie de la tierra, y que para permanecer en el tiempo el volumen de entrada de agua debe ser mayor o igual que el de salida. Pueden tener varios orígenes, y en el caso de los lagos cordilleranos de Chile, la mayoría tienen un origen volcánico o glaciar o una combinación de ambos.

La mayoría de los lagos se alimentan mediante afluentes que corresponden a arroyos y ríos originados por las precipitaciones locales y por el deshielo de nieve acumulada y de los glaciares.

Los lagos pueden ser cerrados, que corresponde a lagos que pierden nivel principalmente mediante la evaporación de sus aguas. Por otra parte, están los lagos abiertos que pierden agua, además de la evaporación, por efluentes superficiales o subterráneos, o una combinación de ambos. En la Figura 1(a) se representa un lago con efluente superficial y en la Figura 1(b) un lago con salida subterránea.

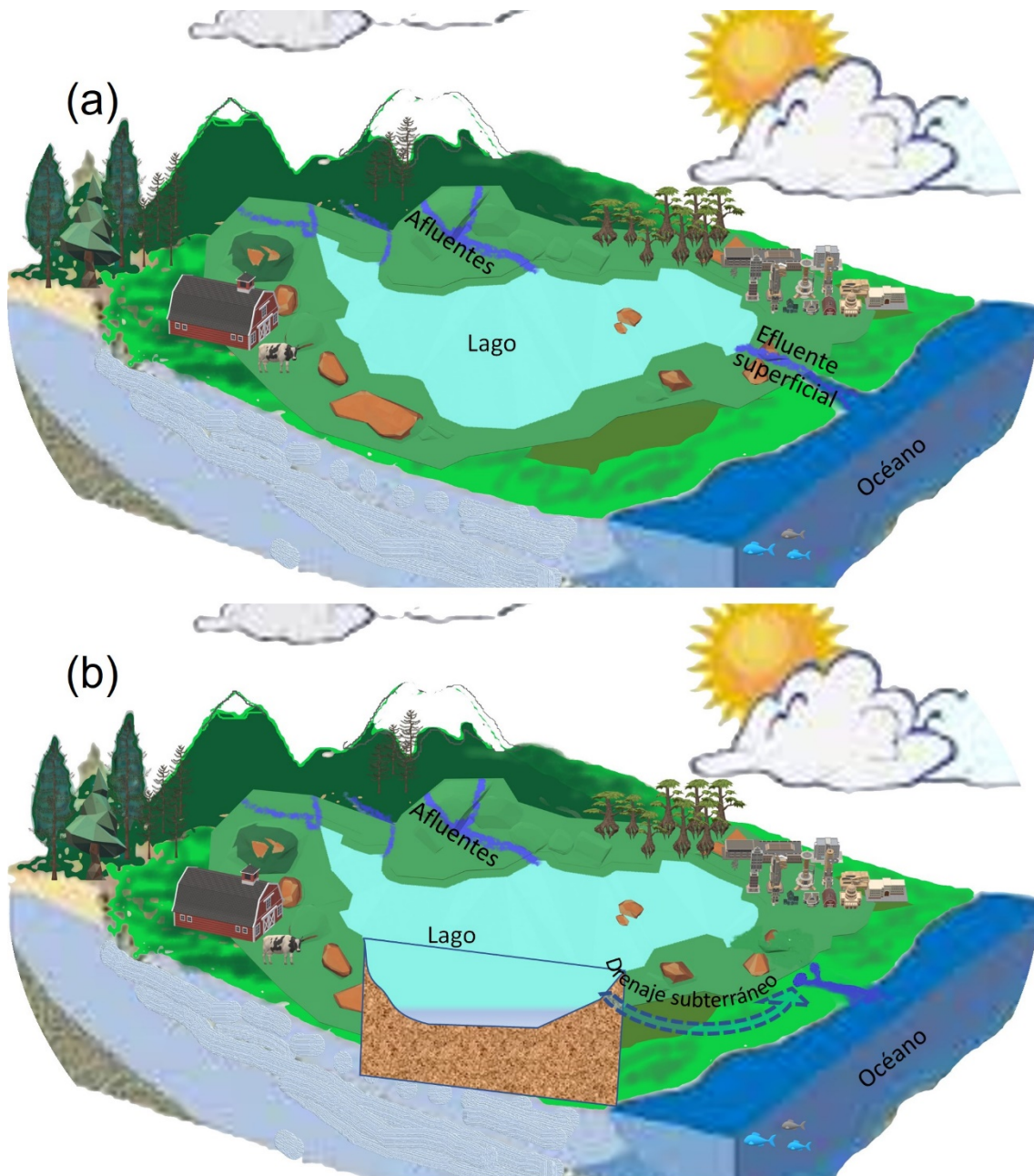


Figura 1. Representación de un lago según el régimen principal de salida de agua: a) superficial, y b) subterránea. Fuente: Elaboración propia.

## 2 Antecedentes de la cuenca del lago Caburgua

El lago Caburgua se ubica en la precordillera andina de la región de la Araucanía, Chile. Está a una altitud de 505 m.s.n.m., dentro de la cuenca del río Toltén. La cuenca total aportante del lago Caburgua alcanza a unos 335 km<sup>2</sup>, que incluye el espejo de agua que tiene una superficie

aproximada de 52 km<sup>2</sup>. La cuenca alcanza las mayores altitudes en cumbres que se elevan hasta unos 1600 m.s.n.m. Se alimenta principalmente de aguas de deshielo y precipitaciones. En Campos et al. (1987) se entregan características morfométricas, físicas, químicas y biológicas del lago. Es un lago profundo que alcanza una profundidad máxima de 327 m, con solo 6,1% de zonas bajas menores de 30 metros de profundidad.

Por otra parte, este lago se encuentra en un contexto de la Zona de Falla Liquiñe-Ofqui. Los conos volcánicos cercanos a la ribera sur del lago Caburgua presentan un gran número de fallas, y Muñoz et al. (2016) determinan que el origen de las fallas de los depósitos del Caburgua es probablemente tectónico, asociado al desarrollo de fallas inversas durante la etapa intersísmica y fallas normales durante la etapa cosísmica.

La cuenca del lago Caburgua se encuentra en una zona de un clima templado lluvioso con influencia mediterránea, a excepción de las cumbres más altas que presentan un clima frío o Hielo de Altura.

Respecto al sistema hídrico del lago Caburgua, este es alimentado por una serie de cursos de agua de orden 1 y 2, los que drenan cuencas de baja extensión tanto en los lados oriente y poniente del lago. Además, en el extremo norte se encuentra el principal afluente que corresponde al río Blanco, con una cuenca que alcanza los 180 km<sup>2</sup> de superficie (Figura 2). En total las cuencas de estos ríos, sin considerar el espejo de agua, abarcan aproximadamente una superficie de 285 km<sup>2</sup>. También se indica en la Figura 2 el río Trafampulli, que según se ha manifestado por parte de Caburgua Sustentable, hasta hace algunos años atrás parte del caudal de este río drenaba hacia el lago Caburgua.

Finalmente, en el extremo sur se encuentra el drenaje de esta cuenca, que evacua las aguas principalmente de forma subterránea y que alimenta al río Caburgua, ubicado aproximadamente a unos 5 km de distancia, en el sector llamado Ojos del Caburgua (Figura 3). Las aguas del Caburgua fluyen hacia el río Liucura, que finalmente drena hacia el lago Villarrica. El drenaje subterráneo del lago Caburgua representa entre 90<sup>1</sup> y 100% del caudal total de salida.

---

<sup>1</sup> Dr. Juan Carlos Ortega, La Voz de Pucón, 29/10/2018

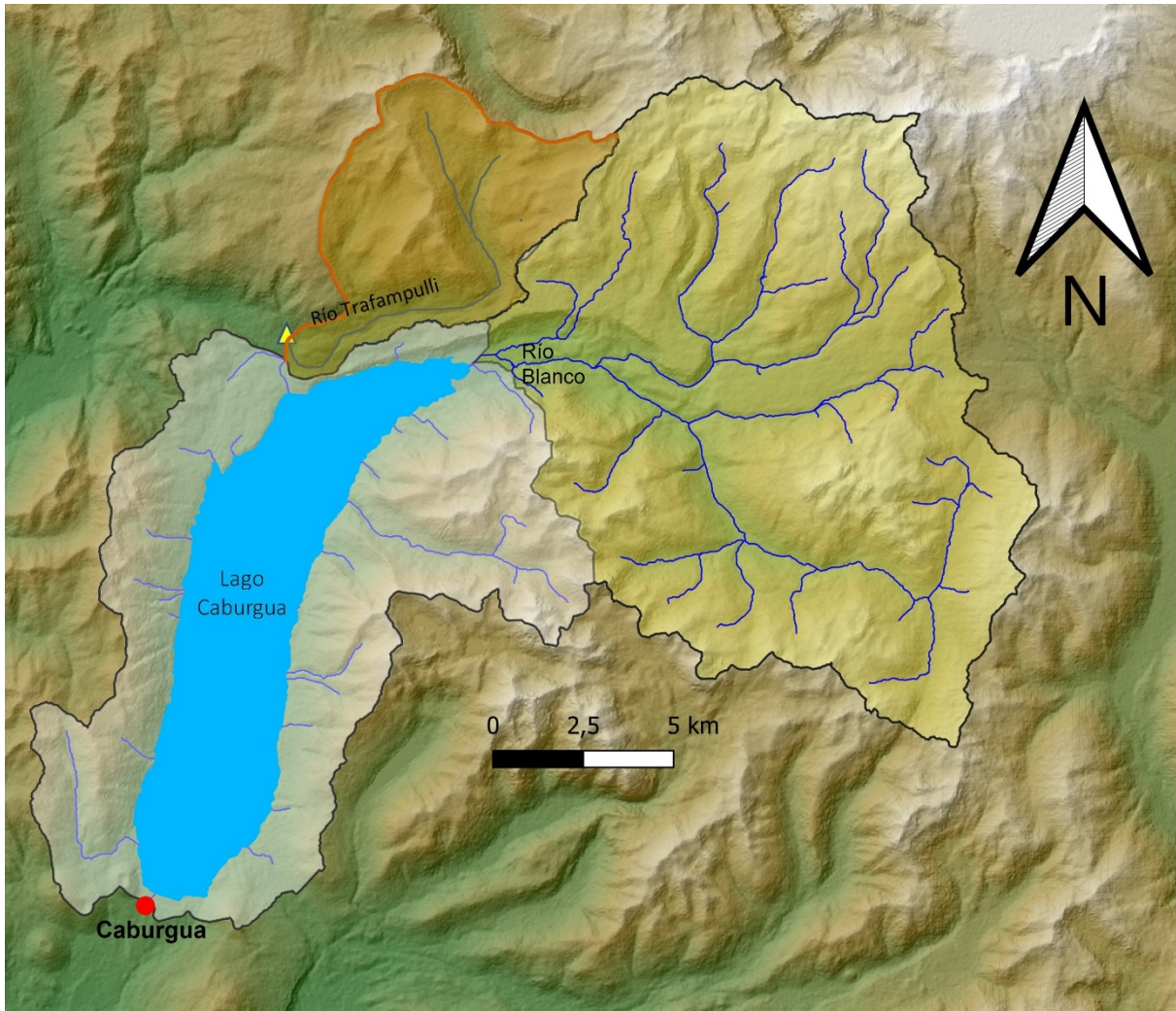


Figura 2. Cuenca del lago Caburgua con su red de drenaje, se destaca la cuenca del río Blanco que es el principal afluente al lago. Además, se indica el río Trafampulli y con un triángulo amarillo el lugar donde se desviaba parte de su caudal hacia el lago Caburgua. Fuente: Elaboración propia; agradecimientos, Nicolás Vergara P.



Figura 3. Zona de desagüe del lago Caburgua, mediante efluentes subterráneos que reaparecen superficialmente en los Ojos del Caburgua. Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 4 se grafican las alturas medias de agua a nivel mensual entre los años 2000 y 2020, según registros de la DGA. En este perfil de altura, los niveles más bajos de fines de otoño e inicios de invierno y las máximas alturas en los meses de primavera, indican que el régimen hidrológico principal del lago Caburgua es nival.

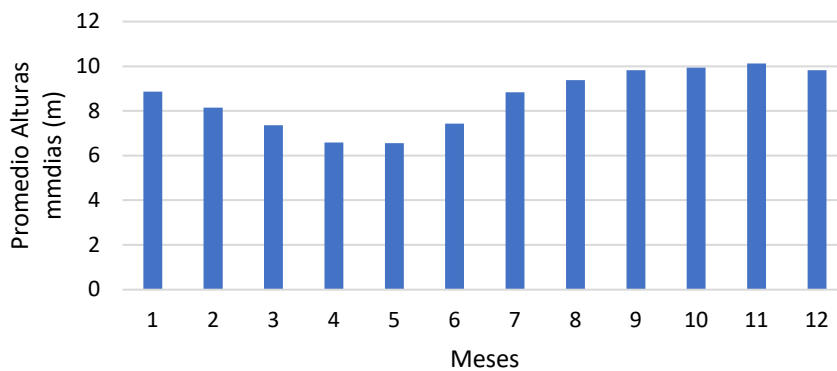


Figura 4. Niveles de alturas medias mensuales del lago Caburgua. Fuente: Elaboración propia.

### 3 Estaciones analizadas

El Cuadro 1 muestra las estaciones analizadas para este informe. Se consideraron estaciones Fluiométricas (6), Meteorológicas (6) y Limnimétricas (3), en total 15 estaciones. La selección de

estas estaciones se realizó por cercanía al lago Caburgua y que tuvieran suficientes datos para un análisis temporal.

Los registros de todas estas estaciones se obtuvieron de la base de datos de la Dirección General de Aguas.

Cuadro 1. Estaciones incorporadas en el análisis: Fluviométricas (5), Meteorológicas (6) y Limnimétricas (3). En total 14 estaciones numeradas correlativamente. Fuente: Elaboración propia

Estaciones Fluviométricas	Estaciones Meteorológicas	Estaciones Limnimétricas
<b>1</b> RIO LIUCURA EN LIUCURA	<b>7</b> CURARREHUE	<b>13</b> LAGO VILLARRICA (LM)
<b>2</b> RIO TOLTEN EN VILLARICA	<b>8</b> LAGO CABURGUA	<b>14</b> LAGO NELTUME (LM)
<b>3</b> RIO CURACO EN COLICO	<b>9</b> LAGO TINQUILCO	<b>15</b> LAGO CABURGUA (LM)
<b>4</b> RIO TRANCURA EN CURARREHUE	<b>10</b> LLAFENCO	
<b>5</b> RIO TRANCURA ANTES RIO LLAFENCO	<b>11</b> PUCON	
<b>6</b> RIO TRAFAMPULLI EN RINCONADA	<b>12</b> TRICAUCO	

La ubicación de las estaciones se muestra en la Figura 5. Se pueden destacar las estaciones Fluviométricas 2 y 3 que drenan a los lagos Villarrica y Cólico, respectivamente. No hay estaciones fluviométricas que controlan afluentes al lago Caburgua ni al río que lo drena. También se puede mencionar que no existe estación Limnimétrica que registre el nivel de las aguas del lago Cólico.

Red Hidrométrica

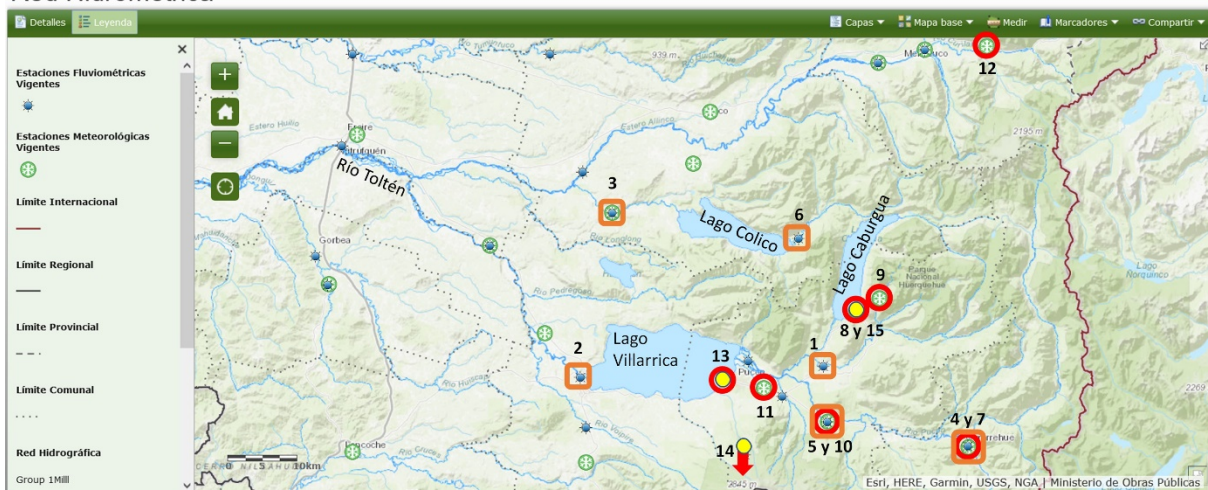


Figura 5. Ubicación de las estaciones utilizadas en el análisis según información del Ministerio de Obras Públicas. Las estaciones fluviométricas están destacados con cuadrados, las meteorológicas (precipitación) en círculos, y la limnimétricas en círculos con centros en amarillo. La estación Limnimétrica 14 correspondiente al lago Neltume se ubica a unos 75 km al sur del lago Caburgua.

La estación fluviométrica RIO TRAFAMPULLI EN RINCONADA, que controla un río que fluye hacia el lago Colico (estación 6 en la Figura 5) fue finalmente descartada de los análisis. Esto pues tiene registros parciales desde el año 2016 a 2020, pero con datos incompletos, faltando al menos dos meses de datos por año, principalmente meses de verano.

Los datos se analizan en función de las tendencias que se puedan observar a través del tiempo, considerando aproximadamente las últimas dos décadas (2000 a 2020), a excepción de las estaciones que no cuentan con su serie de datos completa para este periodo. Las tendencias se someterán a un análisis estadístico y se consideran significativas con un valor de  $p \leq 0,05$ .

## 4 Resultados

**Los recursos hídricos en el país** han estado cada vez más en un cambio constante hacia la escasez, lo que ha aumentado la fragilidad de estos recursos frente a cualquier tipo de intervención. Si bien los cambios a nivel del clima se han destacado como la principal causa de la escasez hídrica, cada vez se hace más importante considerar la fragilidad de los sistemas acuáticos frente a intervenciones humanas.

**Respecto a la variación climática en Chile durante los últimos años**, se ha documentado una importante disminución de las precipitaciones desde mediados del siglo pasado (ver por ejemplo a Garreaud et al., 2020; Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia (CR)2, 2015). Este déficit de precipitaciones se ha incrementado en duración y extensión desde el año 2010. Para los años 2010-2015 se estimaba que el déficit pluviométrico se mantenía por sobre un 30%, incluyendo la región de la Araucanía. Junto con el déficit pluviométrico, también ha ocurrido un considerable aumento de las temperaturas, lo que se expresa en un gradual calentamiento desde mediados de la década de los 70 para la zona norte y central del país, siendo más evidente sobre los 1000 metros de altitud. Este aumento de las temperaturas agrava el déficit hídrico mediante la pérdida de las zonas de nieves, aumento de la evapotranspiración desde las zonas vegetadas, y aumento de la evaporación desde lagos y embalses.

### 1. *Precipitaciones*

Las estaciones para el análisis de las precipitaciones, y los registros de precipitaciones anuales, se presentan en el Cuadro 2. La estación Lago Caburgua solo tiene datos disponibles desde el año 2009 hasta el 2000, y la estación Pucón solo tiene datos disponibles hasta el año 2018.

Cuadro 2. Precipitación anual (mm) para seis estaciones cercanas al lago Caburgua, periodo 2000 a 2020. FUENTE: Dirección General de Aguas; Elaboración propia.

Año	CURARREHUE	LAGO CABURGUA	LAGO TINQUILCO	LLAFENCO	PUCON	TRICAUCO
2000	3133		3258	3622	2487	2368
2001	2814		3375	3115	2033	2288
2002	3485		3957	4381	2611	2394
2003	2374		2981	3274	2286	1937
2004	2698		3073	3567	2322	2046
2005	3224		3729	3661	2622	2276
2006	3332		4205	4034	2607	2542
2007	2149		2342	2604	1887	1520
2008	2604		2779	3197	2141	1896
2009	3266	3315	3702	3842	2553	2718
2010	2271	2397	2680	2668	1957	1769
2011	2333	2157	2637	2993	2248	1807
2012	2325	2469	2386	2824	2068	1806
2013	2213	2122	2415	2917	1601	1808
2014	2465	2380	2367	3299	2165	2040
2015	2654	2508	2487	3506	2323	1857
2016	1721	1583	1966	2395	1533	1180
2017	2282	2051	2755	3163	2080	1544
2018	2571	2451	2858	3423	2293	1811
2019	2405	2109	2755	2544		1422
2020	2106	1775	2415	2611		1205

En la Figura 6 se grafican los valores presentados en el Cuadro 2. Aquí se incluye además la línea de tendencia de las medias entre las estaciones.

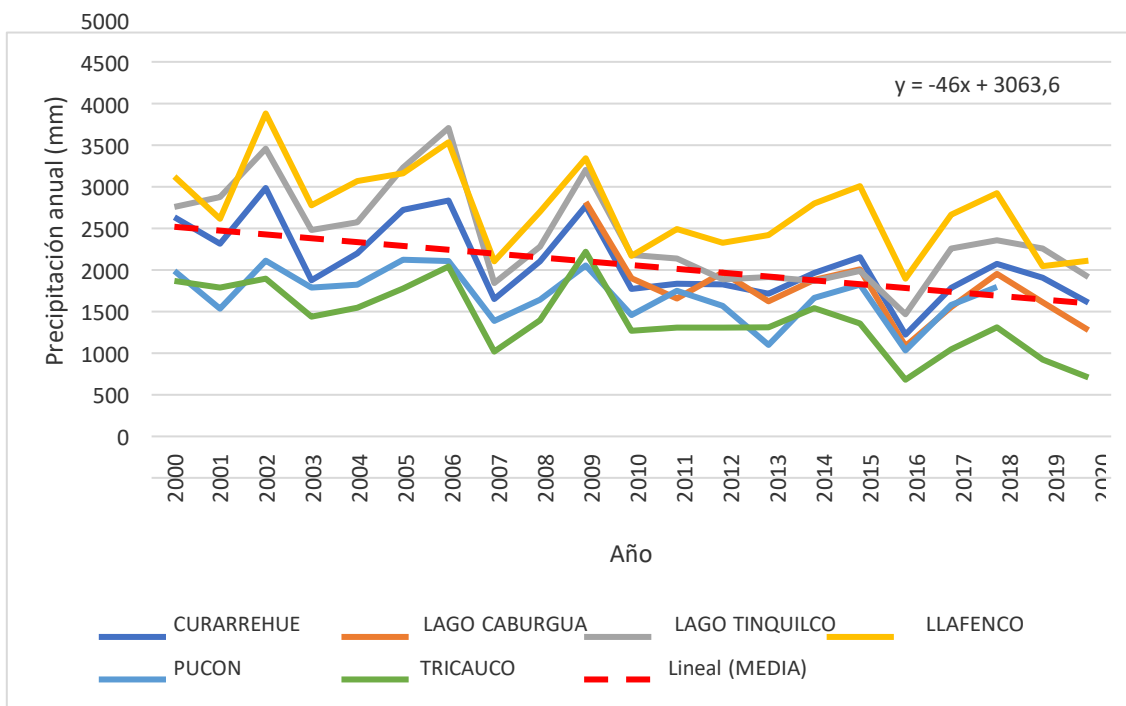


Figura 6. Precipitaciones anuales durante el periodo 2000 y 2020 para cada estación. La línea punteada corresponde a la tendencia de la precipitación media entre las estaciones. Fuente: Elaboración Propia.

Se nota una clara tendencia de disminución de los montos anuales de precipitación para todas las estaciones analizadas (Figura 6). Un análisis estadístico muestra que todas estas tendencias son significativas. Si se considera la tendencia de la media entre las estaciones, se observa que la precipitación anual ha disminuido durante las dos últimas décadas en aproximadamente 1000 mm.

## 2. Caudales

En el Cuadro 3 se muestran los datos de caudal medio anual ( $m^3/s$ ) en cinco estaciones fluviométricas de ríos cercanos al lago Caburgua. Una de ellas (RIO CURACO EN COLICO) no cuenta con la serie completa para el periodo 2001 – 2020. Otras estaciones cercanas, tales como RIO TRAFAMPULLI EN RINCONADA, o RIO TRUFUL EN CAMINO INTERNACIONAL, no contaban con suficientes datos para incluirlas en el análisis. Cabe destacar que ninguna de estas estaciones controla el caudal de los ríos aportantes al Caburgua ni el de salida del lago.

Cuadro 3. Datos de caudal medio anual (m<sup>3</sup>/s) para estaciones cercanas al lago Caburgua y que corresponden a subcuencas presentes en la Hoya hidrográfica del río Toltén.

<b>AÑO</b>	<b>RIO LIUCURA EN LIUCURA</b>	<b>RIO TOLTEN EN VILLARICA</b>	<b>RIO CURACO EN COLICO</b>	<b>RIO TRANCURA EN CURARREHUE</b>	<b>RIO TRANCURA ANTES RIO LLAFENCO</b>
2000	31.0	253.0	48.0	32.0	112.0
2001	33.1	281.3	48.5	35.1	129.2
2002	36.6	274.1	52.7	35.4	129.7
2003	29.0	295.6	43.6		113.9
2004	29.5	263.9	48.6	27.1	113.8
2005	36.0	280.2	52.9	32.4	126.9
2006	38.5	315.1	55.4	35.7	145.9
2007	24.7	194.7	36.1	22.4	82.2
2008	35.6	259.2		27.9	106.5
2009	25.7	269.4		33.7	125.4
2010	26.8	216.7		21.8	86.3
2011	25.4	201.5		23.1	86.7
2012	23.5	194.6		16.6	83.3
2013	25.0	224.2	40.2		91.4
2014	28.9	237.5		30.1	109.3
2015	29.2	246.8		25.1	92.3
2016	11.9	161.8	25.7	18.5	65.1
2017	26.0	225.5	42.8	27.7	105.1
2018	26.0	250.4	47.1	28.0	121.3
2019	23.1	215.5		21.2	93.7
2020	17.9	172.8		18.9	72.2

Los resultados del análisis de la tendencia de los caudales medios anuales de cada una de estas estaciones están en la Figura 7.

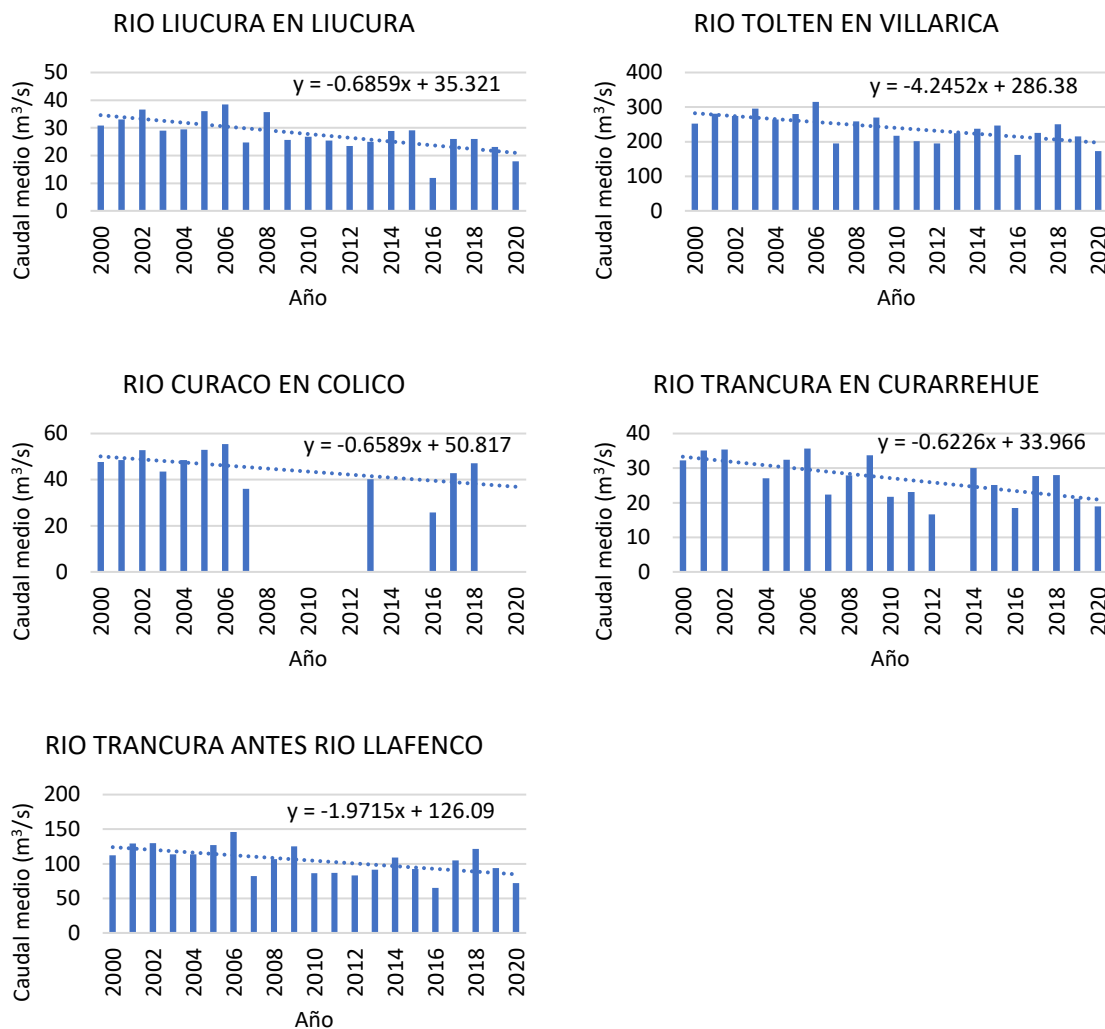


Figura 7. Tendencia de los caudales medios anuales (m³/s) durante el periodo 2000 – 2020 para las estaciones que se muestran en el cuadro 3. En general se observa en todas las estaciones una tendencia a la baja de los caudales en el tiempo. Fuente: Elaboración propia.

En todas las estaciones se aprecia que los caudales medios anuales tienden a la baja en el tiempo (Figura 7). Todas estas tendencias son estadísticamente significativas. En general, es posible identificar que entre los años con menor caudal está el 2016, seguido del 2020. Si bien, posterior al año 2016 (años 2017 a 2019) se observa una recuperación de los caudales, estos no llegan al nivel de los registros en la primera década de observación (años 2000 a 2010).

### 3. Alturas Limnimétricas

A continuación, se muestran las tendencias de los registros de altura de agua en el lago Villarrica (Figura 8), lago Neltume (Figura 9) y lago Caburgua (Figura 10). En cada uno de los

lagos se grafican la media mensual de los datos (Media de H mensual), la media de alturas para los meses junio y julio (Media H jun-jul) y finalmente la media de las alturas entre los meses de enero y febrero (Media de H ene-feb), con el fin de representar tanto las alturas de invierno, cuando tiene mayor incidencia el periodo de máximas lluvias y el nivel de las aguas en periodo estival. Por otra parte, se grafican las tendencias de estas medias para cada estación.

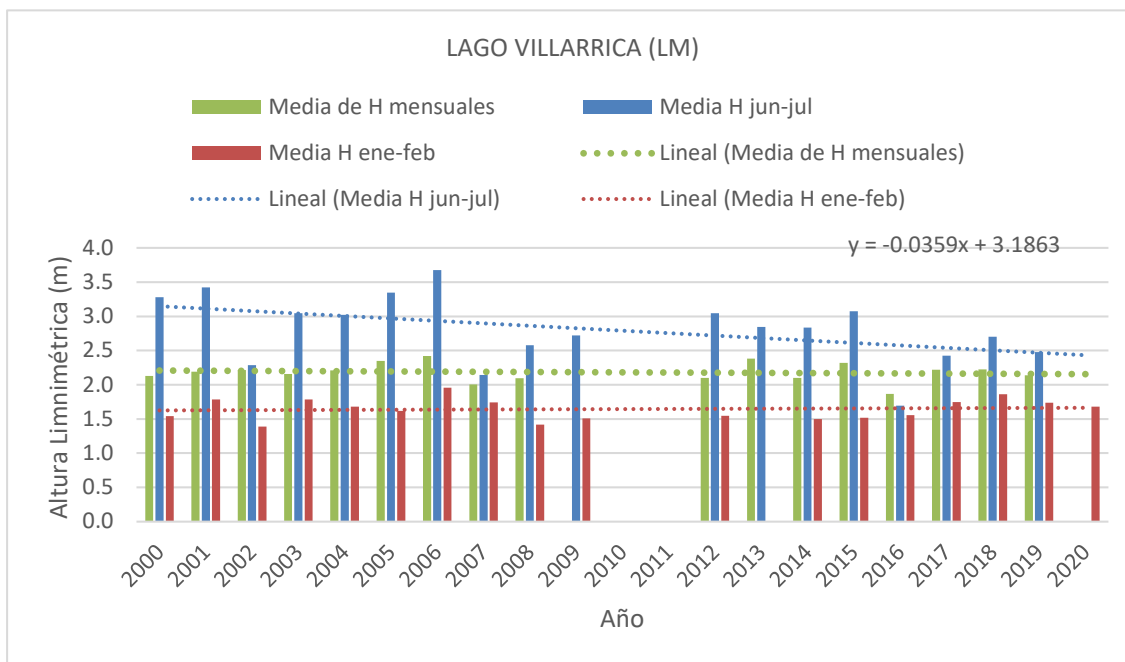


Figura 8. Altura limnimétrica de las aguas en el lago Villarrica. Se muestra el Promedio general anual, el promedio para los meses junio-julio (invierno) y para enero-febrero (verano). Además, se representan con líneas punteadas las tendencias para los promedios de invierno y verano. Fuente: Elaboración propia.

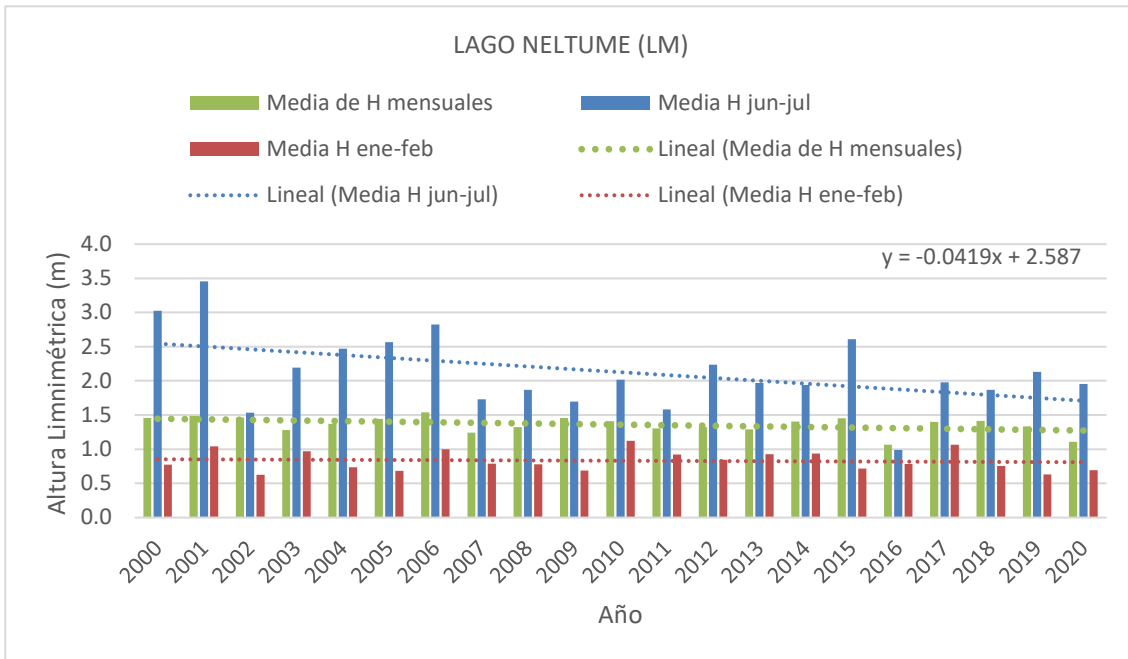


Figura 9. Altura limnimétrica de las aguas en el lago Neltume. Se muestra el Promedio general anual, el promedio para los meses junio-julio (invierno) y para enero-febrero (verano). Además, se representan con líneas punteadas las tendencias para los promedios de invierno y verano. Fuente: Elaboración propia.

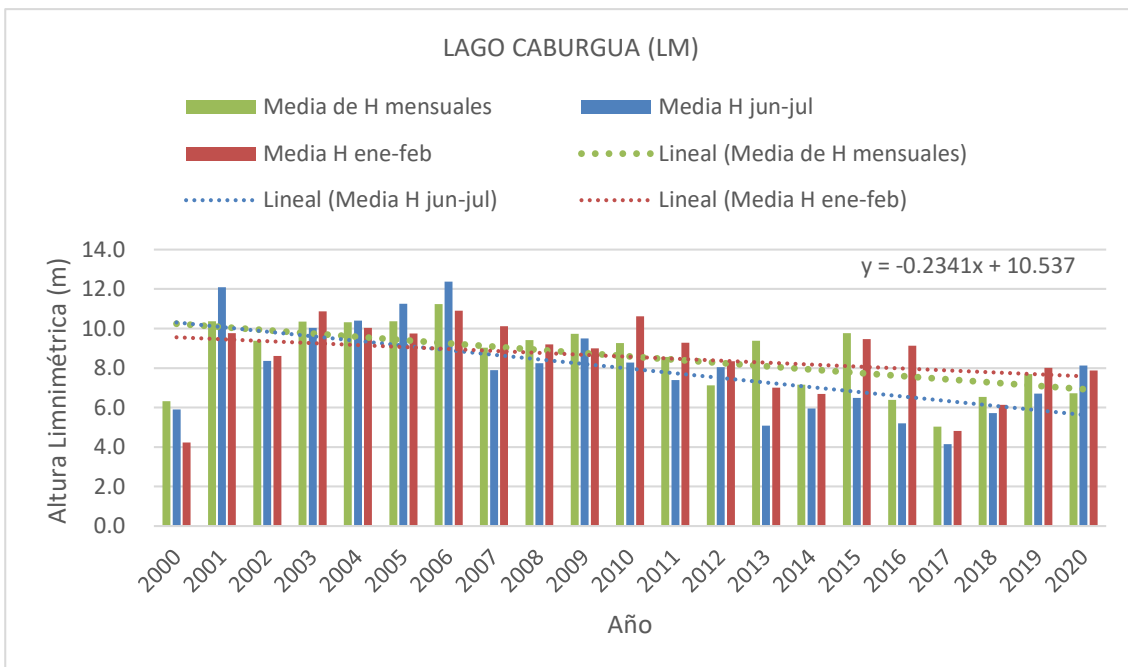


Figura 10. Altura limnimétrica de las aguas en el lago Caburgua. Se muestra el Promedio general anual, el promedio para los meses junio-julio (invierno) y para enero-febrero (verano). Además, se representan con líneas punteadas las tendencias para los promedios de invierno y verano. Fuente: Elaboración propia.

En general se observa que es en invierno cuando hay mayor disminución del nivel de aguas. De hecho, en los lagos Villarrica y Neltume se mantiene relativamente estable la altura media para los meses de verano (enero-febrero). Para enero-febrero no hay ninguna tendencia que sea estadísticamente significativa, como sí lo son las tendencias observables para los meses junio-julio. También se puede destacar que la tendencia con mayor baja de alturas es para el lago Caburgua, incluso para los meses de verano.

A continuación, se presenta un análisis específico para el lago Caburgua, se grafican el promedio, el máximo y mínimo de las alturas limnimétricas anuales, además se grafica la línea que representa el valor promedio que alcanzó el nivel del lago para el periodo 2000 al 2010, considerando las alturas mencionadas anteriormente (ver Figura 11). Se destaca el bajo nivel del lago para el periodo 2011-2020, de hecho, en ningún caso la altura logra alcanzar el nivel promedio registrado durante el periodo 2000-2010. La media de las alturas para el primer periodo corresponde a 9,6 m (promedio H), 12,2 m (Max de H) y 6,9 m (Min de H). Para el segundo periodo estas medias son 7,1; 9,2 y 5,0 respectivamente. Esta disminución es de aproximadamente un 25%.

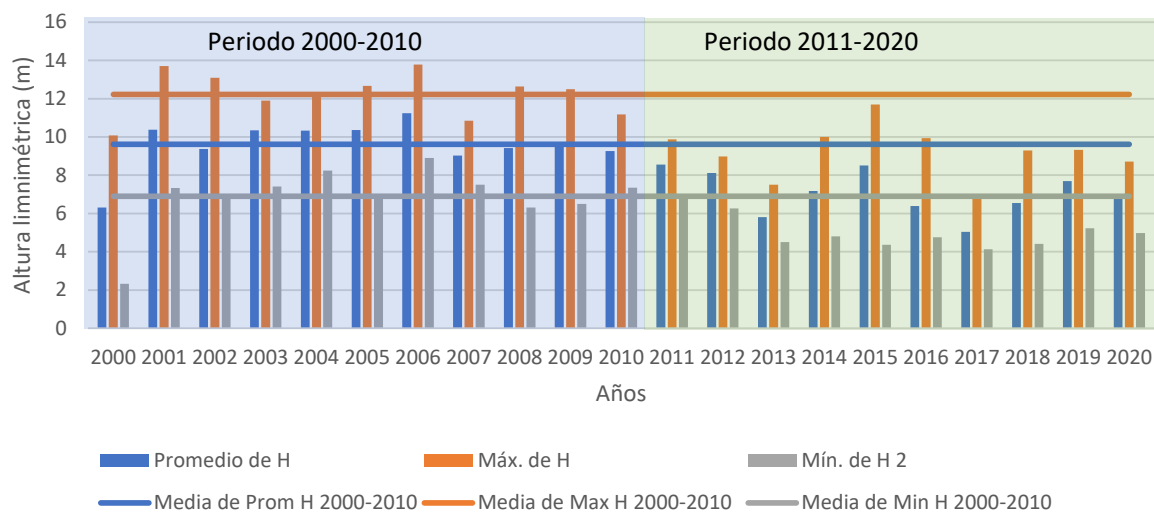


Figura 11. Registro del promedio, el máximo y mínimo de las alturas limnimétricas anuales, además se representan las medias del Promedio de H, Max de H y Min de H para el periodo 2000-2010. Fuente: Elaboración propia.

#### 4. Análisis doble acumuladas

A continuación, se realiza un análisis para detectar cambios en homogeneidad de los datos de la altura del nivel de agua del lago Caburgua, tomando como referencia las estaciones de los lagos Villarrica y Neltume, que se encuentran relativamente cerca y en una condición climática similar. Por lo tanto, de haber algún cambio producto de algún factor externo a las condiciones hidrometeorológicas presentes en la zona debería ser detectado.

Previo al análisis para el caso del Caburgua, se comprobó que los registros de los lagos Villarrica y Neltume no presentan cambios de tendencia. El análisis de dobles acumuladas utiliza el registro de la media de altura (H) del nivel de agua de los lagos Villarrica y Neltume (valores acumulados en el tiempo) y hace una comparación de estos registros. El resultado de este análisis está en la Figura 12, donde se puede apreciar que la relación entre los registros de altura de ambos lagos es homogénea. Es decir, no se nota un cambio de tendencia en la altura limnimétrica entre ambos lagos.

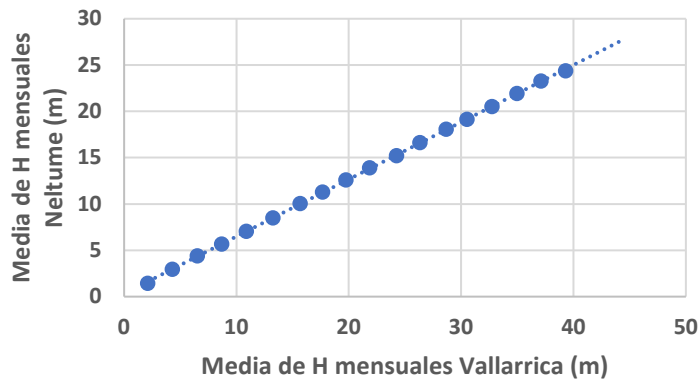


Figura 12. Análisis entre los valores acumulados de altura media mensual de lago Neltume y lago Villarrica. Fuente: Elaboración propia.

Luego de esta comprobación, se repite el análisis comparando los registros de altura del Caburgua con las del lago Villarrica, considerando la media de H mensuales de todos los meses (ver Figura 13a) y la media de H mensuales para los meses junio-julio (ver Figura 13b). La comparación los registros de altura del Caburgua con las del lago Neltume, considerando la media de H mensuales de todos los meses se resume en Figura 14a, y con la media de H mensuales para los meses junio-julio en Figura 14b.

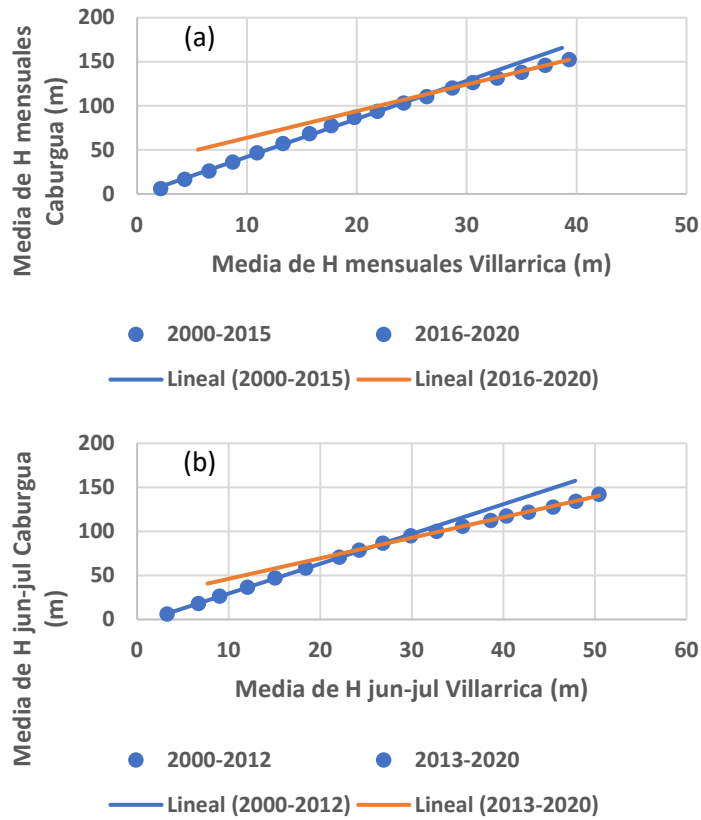


Figura 13. Análisis entre los valores acumulados de altura media mensual de lago Caburgua y lago Villarrica. Fuente: Elaboración propia.

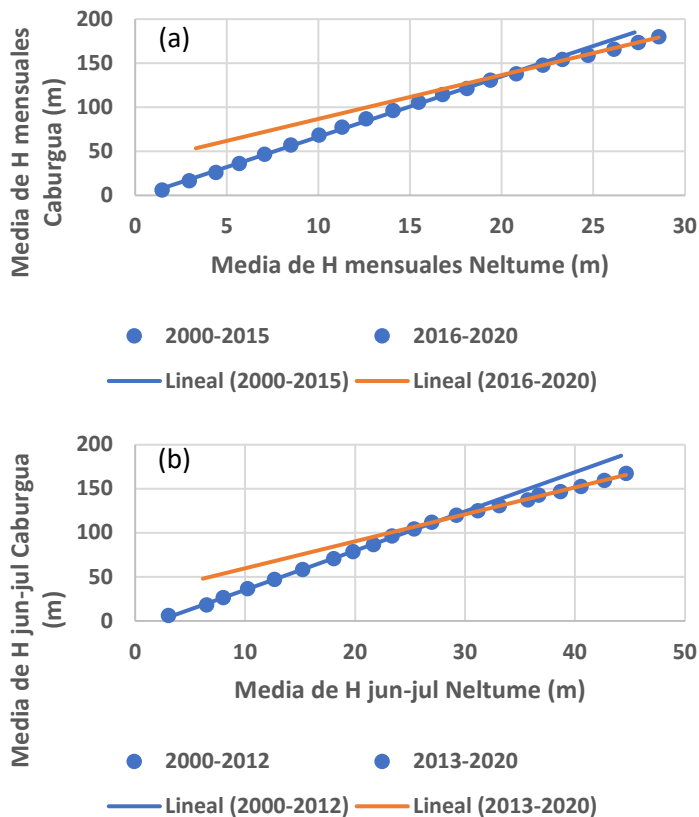


Figura 14. Análisis entre los valores acumulados de altura media mensual de lago Caburgua y lago Neltume. Fuente: Elaboración propia.

Del análisis de las Figuras 13a y 14a, se nota una pérdida de la homogeneidad de los registros de las alturas medias de todos los meses a partir del año 2016. Es decir, en relación con las tendencias iniciales, a partir del año 2016 las alturas del nivel de aguas en el lago Caburgua se reducen en relación con lo que se observa en los lagos Villarrica y Neltume. Para los registros de las alturas de los meses de invierno (Figuras 13b y 14b), la pérdida de la homogeneidad se produce a partir del año 2013; tal como se explica para los registros de todos los meses, a partir del 2013 el Caburgua empieza a registrar menores recuperaciones en invierno de su nivel de agua, si se compara con lo que ocurre en los lagos Villarrica y Neltume.

## 5. Análisis Cobertura de nieve

Antecedentes a nivel nacional indican que, junto a la disminución de las precipitaciones, ha estado ocurriendo una fuerte disminución del total de nieve caída y que es almacenada en las zonas cordilleranas de Los Andes (Cordero et al, 2019). Específicamente para el lago Caburgua, la acumulación de nieve es relevante dado el régimen nival que presenta.

Se realizó un análisis de cobertura de nieve en la cuenca del lago Caburgua, utilizando imágenes multiespectrales de los satélites Landsat 5, 7, 8 y Sentinel 2, desde el año 2001 hasta el 2021, a excepción del año 2005 y 2008 que no se encontraron imágenes de buena calidad para este fin. El periodo de estudio anual se enfocó durante los meses de invierno, entre junio, julio y agosto. Las imágenes fueron sometidas a un preprocesamiento, en donde, se aplicó la corrección de bandeo (para landsat 7), pansharpening y corrección radiométrica. En análisis de la cobertura de nieve se realizó mediante la metodología de la clasificación supervisada a través de un sistema de información geográfico (QGIS). Para la clasificación de suelo se utilizaron tres clases: Nieve, Agua y Bosque/suelo/Pradera, obteniendo un total de 19 mapas de cobertura de nieve durante el periodo invernal.

En las Figura 15 se puede apreciar el mapa de cobertura de nieve para diferentes años, se destaca un gran contraste ente los periodos de mayor cobertura (por ejemplo, años 2009 y 2010) respecto a años donde el área cubierta de nieve es muy baja (por ejemplo, años 2015, 2016 y 2021).

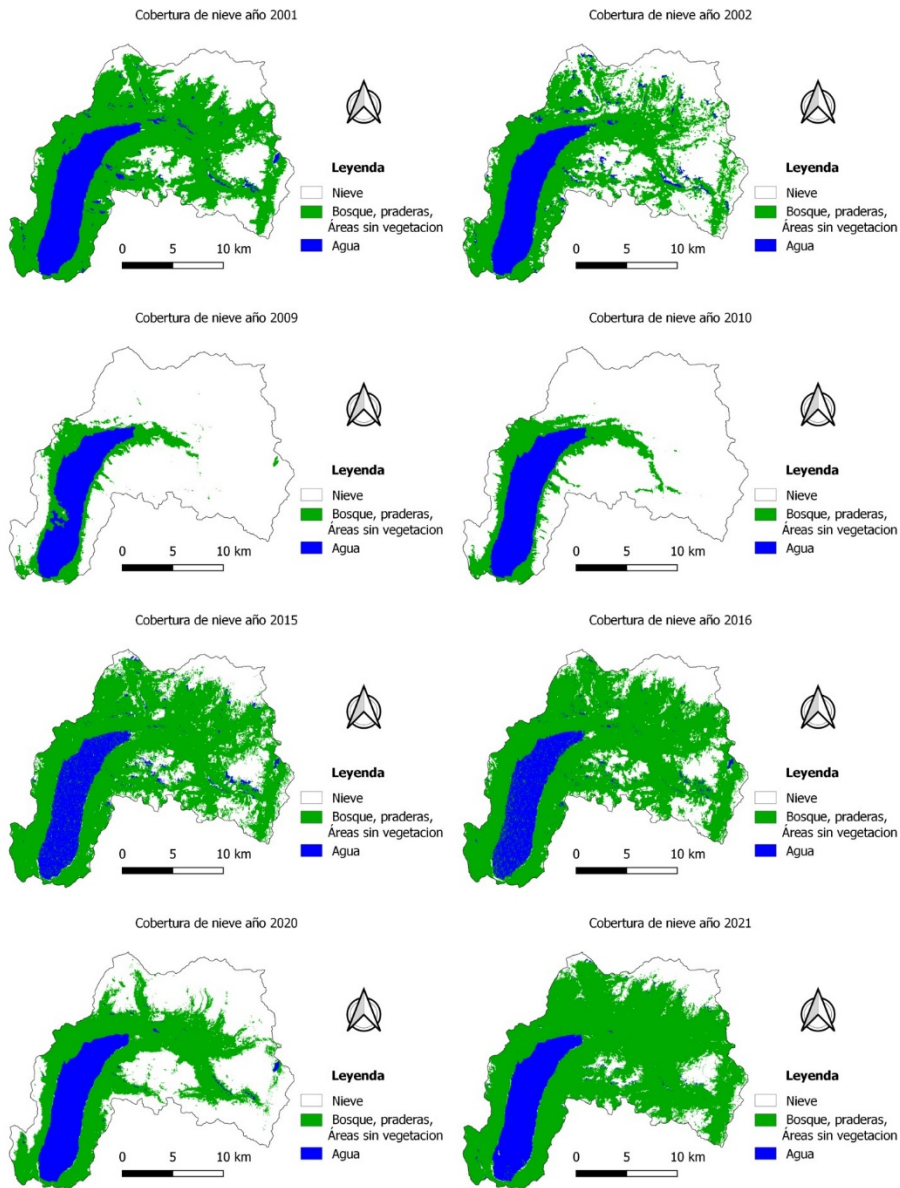


Figura 15. Cobertura de nieve (en blanco dentro de la cuenca) para algunos periodos entre los años 2000 y 2020. Para ver la secuencia completa ver Anexo 1. Fuente: Elaboración propia; agradecimientos, Nicolás Vergara P.

La Figura 16 muestra los porcentajes de cobertura de nieve para la cuenca del Caburgua. En general se observa que en los últimos años los porcentajes de cobertura de nieve han disminuido considerablemente. Por ejemplo, entre los años 2001 y 2011 la media de cobertura de nieve fue de un 56% de la superficie de la cuenca aportante al Caburgua, mientras que en el último periodo esta media baja a 27%.

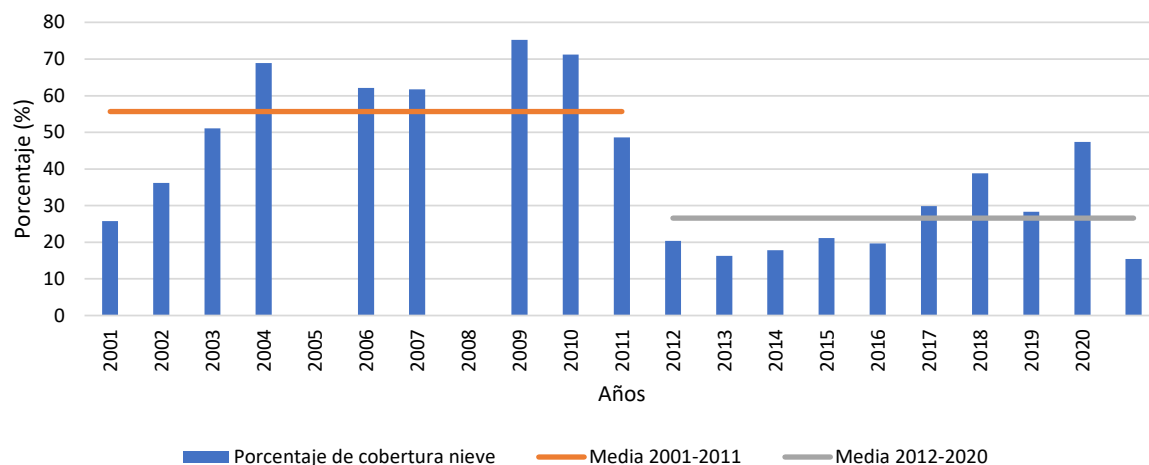


Figura 16. Variación del porcentaje de la cuenca del lago Caburgua cubierta por nieve, según análisis de imágenes satelitales en meses de invierno. Fuente: Elaboración propia.

## 6. Análisis de los aportes de caudal medio anual al Caburgua

Según información a través de comunicación personal<sup>2</sup> con la oficina de la DGA Temuco, el caudal promedio de salida desde los Ojos del Caburgua es de aproximadamente 20 m<sup>3</sup>/s; otras fuentes<sup>3</sup> indican un caudal de salida no mayor a 25m<sup>3</sup>/s. Por lo tanto, para mantener el volumen de agua estable en el lago se requiere que el aporte o caudal de entrada al lago sea de al menos unos 20 m<sup>3</sup>/s. Importante destacar que estos aportes al lago son vía precipitación, ya sea en forma de lluvia o de nieve que es depositada en las altas cumbres para ser liberada durante el inicio de las temporadas de mayor temperatura (por ejemplo, en primavera).

Considerando las cuencas cercanas, que se muestran en el apartado **5.2 Caudales**, se realizan análisis para estimar el caudal medio que entraría al Caburgua. Primero, se realizó un análisis con el promedio anual de los caudales para el periodo 2000 a 2020, considerando todas las cuencas (5 en total, ver Cuadro 3) y luego las de tamaño similar a la cuenca aportante del Caburgua (RIO TRANCURA EN CURARREHUE; RIO LIUCURA EN LIUCURA y RIO CURACO EN COLICO). Estos análisis entregan un caudal estimado entre 30 y 24 m<sup>3</sup>/s, respectivamente. Se realizó un segundo análisis, pero considerando el periodo desde el 2015 a 2020, dado que en este último periodo las precipitaciones son menores debido a la disminución sostenida que esta variable ha mostrado en el tiempo (ver Fig. 6). Según este segundo análisis, resulta un caudal de entrada para el Caburgua entre 25 y 20 m<sup>3</sup>/s, respectivamente. Por lo tanto, se

<sup>2</sup> comunicación personal con el Sr. Patricio Araya.

<sup>3</sup> informe acerca de la baja de niveles en el lago Caburgua, publicado en septiembre 2021, autor Ing. Agr. Francisco Diaz Fuenzalida.

puede destacar que, con la disminución de las precipitaciones, también ha ocurrido una disminución del caudal de entrada al lago en aproximadamente 5 m<sup>3</sup>/s. Por otro lado, dado que no se evidencia un mayor caudal de salida, por ejemplo, en el río que es alimentado por los Ojos del Caburgua, el caudal de salida se debería mantener constante en el tiempo. También podríamos asumir que para años donde la precipitación es menor al promedio de los últimos 5 años, es muy probable que el caudal promedio de entrada al lago sea menor a los 20 m<sup>3</sup>/s, en este caso sería indiscutible una baja en el volumen de agua contenida en el lago.

Cuadro 4. Estimación de caudales de entrada al lago Caburgua en base a estimaciones con cuencas cercanas considerando el promedio de caudales anuales para los periodos 2000-2020 y 2015-2020.

Fuente: Elaboración propia.

Cuenca	Área cuenca (km <sup>2</sup> )	Caudal Promedio 2000-2020 (m <sup>3</sup> /s)	Caudal Promedio 2015-2020 (m <sup>3</sup> /s)
RIO TRANCURA EN CURARREHUE	341	27,0	23,2
RIO LIUCURA EN LIUCURA	359	27,8	22,3
RIO CURACO EN COLICO	432	45,1	38,5
RIO TRANCURA ANTES RIO LLAFENCO	1215	104,4	91,6
RIO TOLTEN EN VILLARICA	2880	239,7	212,1
LAGO CABURGUA	335	30,1 – 24,4	25,2 – 20,3

Por otra parte, considerando la preocupación de parte de Caburgua Sustentable, quienes han manifestado que hasta el año 2007 parte del río Trafampulli drenaba sus aguas hacia el lago Caburgua (ver ubicación en Fig. 2), pero que hoy estaría drenando el 100% de su caudal hacia el lago Colico, se realiza un análisis respecto al aporte de la cuenca del río Trafampulli. Dado que sólo una parte del río Trafampulli se desviaba hacia el Caburgua, se asume que corresponde al 50% del caudal total. La cuenca del este río se estimó en 38 km<sup>2</sup>, considerando el punto de cierre donde se desviaba parte de su caudal hacia el lago Caburgua. Por lo tanto, esta cuenca representa un 10% de la cuenca total del Caburgua, en términos de aporte de agua resulta un caudal total ente 2 y 2.5 m<sup>3</sup>/s.

Por otra parte, tomando en cuenta la superficie de la cuenca del Trafampulli de 38 km<sup>2</sup>, que corresponde a un 25% de la cuenca que controla la estación del RIO TRAFAMPULLI EN RINCONADA (150 km<sup>2</sup>), si se hace una estimación considerando algunos datos de caudales entre el 2016 y 2020 (años con datos incompletos) resulta en una media de 15 m<sup>3</sup>/s para la cuenca total, es decir, que para la cuenca de 38 km<sup>2</sup> el caudal medio podría ser de unos 4 m<sup>3</sup>/s.

En base a estos últimos análisis y asumiendo un desvío del 50% de las aguas, se podría suponer que el lago Caburgua ha dejado de recibir una media anual del orden de 2 m<sup>3</sup>/s.

La evidencia del Trafampulli descargando parte de sus aguas al Caburgua se puede apreciar en la Figura 17. La condición actual en la Figura 18.



Figura 17. Parte de fotografía aérea del SAF del año 2007, se muestra el cauce aportando parte del caudal del río Trafampulli hacia el Caburgua. Fotografía aportada por Caburgua Sustentable.



Figura 18. Imagen satelital obtenida de Google earth del año 2014. Se aprecia el cauce inactivo que anteriormente drenaba parte de las aguas del río Trafampulli hacia el lago Caburgua.

## 7. *Visita a terreno*

Se realizó una visita a terreno recorriendo algunos sectores del lado sur y sureste del lago (imágenes en Figura 19). Entre ellos se visitó la playa del camping Las Vertientes, lugar donde se encuentra emplazada la estación de monitoreo limnimétrica de la Dirección General de Aguas. En conversación con el matrimonio Gramer-Poo, propietarios del camping y habitantes del sector), indicaron su apreciación respecto a los bajos niveles del lago. En este sentido destacan que efectivamente durante los últimos años los niveles de altura del lago han estado disminuyendo y que esta baja la relacionan mucho con la notable falta de precipitaciones y caída de nieve. También recalcan que antiguamente incluso era posible apreciar caída de nieve a nivel de las playas del Caburgua. Además, comentaron que niveles así de bajos del lago ya se han apreciado en otras ocasiones; por ejemplo, entre los años 1990 y 1992 el lago incluso llegó a niveles más bajos que los que se han apreciado en los últimos años (Imagen 20a y 20b). Consultados por su percepción sobre algún cambio en los niveles debido al último terremoto registrado en el año 2010, indican que no notaron cambios en el nivel del lago debido a este fenómeno.

Además, se visitó la playa en el sector de Caburgua y en conversación con algunos operadores turísticos ellos dieron una opinión coincidente a la del matrimonio Gramer-Poo, es decir que la caída del nivel de agua del lago no es tan extrema como ha ocurrido en otras ocasiones en el pasado. Sin embargo, también aprecian que el lago está en una baja del nivel y que ya hace algunos años no llega a niveles normales en periodo de crecidas, llegando a desaguar superficialmente. También estas personas afirman que ha sido muy evidente la falta de precipitaciones en el sector.

Finalmente, revisando las instalaciones de la Dirección General de Aguas, se constató en la visita que el sensor se encontraba por sobre el nivel del lago, es decir que no se estarían registrando los niveles mínimos verdaderos. Por lo tanto, esta situación sería urgente exponerla para que sea remediada y así tener información correcta de la mínima cota a la que estaría llegando el nivel de las aguas de este lago.



Figura 19. Imágenes tomadas en diferentes sectores del lado sur y sureste del lago Caburgua. En estas imágenes se puede apreciar que al momento de la visita el nivel del lago está en su extremo más bajo que se puede observar a lo largo de un periodo anual. Imágenes: Héctor Ulloa

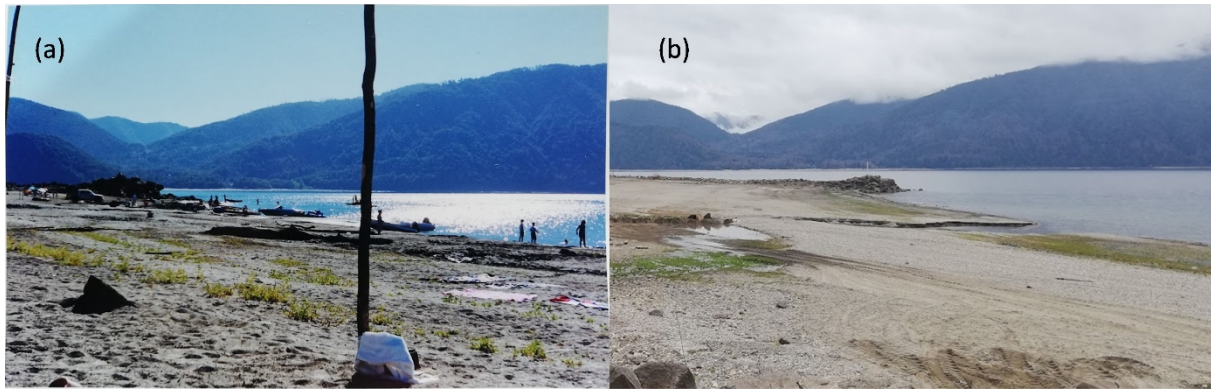


Figura 20. (a) correspondería una baja del lago entre los años 1990-1992, a la derecha situación a inicios de septiembre de 2020. Imágenes: 18a, Matrimonio Gramer-Poo, 18b, Héctor Ulloa.

Respecto a la disminución del nivel del lago en los años 1990-1992, se hace un análisis histórico de los registros de precipitaciones de la estación de lluvias LAGO CABURGUA y la estación PUEBLO NUEVO (TEMUCO) (Figura 21), que son algunas estaciones con datos históricos. Los datos muestran que entre los años 1998 y 1990 ocurrió una baja de precipitaciones, sin embargo, este periodo es bastante corto y no se extiende en el tiempo, pudiendo estar asociada la baja del lago que se muestra en la Figura 19 a este episodio de baja de las lluvias. Esto está de acuerdo por ejemplo con otros informes (Garreaud et al., 2020) respecto a los periodos de sequías que se han registrado en Chile durante el siglo pasado, que han sido de baja extensión temporal y luego han tenido una rápida recuperación. Esta situación no es la observada en la actualidad, donde el periodo de falta de precipitaciones se extiende ya por más de 10 años. No fue posible obtener registros históricos de alturas limnimétricas para el Caburgua.

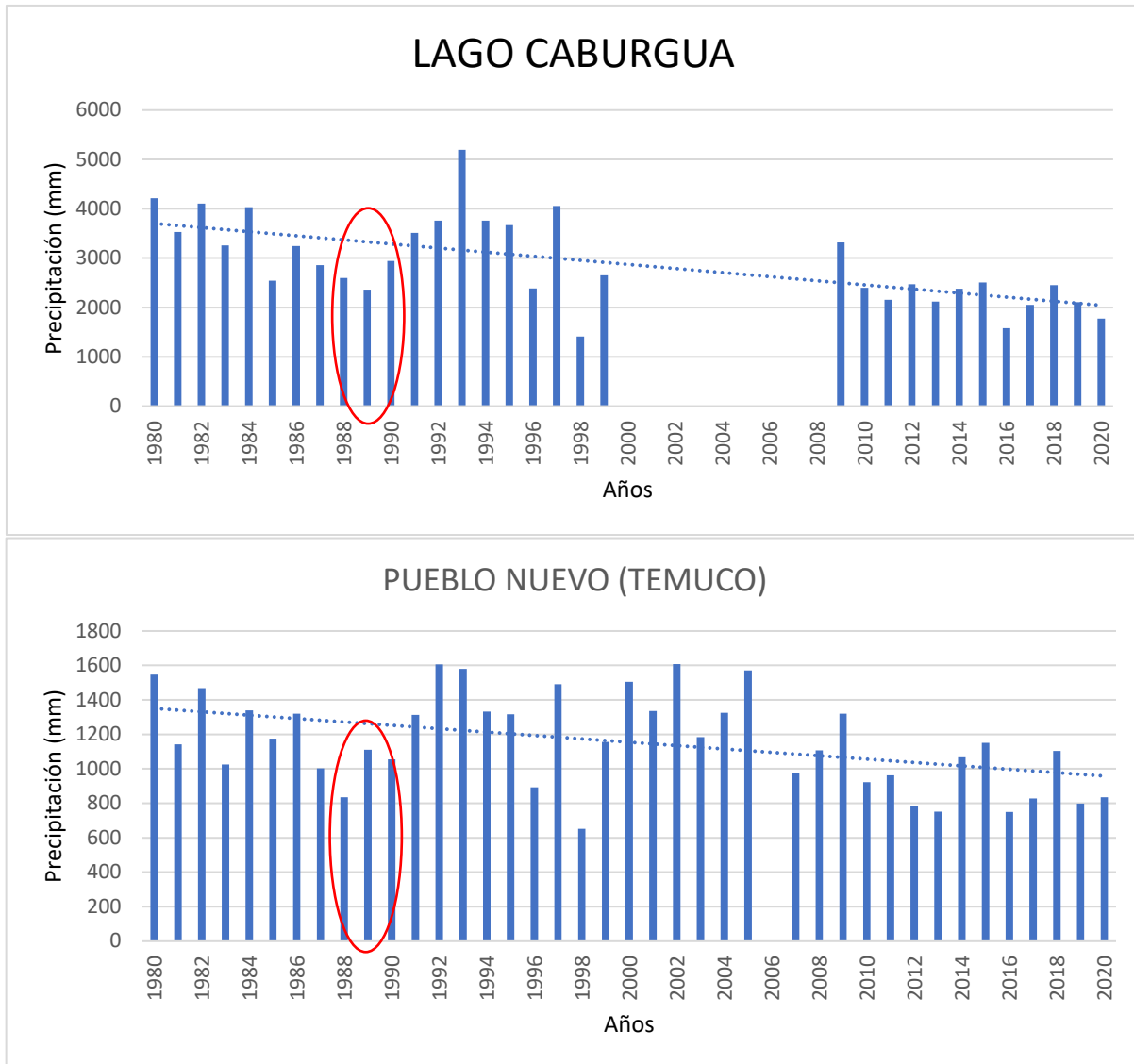


Figura 21. Datos históricos de precipitación para las estaciones LAGO CABURGUA y la estación PUEBLO NUEVO (TEMUCO), la elipse de color rojo se muestra una baja de precipitaciones ocurrida entre 1988 y 1990.

## 5 Conclusiones

Los análisis realizados indican que para todas las variables consideradas (precipitación, caudales y niveles limnimétricos en lagos) se registra una tendencia hacia la baja. En general todas las estaciones de precipitación tienen el mismo orden de cambio en el tiempo, donde en promedio han disminuido en 1000 mm en los últimos 20 años. Situación similar ocurre respecto a los caudales. Por último, y de forma más detallada, fueron analizados los datos limnimétricos de alturas de los lagos, en este caso, si bien las tendencias son similares, la disminución del nivel en el lago Caburgua es de un orden mayor que lo que registran en comparación los lagos Neltume y Villarrica. También analizando, por ejemplo, la media de las

máximas alturas limnimétricas registradas en el lago Caburgua, ha ocurrido una disminución de 12,2 m para el periodo 2000-2010 a 9,2 m de máxima para el periodo 2011-2020.

No existe una estación que mida los caudales de los principales ríos aportantes al lago Caburgua, ni el de salida. Sin embargo, la evidencia que hasta ahora se pudo recopilar indica que este lago estaría sufriendo una alteración mayor frente a la disminución de las precipitaciones (ver Figuras 8, 9 y 10). Estimaciones en base a cuencas vecinas indican que el caudal de entrada en los últimos años estaría siendo menor a los caudales de salida.

La disminución de las precipitaciones y sus impactos ya han sido documentados y discutidos por varios centros de investigación especialistas del área. Si comparamos con Campos et al. (1998), quienes indican montos de precipitación media para la cuenca del lago Caburgua de 3367 mm/año, y las mediciones recientes de la Dirección General de Aguas en la estación lago Caburgua (datos disponibles entre los años 2009 a 2020) que han registrado una media de 2276 mm/año, mientras que la media de los últimos cinco años no supera los 2000 mm/año, resulta una disminución de un 32% y 40% para cada periodo, respectivamente.

Los resultados de los análisis doble-acumuladas, indican que a partir del año 2016 los registros de altura del nivel del lago Caburgua se reducen en relación con lo que se observa en los lagos Villarrica y Neltume. Es decir, antes de esta fecha no hay evidencia de algún cambio particular de las alturas limnimétricas que haya ocurrido sólo en el Caburgua. Para los meses de invierno, a partir del año 2013 el Caburgua empieza a registrar menores recuperaciones de su nivel máximo de agua si se compara con lo que ocurre en los lagos Villarrica y Neltume. Tal como se aprecia la baja de precipitaciones, también se puede constatar una baja en el nivel de cobertura de nieve dentro de la cuenca, ya que para el periodo 2001-2011 en promedio la cobertura de nieve era sobre un 55%, pero desde el 2012 a 2021 el promedio de cobertura es de sólo un 27%. Estos factores sin duda que afectan fuertemente el caudal de entrada al lago, en este sentido las estimaciones muestran que incluso los montos de entrada de agua al lago podrán estar por debajo del caudal de salida, generando así un balance negativo del lago con la consecuente baja que se ha estado observando en los últimos años.

Finalmente, estimaciones de pérdidas de aporte de agua por la desviación de todo el caudal del Trafampulli hacia el lago Colico correspondería en promedio unos 2 m<sup>3</sup>/s.

## 6 Recomendaciones

Cómo se ha documentado en base a referencias y análisis de datos, una de las principales causas que podrían explicar la disminución del volumen de agua en el lago Caburgua es el déficit hídrico, es decir si la entrada de agua al lago es menor que las pérdidas, por un balance simple de masas, el lago debería disminuir su volumen. Sin embargo, este balance hasta ahora es sólo estimativo ya que no se cuentan con mediciones continuas, ni para las pérdidas de agua del lago y tampoco de los caudales de entrada.

Adicionalmente, el desvío de las aguas del Trafampulli, que hasta el año 2009 descargaba parte de sus aguas al lago, está exacerbando el efecto climático en el descenso del nivel del lago.

Ante este déficit de información se recomienda:

- Crear un sistema de mediciones en tiempo real para conocer los caudales de entrada y salida de agua al lago. Por ejemplo, una estación en el río Blanco podría controlar gran parte de los caudales de entrada a la cuenca.
- Aumentar en número de estaciones para registro de caída de aguas lluvia y nieve y agregar el registro de temperatura. Considerar en este caso estaciones a mayor altitud.
- Monitorear la cobertura de nieve y las tasas de pérdida de nieve y hielo desde las altas cumbres.
- Corroborar que no existan otras pérdidas, por ejemplo, por extracción de agua desde la cuenca o desde el lago.

Por último, se debe considerar la restitución hacia el Caburgua de los aportes del estero Trafampulli, cuyo caudal total ha sido desviado al lago Colico, para mitigar el efecto que el clima está generando en el descenso del nivel del Caburgua.

## 7 Bibliografía.

- Campos, H. (1984). Limnological study of Araucanian lakes (Chile), with 1 figure and 3 tables in the text. *Internationale Vereinigung für theoretische und angewandte Limnologie: Verhandlungen*, 22(2), 1319-1327.
- Muñoz, K. 2016. Origen de las fallas mesoscópicas de los depósitos piroclásticos asociados a los CEM Caburgua (39°s), Región de la Araucanía, Chile. Tesis. Universidad de Chile.
- Cordero, R.R., Asencio, V., Feron, S., Damiani, A., Llanillo, P. J., Sepulveda, E., ... Casassa, G. (2019). Dry-season snow cover losses in the Andes (18°–40° S) driven by changes in large-scale climate modes. *Scientific reports*, 9(1), 1-10.
- Garreaud, R.D., Boisier, J.P., Rondanelli, R., Montecinos, A., Sepúlveda, H.H., Veloso-Aguila, D. (2020). The central Chile mega drought (2010–2018): a climate dynamics perspective. *International Journal of Climatology*, 40(1), 421-439.
- Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia (CR)2. (2015). Informe a la Nación - La megasequía 2010-2015: Una lección para el futuro. Santiago, Chile. 28 pp