

UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA



ANÁLISIS DEL BALANCE HÍDRICO DEL LAGO LLANQUIHUE,
REGIÓN DE LOS LAGOS

JAVIERA ALEJANDRA MARTÍNEZ ALONSO

HABILITACIÓN PROFESIONAL
PRESENTADA A LA FACULTAD DE
INGENIERÍA AGRÍCOLA DE LA
UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN,
PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO AMBIENTAL.

CHILLÁN-CHILE

2022

**ANÁLISIS DEL BALANCE HÍDRICO DEL LAGO LLANQUIHUE,
REGIÓN DE LOS LAGOS**

Aprobado por:

José Luis Arumí Ribera
Ingeniero Civil, Ph.D
Profesor Titular

Profesor Guía

Camilo Souto Escalona
Ingeniero Civil Agrícola, Dr.
Profesor Asistente

Profesor Asesor

Sebastián A. Krogh Navarro
Ingeniero Civil, Ph.D
Profesor Asistente

Profesor Asesor

Nicole Uslar Valle
Ingeniero Civil Agrícola, Ph.D
Profesor Asistente

Directora de Departamento

María Eugenia González Rodríguez
Ingeniero Agrónomo, Ph.D
Profesor Asociado

Decana

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, quiero agradecer a mi familia en especial a mi madre, padre, hermano y pololo que han sido un apoyo fundamental en este camino, son quienes me dieron la fuerza, ánimo y apoyo incondicional cada día para poder culminar esta etapa.

En segundo lugar, a todas las personas que conocí en la universidad, amigos, compañeros de carrera y universidad, docentes y funcionarios, quienes me ayudaron de alguna u otra manera en mi formación profesional y personal.

En tercer y último lugar a mi profesor guía José Luis Arumí por resolver mis dudas, apoyar esta tesis y darme palabras de aliento cuando las necesité.

ÍNDICE DE MATERIAS

	Página
RESUMEN:	1
SUMMARY:	3
1. INTRODUCCIÓN.....	5
2. OBJETIVOS	7
2.1. Objetivo general:	7
2.2. Objetivos específicos:.....	7
3. ANTECEDENTES GENERALES	8
3.1. Área de estudio	8
3.2. Consideraciones del estudio.....	10
4. HIDROGEOLOGÍA DEL ÁREA DE ESTUDIO	12
4.1. Unidades Hidrogeológicas	15
4.2. Como se inserta en el medio	16
5. METODOLOGÍA	17
5.1. Análisis de series de caudal específico.....	17
5.2. Balance hídrico.....	18
5.3. Datos hidrológicos	20
6. RESULTADOS y discusión.	23
6.1. Análisis de curvas de variación estacional.....	23
6.2. Balance Hídrico	25
6.3. Correlación de caudales medios mensuales de diferentes estaciones fluviométricas	26
6.4. Transposición de caudales	28
6.5. Evapotranspiración	29
6.6. Precipitación.....	30
6.7. Balance hídrico.....	30
7. CONCLUSIONES	32
8. LITERATURA CITADA	33
9. ANEXO 1	36

ÍNDICE DE TABLAS

Página

En el Texto

Tabla 1. Estaciones fluviométricas DGA existentes en el área del estudio ...11

En el Anexo

Tabla A1. Precipitación en lago ($\text{Hm}^3 \text{mes}^{-1}$)36

Tabla A2. Evapotranspiración en lago y cultivos ($\text{Hm}^3 \text{mes}^{-1}$).....36

Tabla A3. Caudal aportante al lago mediante transposición de caudales ($\text{Hm}^3 \text{mes}^{-1}$)37

Tabla A4. Caudal saliente ($\text{Hm}^3 \text{mes}^{-1}$).....37

Tabla A5. Balance hídrico sin considerar infiltración ($\text{Hm}^3 \text{mes}^{-1}$).....38

Tabla A6. Infiltración ($\text{Hm}^3 \text{mes}^{-1}$)38

Tabla A7. Caudal aportante desde aguas subterráneas hacia el lago (Q_a) e infiltración de agua desde el lago a un posible acuífero (Q_s).389

Tabla A8. Análisis estadístico de los logaritmos naturales de los caudales específicos de la estación Río Maullín en las Quemas389

Tabla A9. Análisis estadístico de los logaritmos naturales de caudales específicos de la estación Río Negro en Las Lomas.....40

Tabla A10. Análisis estadístico de los logaritmos naturales de caudales específicos de la estación Río Chico ante Río Chamiza40

Tabla A11. Análisis estadístico de los logaritmos naturales de caudales específicos de la estación Río Blanco ante Río Chamiza40

Tabla A12. Análisis estadístico de los logaritmos naturales de caudales específicos de la estación Río Coihueco antes junta Río Rahue40

Tabla A13. Análisis estadístico de los logaritmos naturales de caudales específicos de la estación Río Coihueco antes junta Pichicope41

Tabla A14. Análisis estadístico de los logaritmos naturales de caudales específicos de la estación Río Forrahue en Aromos41

Tabla A15. 5 Análisis estadístico de los logaritmos naturales de caudales específicos de la estación Río Rahue en desagüe lago Rupanco.....41

Tabla A16. Análisis estadístico de los logaritmos naturales de caudales específicos de la estación Río Rahue en Chan Chan41

Tabla A17. Análisis estadístico de los logaritmos naturales de caudales específicos de la estación Río Rahue antes junta Río Negro42

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Área de estudio y cuenca hidrográfica a analizar.....	10
Figura 2. Estaciones fluviométricas existentes en el área del estudio.....	12
Figura 3. Esquema morfoestructural de la región de Los Lagos, Chile	14
Figura 4. Unidades Hidrogeológicas de la cuenca del río Maullín.....	16
Figura 5. Cuencas hidrográficas asociadas de estaciones fluviométricas. ..	169
Figura 6. Curvas de variación estacional en cada estación fluviométrica con su cuenca respectiva.....	23
Figura 7. Agrupación de estaciones fluviométricas	24
Figura 8. Nivel del lago Llanquihue.....	25
Figura 9. Correlación de caudales medios mensuales (QMM) de estación Río Chico ante Río Chamiza con la estación Río Coihueco ante junta Río Rahue.	26
Figura 10. Correlación de caudales medios mensuales (QMM) de estación Río Chico ante Río Chamiza con la estación Río Blanco antes junta Río Chamiza.	27
Figura 11. Correlación de caudales medios mensuales (QMM) de estación Río Chico ante Río Chamiza con la estación Río Negro en Las Lomas.	27
Figura 12. Serie de caudales aportantes al lago estimados mediante trasposición	28
Figura 13. Evapotranspiración real (ET) con respecto al tiempo.....	29
Figura 14. Precipitación (PP) con respecto al tiempo	30
Figura 15. Balance hidrico con respecto al tiempo.....	30

ÍNDICE DE ECUACIONES

	Página
Ecuación 1. Caudal específico.....	17
Ecuación 2. Balance hídrico	19
Ecuación 3. Transposición de caudales.....	21

ANÁLISIS DEL BALANCE HÍDRICO DEL LAGO LLANQUIHUE, REGIÓN DE LOS LAGOS

ANALYSIS OF THE WATER BALANCE OF LLANQUIHUE LAKE, LOS LAGOS REGION

Palabras claves: Modelo hidrológico, aguas subterráneas, nivel del lago, precipitación satelital.

RESUMEN:

Este trabajo aborda el estudio hidrológico de la cuenca del Lago Llanquihue, donde se realiza un balance hídrico sobre el lago, con un periodo de estudio de 2010 hasta 2018 para estimar variables de precipitación, evapotranspiración, caudal aportante al lago, etc. para finalmente estimar infiltraciones y exfiltraciones del lago, utilizando mediciones fluviométricas y meteorológicas de estaciones de la DGA y otras instituciones, uso de modelos como CR2METv2, y transposición de caudales.

Entre las características hidrológicas del lago se destacan la reducida superficie de su cuenca aportante con relación a la superficie del espejo de agua ($1625 \text{ km}^2 / 860 \text{ km}^2$), la pequeña magnitud de sus afluentes y el reducido caudal medio de su único efluente Río Maullín (aproximado en $90 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$). Estos atributos hacen que el principal aporte de agua sea por precipitaciones directas sobre su superficie, y que la renovación teórica de sus aguas demore décadas. Se estimó que existe un flujo anual promedio durante el periodo 2010-2018 de:

precipitación: 6310 Hm³ Evapotranspiración: 2397 Hm³ (38%) Caudal aportante: 1465 Hm³ (23%), y un caudal saliente: 2346 Hm³ (27%)

El aporte de agua subterránea es muy variado año a año, aumentando de intensidad cuando el nivel del lago disminuye, esto ocurre en años más secos, como se demuestra entre los años 2014 y 2017, en los que se observa una tendencia hacia la disminución del nivel del lago, sin embargo, se podría estimar un promedio de 362 Hm³ para invierno y -613 Hm³ en verano.

ANALYSIS OF THE WATER BALANCE OF LLANQUIHUE LAKE, LOS LAGOS REGION

Keywords: Hydrologic model, groundwater, lake level, satellite precipitation.

SUMMARY:

This study investigates the hydrology of the Llanquihue Lake Basin, where a water balance was carried out during the period from 2010 to 2018. Estimation of mean annual precipitation, evapotranspiration, and streamflow contributing to the lake were used to quantify lake infiltrations and exfiltrations. Fluviometric and meteorological measurements from the National Water Bureau (DGA) stations and other institutions were used, as well as the CR2METv2 meteorological product, and a flow transposition technique.

Among the hydrological characteristics of the lake, the reduced surface of its contributing basin in relation to the surface of the water mirror, the small magnitude of its tributaries and the reduced average flow of its only effluent Maullín River, approximately $90 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, stand out. These attributes mean that the main contribution of water to it is due to direct precipitation on its surface, and that the theoretical renewal of its waters takes decades. It was estimated that there is an average annual flow of: precipitation: 6310 Hm^3 Evapotranspiration: 2397 Hm^3 Contributing flow: 1465 Hm^3 , outgoing flow: 2346 Hm^3 .

The contribution of groundwater is very varied from year to year, increasing in intensity when the level of the lake decreases, this occurs in drier years, as demonstrated between the years 2014 and 2017, in which a trend towards a decrease in the lake level, however, an average of 362 Hm³ for winter and -613 Hm³ in summer could be estimated.

1. INTRODUCCIÓN.

En el último tiempo debido al cambio climático y escasez hídrica presente en Chile, se hace más necesario conocer el recurso hídrico disponible de una cuenca, para cuantificar esto es necesario medir ciertas variables durante un tiempo prolongado, como lo son la precipitación, caudales, niveles de lagos, además de radiación, temperatura, humedad relativa para poder determinar la evapotranspiración.

Afortunadamente la Dirección General de Aguas (DGA) ha impulsado un importante crecimiento de la red hidrométrica, contando con mayor cantidad de registros, así como nuevas zonas monitoreadas y nuevas variables observadas (en terreno y de forma remota).

El presente documento presenta un análisis hidrogeológico y balance hídrico de la cuenca del Lago Llanquihue, con el fin de cuantificar y analizar los distintos fenómenos hidrológicos que ocurren en la cuenca y principalmente en el gran lago inserto en esta. Esto permite tener un conocimiento más completo de la misma, para una buena administración del recurso hídrico presente, ya sea para el consumo humano, uso agrícola, pesca u otros servicios ecosistémicos.

La aplicación de balances hídricos anuales permite cuantificar los distintos fenómenos hidrológicos en una cuenca: precipitación, evapotranspiración y escorrentía, más aún la obtención de un balance de paso mensual entrega

información detallada de la variación de los almacenamientos que permiten obtener un conocimiento más completo de la cuenca. Sin embargo, no siempre existe la cantidad de información que permitan tales balances, por lo cual el uso de modelos hidrológicos de paso mensual permite suplir aparentemente esta escasez de datos y avanzar en el conocimiento a la espera que en el futuro sea posible validar los resultados de estos. (Vargas et al., 2012).

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general:

Analizar la hidrología del Lago Llanquihue ubicado en la región de Los Lagos, Chile.

2.2. Objetivos específicos:

- Describir el sistema hidrogeológico del Lago Llanquihue
- Identificar posibles conexiones subterráneas con la red de drenaje que rodea el lago.
- Evaluar las componentes del balance hídrico del lago.

3. ANTECEDENTES GENERALES

3.1. Área de estudio

La cuenca hidrográfica del Río Maullín se encuentra en la región de Los Lagos, y se extiende desde la latitud 40°40' Sur hasta la latitud 41°40' Sur. Esta hoya hidrográfica tiene una superficie de 4380 km² y se encuentra enmarcada, al oriente, por los volcanes Osorno y Calbuco, que constituyen las cabeceras de los afluentes del Lago Llanquihue.

Como se observa en la Figura 1, el Lago Llanquihue se ubica entre las latitudes 40° 95' y 41° 33' de Latitud Sur y 73°03' y 72° 53' de Latitud Oeste, y posee una superficie aproximada de 860 km², una longitud máxima de 42 kilómetros y una profundidad máxima de 317 metros. Dicho cuerpo de agua tiene como principales afluentes: Río Pescado, Río Blanco, Río Blanco Las Cascadas, Río Blanco, Río Arenal, Río Tepú, Río Tempe y Estero Puma en cambio como efluente se cuenta con el Río Maullín. (Abarca, 2018). En la ciudad de Llanquihue se ubica el desagüe del lago, que toma una dirección suroeste y desemboca en el Océano Pacífico.

Con respecto al uso de suelo el 23% corresponde a bosques, debido al Lago Llanquihue gran parte del uso de suelo de la cuenca corresponde a agua (53%), mientras que praderas y cultivos de pastoreo corresponde a un 14%.

Troncoso et al., (2015) Clasificó el clima según Köppen (1948), estos fueron 4 tipos de clima para toda la cuenca del Rio Maullín, sin embargo, en el área de estudio se presenta tres principales tipos de climas, estos son:

Clima de costa occidental con influencia mediterránea, que abarca desde Puerto Varas hacia el norte. Su principal característica, a diferencia del clima mediterráneo, es la ausencia de una estación seca, aunque es posible apreciar una disminución de las precipitaciones durante el verano. Las precipitaciones varían de 1.800 a 2.500 mm año⁻¹ y las temperaturas medias anuales oscilan entre 9° - 12°C. La amplitud térmica anual fluctúa entre 5°C y 8°C, reduciéndose dichos valores alrededor de los lagos.

Clima templado frio lluvioso o de montaña Este tipo de clima se ubica en altitudes superiores a los 500 m s.n.m, se desarrolla en altitud, hasta el límite de la vegetación. Presenta elevadas precipitaciones anuales, que van del orden de los 2.500 mm a más de 4.000 mm, las que precipitan en forma de nieve durante 4 a 6 meses. La temperatura media anual varía entre 9° y 6 °C, presentando en verano medias entre los 10°C y 15°C. La oscilación media anual es de 10°C, presentándose en invierno una temperatura mínima media muy cercana a 0°C.

Clima de hielo por efecto de la altura, se ubica en la zona alta de la cuenca y se relaciona al relieve montañoso, con cotas superiores a 1.000 m s.n.m. Se caracteriza por ir disminuyendo desde un clima de Tundra, a un clima de nieve perpetua sin vegetación. Las precipitaciones superan los 3.000 mm/año y las temperaturas mínimas permanecen gran parte del año bajo cero.

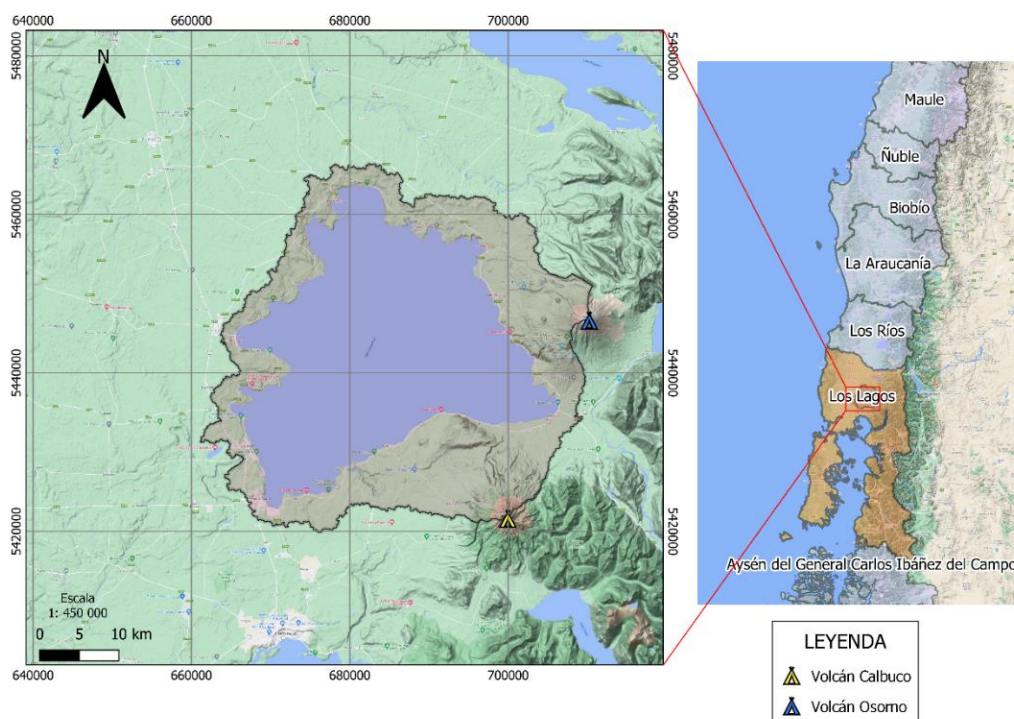


Figura 1. Área de estudio y cuenca hidrográfica del Lago Llanquihue.

3.2. Consideraciones del estudio.

Para el estudio se requirió de la información de caudales proveniente de las estaciones fluviométricas cercanas al Lago Llanquihue y su cuenca respectiva, las cuales se pueden ver en la Tabla 1. La estación Río Chamiza ante Junta Río Chico no se consideró para el análisis debido a que su régimen hidrológico se encuentra alterado debido al efecto de la generación hidroeléctrica y el manejo del Lago Chapo.

Tabla 1. Estaciones fluviométricas DGA existentes en el área del estudio.

Parámetro	Área (km ²)	Elevación media (msnm)	Máxima elevación (msnm)	Precipitación media anual ¹ (mm)
Río Rahue en desagüe Lago Rupanco	1001.3	529	2422	2803
Río Rahue antes Junta Río Negro	2178	389	2641	2343
Río Rahue en Chan Chan	1985	418	2641	2435
Río Forrahue en Aromos	169	135	237	1485
Río Coihueco antes Junta Pichicope	313.3	608	2641	2674
Río Coihueco antes Junta Río Rahue	702.8	376	2641	2250
Río Blanco ante Junta Río Chamiza	30.5	529	1775	3400
Río Chico antes Río Chamiza	136.7	299	1757	2806
Río Negro en Las Lomas	253.2	118	327	1975
Río Maullín en las Quemadas	2278.1	143	2660	2107
Río Chamiza Ante Junta Río Chico ²	588.9	609	1973	3055

¹ Precipitación media anual estimada para la cuenca por el CR2 (CAMELS,2021)

² Estación no considerada para el análisis.

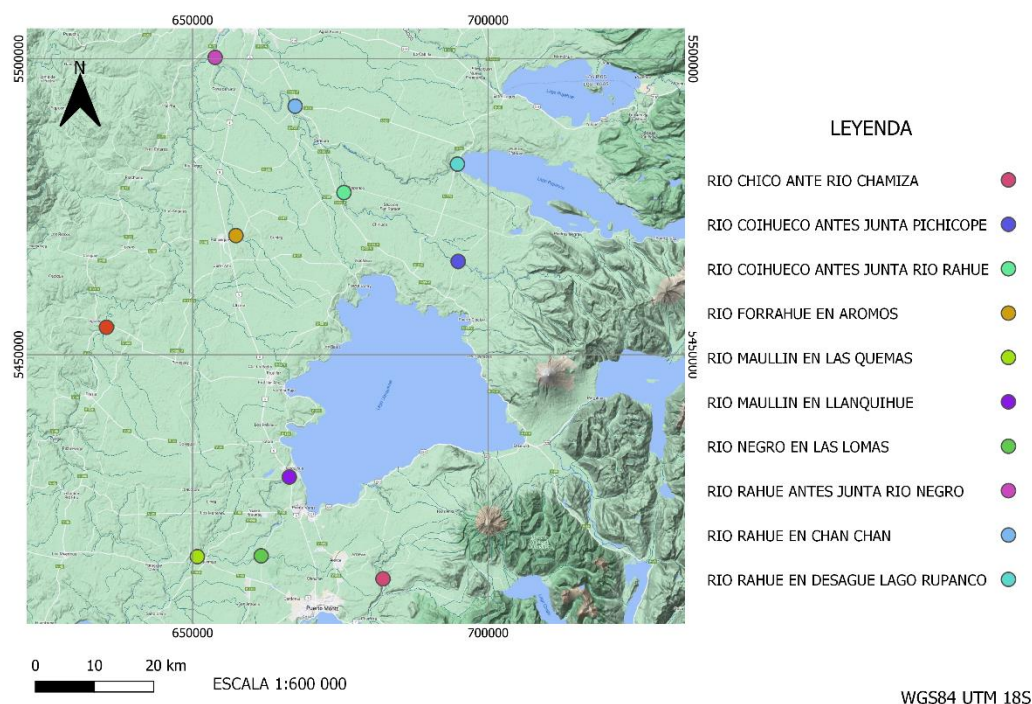


Figura 2. Estaciones fluviométricas existentes en el área del estudio.

4. HIDROGEOLOGÍA DEL ÁREA DE ESTUDIO

En la región de Los Lagos se puede observar una gran influencia de los procesos glaciales en la creación de los lagos de la zona. Las fuertes glaciaciones que ocurrieron en el período Cuaternario, específicamente en el Pleistoceno, fueron moldeando la geomorfología de esta región, en la cual se distinguen depósitos glaciales que corresponden a cuatro eventos importantes que han sido denominados como Glaciación Llanquihue, Glaciación Santa María, Glaciación Río Llico y Glaciación Tegalda, las que formaron un sistema de lagos pre-andinos, tales como el Lago Llanquihue, que se

formaron por el depósito de las morrenas frontales en la parte final de los glaciares. (Andersen et al., 1999). Posteriormente estos lagos, que tuvieron una superficie mayor a la actual, comenzaron a escurrir sus aguas originando los sistemas fluviales actuales (Fernández et al., 2008).

El Lago Llanquihue, presenta costas bajas y lomajes suaves relativamente regulares, bahías cerradas, como en los sectores de Frutillar y Puerto Varas en su borde occidental, así como Puerto Octay en la costa norte y Ensenada en su borde oriental. Los mayores afluentes del Lago son generados en el área volcánica activa, descendiendo directamente desde sus laderas, como el río Pescado, el que desciende 15 km por la ladera norte del volcán Calbuco, y los de menor extensión, relacionados con las laderas y montes depositados durante la última glaciación.

El Río Maullín se origina por el desagüe del lago Llanquihue, desarrollándose en una dirección suroeste, recorre una distancia de 85 km y desemboca en un estuario. En su trayectoria, el río recibe varios afluentes menores como los ríos: Calabozo, Colegual, Negro, Arenas, Gato, Chaqueigua, Gómez y Estero Lobos, entre otros. Se caracteriza por presentar un caudal entre los 44 a 145 $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$, con un régimen pluvial, debido a que la Cordillera de Los Andes presenta bajas elevaciones (Niemeyer y Cereceda, 1984). Este río se caracteriza por presentar, en su primera parte, una red de drenaje dendrítica, generada por los desagües durante los eventos glaciares anteriores, siendo

un agente de erosión. Luego, desde la localidad de Los Altos, la red de drenaje pasa a ser un tipo de barras y canales, aumentando su cauce, en función de su interacción con las aguas oceánicas (Avilés et al., 2015).

En la Figura 3. se observan los tres dominios morfoestructurales, donde figuran la Cordillera de la Costa, la que posee principalmente rocas metamórficas, la Depresión Intermedia, cuya unidad se ubica en la parte central de la región, es una morfoestructura deprimida y que correspondió a una cuenca durante el periodo Terciario (Elgueta et al., 2000) y la Cordillera de los Andes, que es representada por un conjunto de bloques sollevantados por procesos tectónicos.

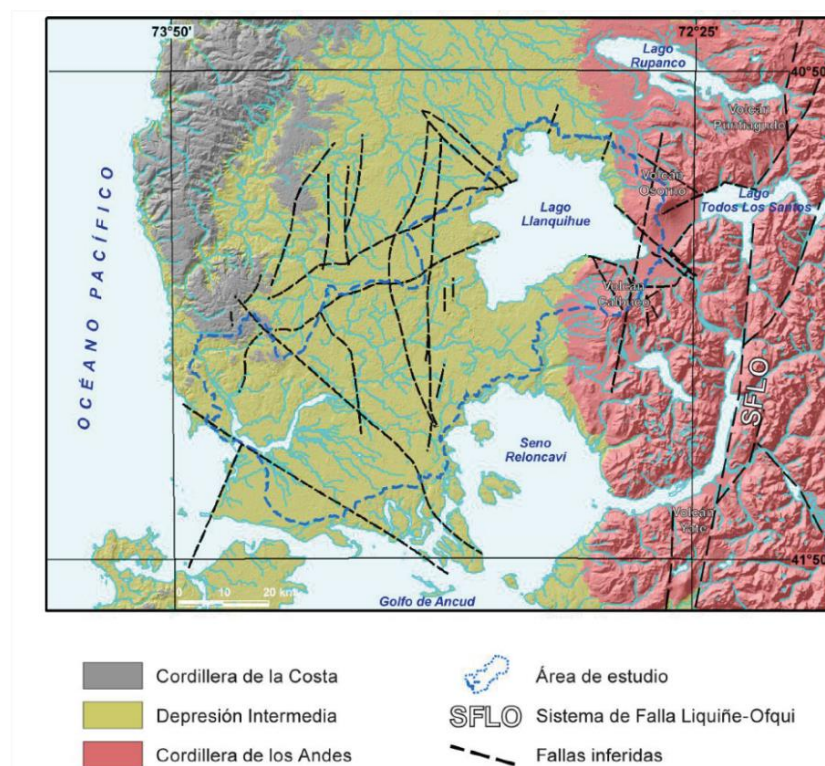


Figura 3. Esquema morfoestructural de la región de Los Lagos, Chile.

Fuente: Troncoso et al, 2015.

4.1. Unidades Hidrogeológicas

Las unidades hidrogeológicas se definen como un conjunto de rocas o depósitos no consolidados que poseen propiedades de permeabilidad y porosidad uniformes además de límites definidos esto debido a la similitud de su textura, estructura y petrografía. (Páez et al., 2014).

Existen trece unidades hidrogeológicas que combinadas conforman ocho secuencias, como se puede observar en la Figura 4. Las unidades de alto potencial hidrogeológico se asocian a depósitos sedimentarios no consolidados del Pleistoceno-Holoceno, principalmente de origen glaciar y albergan acuíferos libres, confinados y cubiertos, con transmisividades que pueden alcanzar hasta $9.300 \text{ m}^2 \text{ día}^{-1}$, donde la gran mayoría están conectadas entre sí. Las unidades hidrogeológicas de muy baja a nula permeabilidad corresponden a rocas metamórficas del Paleozoico-Triásico y rocas intrusivas del Mioceno y constituyen el basamento impermeable de la cuenca. La composición química de la gran mayoría de las aguas de la cuenca del Río Maullín es bicarbonatada mixta, con escasas variaciones que pueden atribuirse a la interacción con sedimentos y rocas por las que circula. (Avilés et al., 2015).

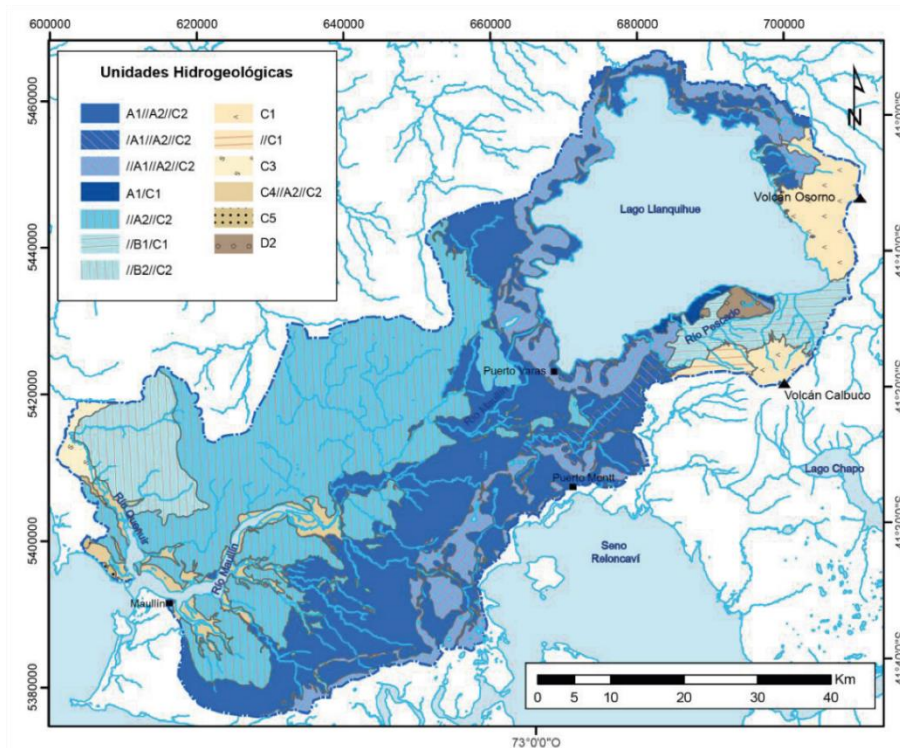


Figura 4. Unidades Hidrogeológicas de la cuenca del río Maullín.

Fuente: Avilés et al., 2018.

4.2. Como se inserta en el medio

El Lago Llanquihue tiene un alto desarrollo urbano en sus riberas, el que sustenta un mayor nivel de actividades de distinto tipo que dependen de la calidad del agua, entre ellas la acuicultura, el turismo y la pesca deportiva. El uso de suelo de la cuenca varía desde zonas bajo protección del estado, como lo es el Parque Vicente Pérez Rosales y la Reserva Forestal Llanquihue, hasta el desarrollo urbano, incluyendo actividades productivas como la ganadería, el establecimiento de praderas, la producción de leña, hotelería y acuicultura. La población que vive en la cuenca del Lago Llanquihue está conformada por los

habitantes de cuatro comunas: Puerto Octay, Frutillar, Llanquihue y Puerto Varas. Asociados a los asentamientos humanos existen plantas de tratamiento de aguas servidas, una de las cuales descarga en el Lago Llanquihue. El sector acuícola del Lago Llanquihue ha visto el desarrollo de centros de engorda y cultivo de salmones. En el sector agrícola existen dos grandes subsistemas de producción: la explotación agrícola empresarial y pequeños agricultores. La producción se orienta principalmente a la carne, leche, cultivos de remolacha, avena, cereales. (Cortés y Olmedo, 2011).

5. METODOLOGÍA

5.1. Análisis de series de caudal específico

El caudal específico consiste en el caudal dividido por área de la cuenca aportante y por un índice de precipitaciones, siendo este la precipitación media anual de la cuenca. Dicho análisis generalmente este se utiliza para comparar el comportamiento de los caudales con cuencas de distinto tamaño sin que el área de esta afecte en el resultado.

$$Q_{esp} = \frac{Q}{A * P} \quad [1]$$

donde

Q_{esp} = Caudal específico ($m^3 s^{-1} km^{-2} mm^{-1} año$)

Q = Caudal medio mensual ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$)

A = Área de la cuenca (km^2)

P = Índice de precipitación (mm año^{-1})

Para realizar el análisis de series de caudal específico se realizó un gráfico de curva de variación estacional utilizando una distribución Log-normal con una probabilidad de excedencia del 50% para el periodo de estudio, siendo este desde enero del 2010 hasta diciembre del 2018

5.2. Balance hídrico

Como no existen datos en la estación “Río Maullín en Llanquihue” que se encuentra en la desembocadura del lago, se utilizará las estaciones “Río Maullín en las Quemadas” y “Río Negro en las Lomas” para aproximar el caudal que se encuentra en el desagüe del Lago Llanquihue.

Gracias a sus ubicaciones, como se observa en la Figura 5, características del suelo y escorrentía similar se puede restar los caudales de la estación “Río Negro en las Lomas” a los de la estación “Río Maullín en las Quemadas” para así tener un valor cercano al que se debería registrar en la estación “Río Maullín en Llanquihue”.

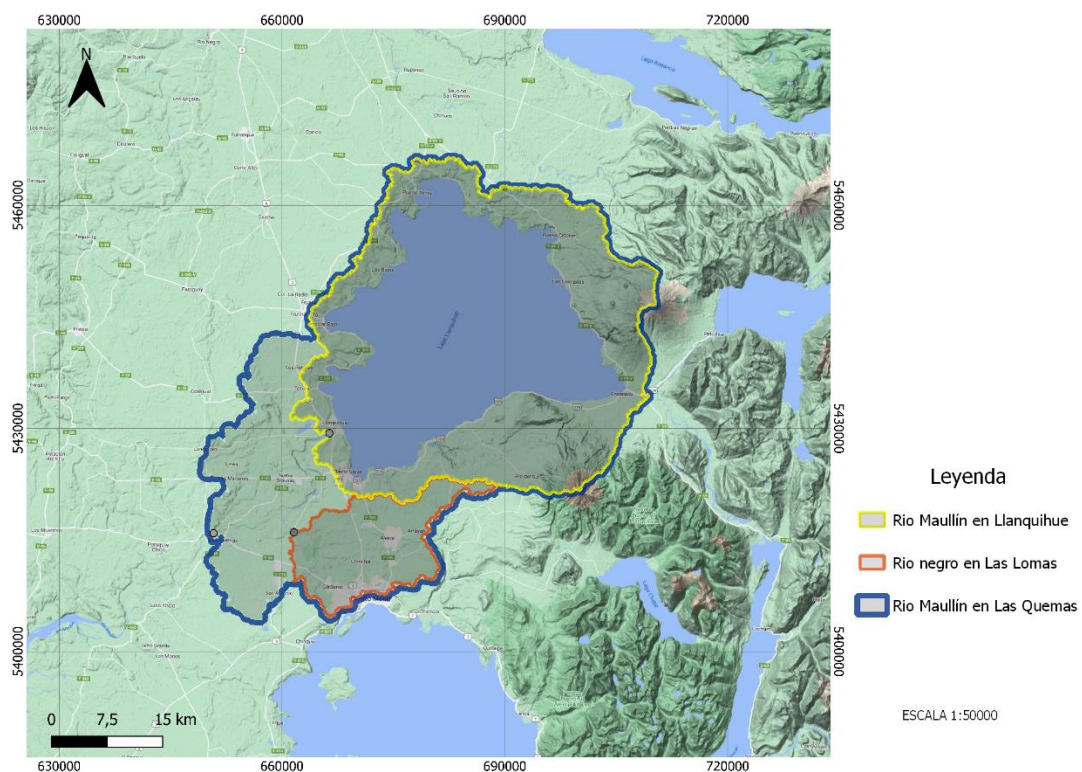


Figura 5. Cuencas hidrográficas asociadas de estaciones fluviométricas

El balance hídrico se realizará a escala mensual y se utilizará la siguiente ecuación:

$$\frac{\Delta S}{\Delta t} = P - ETR - Q_s + Q_a \quad [2]$$

Donde:

P = Precipitación sobre el lago ($m^3 \text{ mes}^{-1}$)

ETR = Evapotranspiración desde el suelo, vegetación y lago ($m^3 \text{ mes}^{-1}$)

Q_s = Caudal de salida ($m^3 \text{ mes}^{-1}$)

Q_a = Caudal aportante al lago ($m^3 \text{ mes}^{-1}$)

$\frac{\Delta S}{\Delta t}$ = Variación de almacenamiento de agua con respecto al tiempo ($m^3 \text{ mes}^{-1}$)

5.3. Datos hidrológicos

Los datos de precipitación fueron obtenidos de producto grillado CR2METv2, estos datos se obtuvieron a través de la plataforma de explorador de precipitaciones “Mawün”, perteneciente al Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia (CR2), en donde se puede ingresar un archivo KML para obtener la precipitación promedio de esa zona.

Los datos de evapotranspiración potencial y caudales fueron obtenidos en la base de datos CAMELS-CL (Alvarez-Garreton, et al, 2018). Este conjunto de datos incluye 516 cuencas; cubre latitudes particularmente amplias (17.8 a 55.0° S) y rangos de elevación (0 a 6993 msnm), y se basa en múltiples fuentes de datos (incluidos datos terrestres, productos de detección remota y reanálisis) para caracterizar las condiciones hidroclimáticas y el paisaje de una región donde las mediciones in situ son escasas (Alvarez-Garreton, et al, 2018).

La evapotranspiración potencial se multiplico por un coeficiente de cultivo, dicho coeficiente es diferente para cada mes del año y tipos de cultivo.

En la zona los principales cultivos son de papa y trigo, que componen un 8% del uso de suelo total de la cuenca, bosques un 23%, praderas y cultivos de pastoreo corresponde a un 14%, finalmente debido al Lago Llanquihue gran parte del uso de suelo de la cuenca corresponde a agua (53%).

Por lo tanto, cada uso de suelo se le asigno un coeficiente de cultivo diferente (kc), como los cultivos de pradera se cortan cada cierto mes se utilizó un kc

promedio para la temporada, este fue de 0.75, de septiembre a marzo, luego existe un periodo de receso, debido a la rotación de cultivo y otras prácticas agrícolas, en el que el k_c de abril a agosto es de 0.4.

En el caso de los bosques se utilizó un k_c constante de 0.95, para los cultivos se utilizó un promedio entre el k_c de la papa y del trigo de 0.7 para los meses de marzo a septiembre y 0.2 para los meses de octubre a marzo donde el cultivo ya ha sido cosechado. Finalmente se utilizó un k_c de 1 para el agua.

Se calculó la evapotranspiración de cada uso de suelo y luego se multiplicó por el porcentaje respectivo de cubierta en la cuenca, para luego sumarlos y obtener la evapotranspiración real de la cuenca.

Como no existen estaciones fluviométricas para cuantificar el caudal de entrada de los ríos aportantes al lago, se utilizó el método de transposición de caudales. Este método consiste en aceptar el uso de datos medidos en una cuenca que tenga características similares, como clima, uso de suelo, geomorfología y geología. Se basa en considerar que existe una igualdad de rendimiento específico de cada cuenca de acuerdo con la siguiente ecuación (Stowhas, 2017).

$$\frac{Q_x}{A_x P_x} = \frac{Q_A}{A_A P_A} \quad [3]$$

Donde:

Q_x = Caudal de la cuenca en el punto de control ($m^3 s^{-1}$)

A_x = Área de la cuenca en el punto de control (km^2)

P_x = Precipitación media anual de la cuenca del punto de control (mm)

Q_A = Caudal de la cuenca de base ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$)

A_A = Área de la cuenca de base (km^2)

P_A = Precipitación media anual de la cuenca base (mm)

Se utilizará los datos estimados de la estación Río Chico ante Río Chamiza, ya que su cuenca respectiva cumple con las características necesarias, sus datos se obtienen de la plataforma CAMELS.

Para obtener el área de la cuenca en el punto de control, en nuestro caso es el área de la cuenca aportante al lago, se restó el área de la cuenca de estudio (1625 km^2) con el área del lago (860 km^2). Los datos de precipitación media anual se obtuvieron del producto CR2METv2, como anteriormente hemos mencionado.

Existen 7 meses en todo el periodo de estudio (2010-2018) en el que no se registraron datos en la estación "Río Chico ante Río Chamiza", por lo que se realizó una correlación lineal con la estación "Río Negro en las Lomas", con dicha estación se obtuvo un mayor coeficiente de determinación (R^2).

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

6.1. Análisis de curvas de variación estacional

Utilizando la ecuación (1) con los datos de cada estación fluviométrica se elaboró el siguiente gráfico para el periodo de estudio

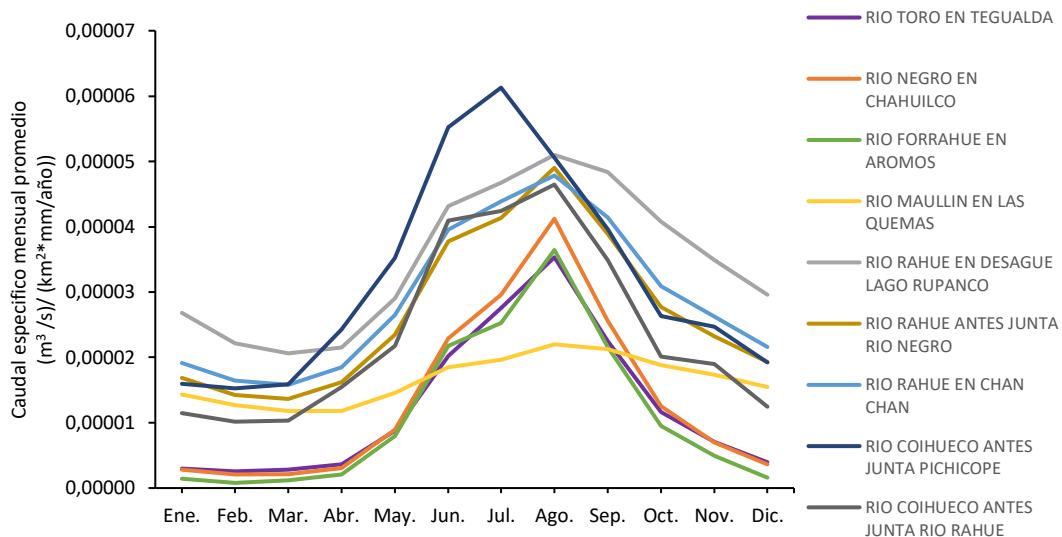


Figura 6. Curvas de variación estacional en cada estación fluviométrica con su cuenca respectiva en el periodo 2010-2018.

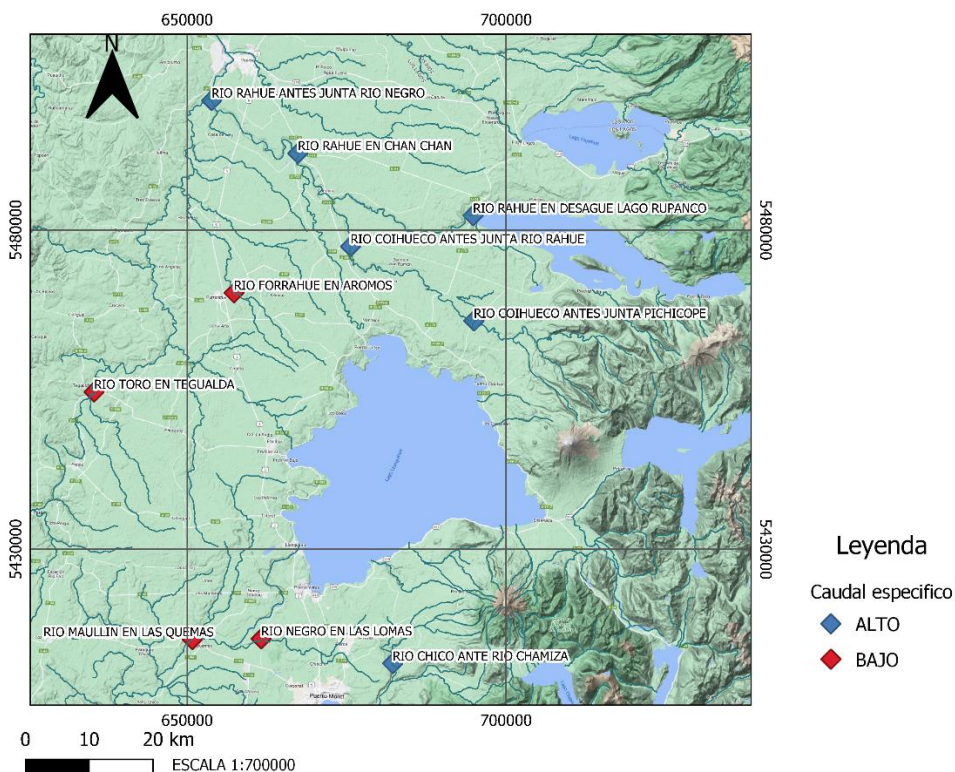


Figura 7. Agrupación de estaciones fluviométricas

La Figura 7, indica las estaciones fluviométricas georreferenciadas, dichas estaciones fueron analizadas en la Figura 6, mediante su curva de variación estacional con el caudal específico, y en la que se puede observar que existen dos principales familias de curvas, una con alto caudal específico y otra con bajo caudal específico. Cabe mencionar que las estaciones ubicadas en el Río Rahue presentan un alto caudal específico, considerando que son efluentes del Lago Rupanco, además, se comprende que las estaciones de Río Forrahue en Aromos y Río Toro en Teguvalda presenten bajo caudal específico, debido a que se abastece principalmente de precipitaciones, como se puede analizar de la Figura 6.

Sin embargo, la clasificación del alto caudal específico del Río Coihueco, y la información sobre los datos estimados de la estación de Río Maullín en las Quemas, que presenta un bajo caudal específico, da a reflexionar en posibles anomalías que se deben estudiar más en profundidad.

6.2. Balance Hídrico

Se analizaron las diferentes variables que inciden en el balance hídrico de la cuenca.

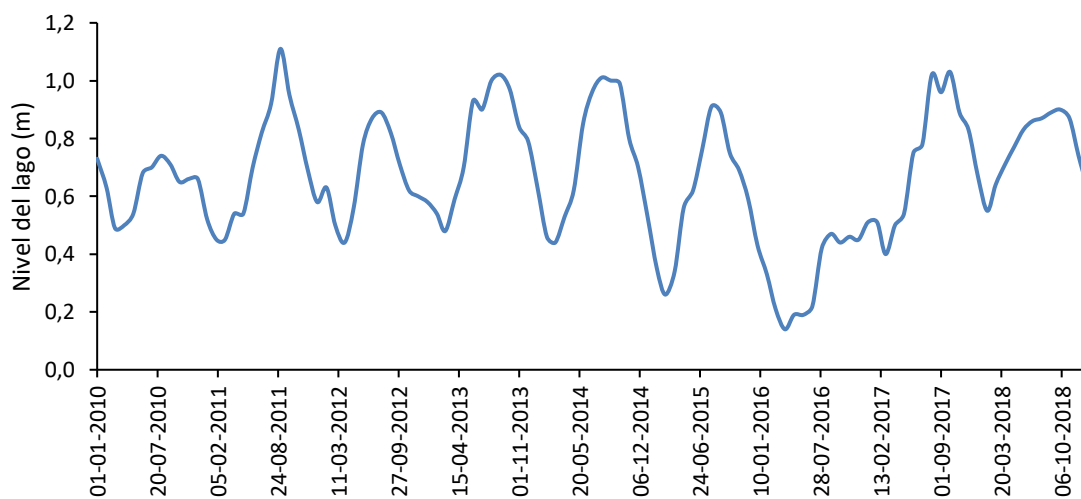


Figura 8. Nivel del Lago Llanquihue.

Fuente: DGA.

Se puede observar una clara disminución en el nivel del lago desde el año 2013 hasta 2016, asociado a la mega sequía que afecta al territorio nacional.

6.3. Correlación de caudales medios mensuales de diferentes estaciones fluviométricas

Como se ha mencionado anteriormente, la estación de Río Chico ante Río Chamiza no tiene sus datos completos, por lo que realizo un análisis de correlación con algunas estaciones de la zona para completar los datos faltantes, siendo la más relevante el análisis con la estación de Río Negro en Las Lomas, ya que es con la que presenta una mayor correlación.

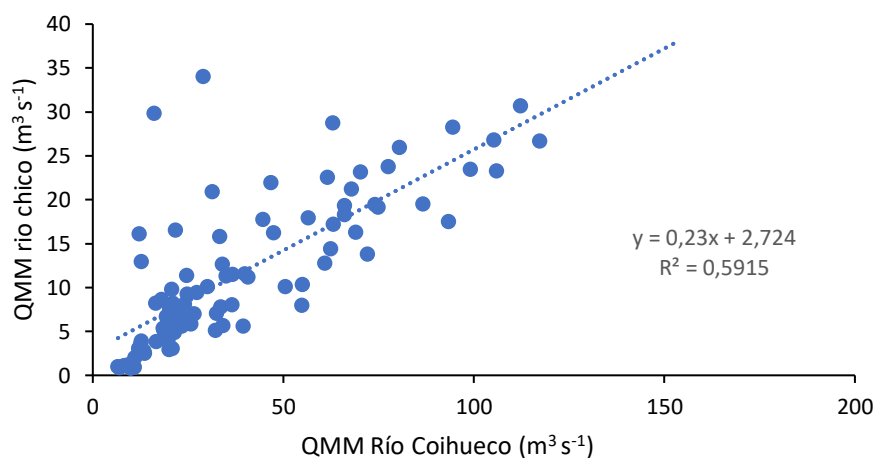


Figura 9. Correlación de caudales medios mensuales (QMM) de estación Río Chico ante Río Chamiza con la estación Río Coihueco ante junta Río Rahue.

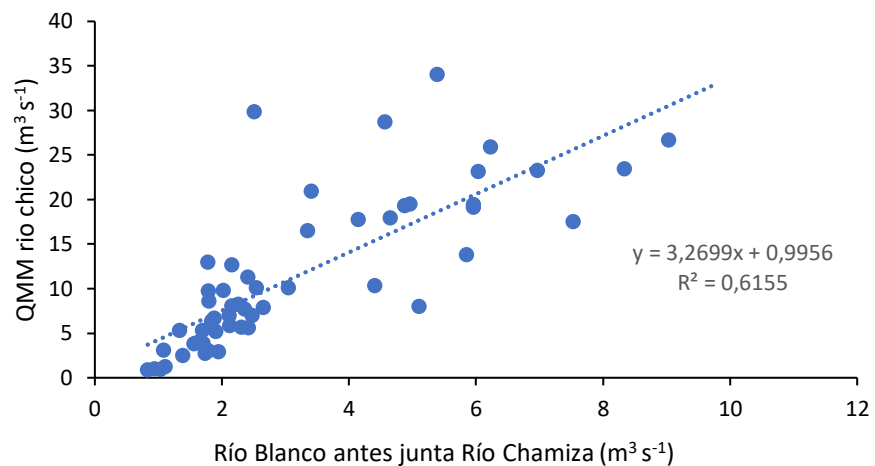


Figura 10. Correlación de caudales medios mensuales (QMM) de estación Río Chico ante Río Chamiza con la estación Río Blanco antes junta Río Chamiza.

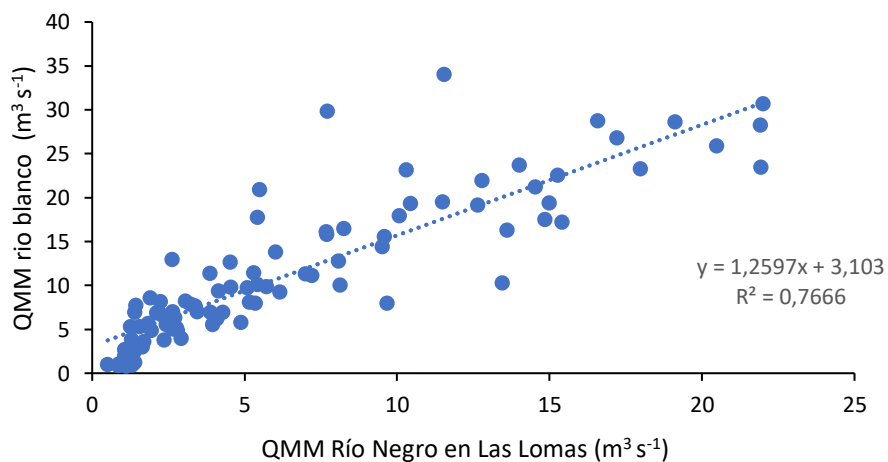


Figura 11. Correlación de caudales medios mensuales (QMM) de estación Río Chico ante Río Chamiza con la estación Río Negro en Las Lomas.

6.4. Transposición de caudales

Luego de completar los datos faltantes se puede realizar la transposición de caudales para obtener el caudal aportante al lago.

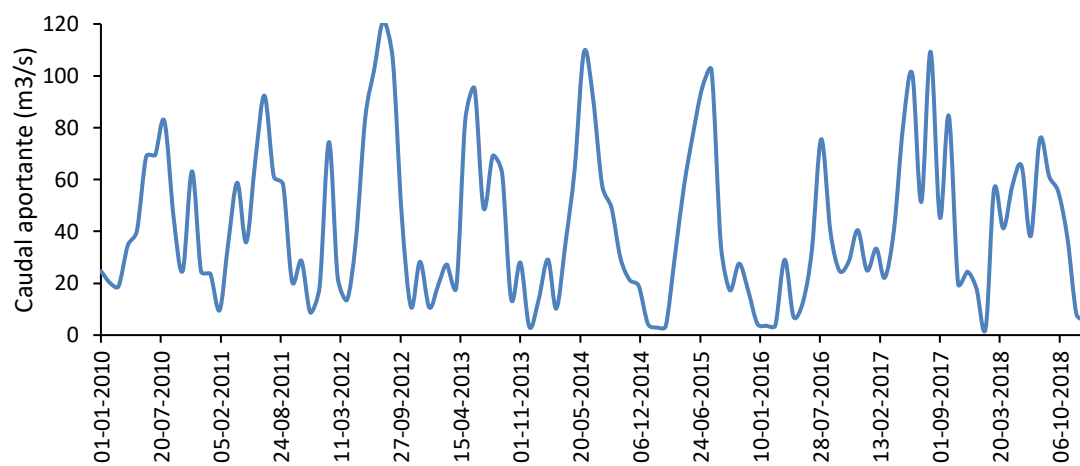


Figura 12. Serie de caudales aportantes al lago estimados mediante trasposición.

Fuente: Elaboración propia

6.5. Evapotranspiración

En la Figura 13 se observa la evapotranspiración tanto de los cultivos como la evaporación del lago, en donde se observa un claro aumento en los meses de verano debido al aumento de radiación y temperatura.

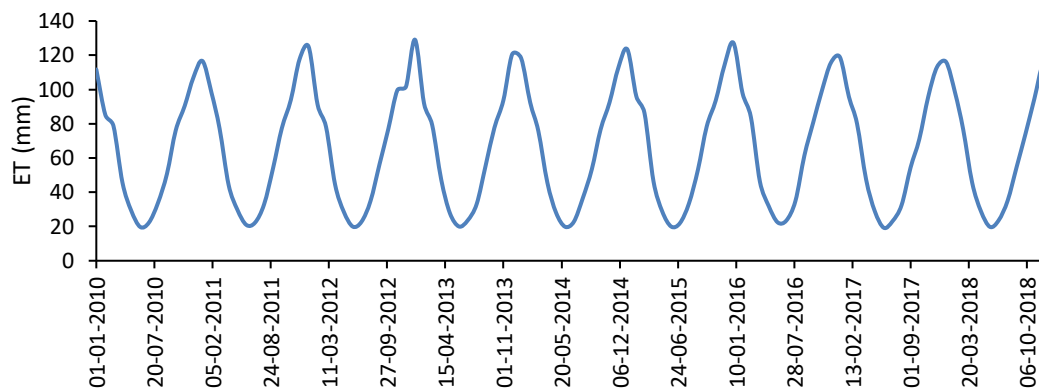


Figura 13. Evapotranspiración real (ET) con respecto al tiempo.

Fuente: Elaboración propia.

6.6. Precipitación

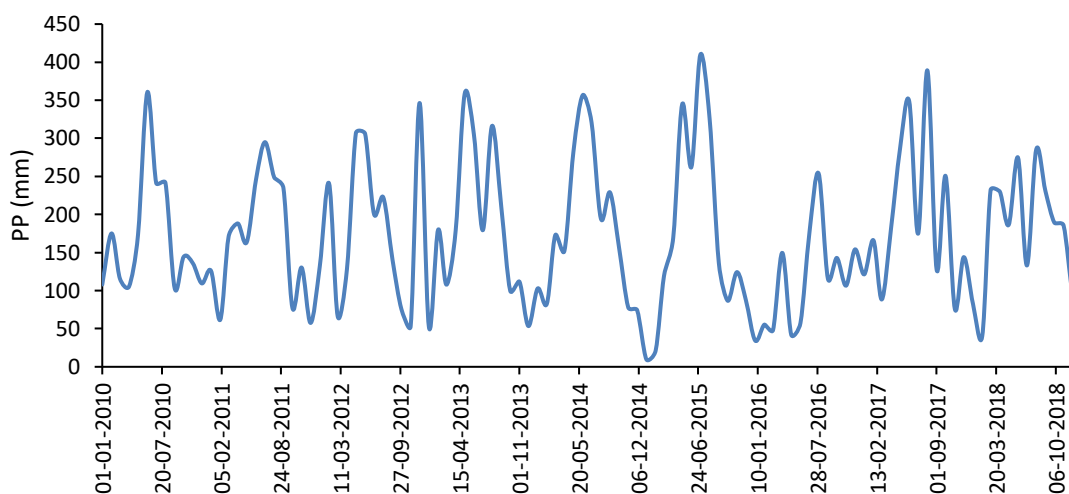


Figura 14. Precipitación mensual (PP) con respecto al tiempo. Fuente: Elaboración propia.

6.7. Balance hídrico

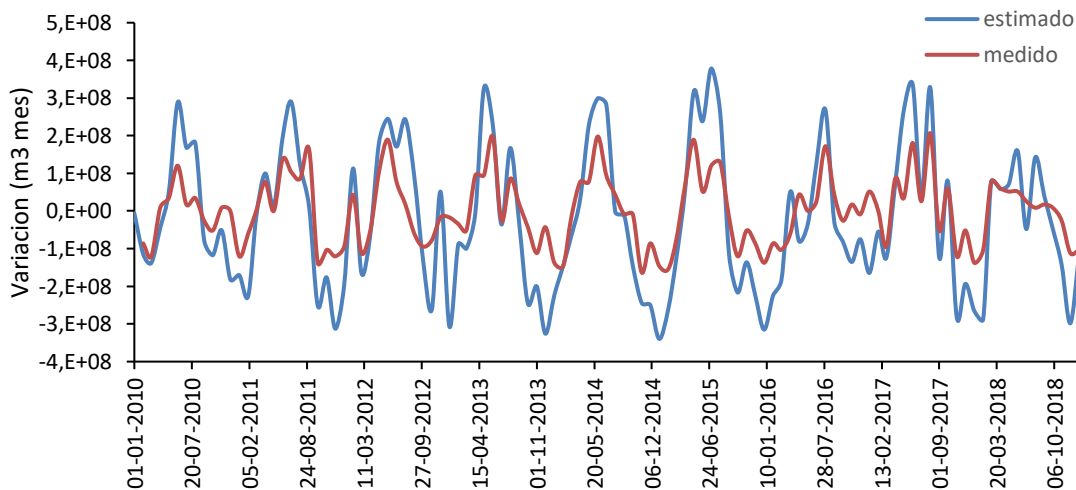


Figura 15. Balance hídrico con respecto al tiempo. Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 15 se puede observar que existe una importante diferencia entre los caudales estimados y los caudales medidos. De hecho, el balance estimado posee una mayor variabilidad de los caudales medidos. Esta diferencia se puede explicar porque al realizar el balance hídrico no se consideró la interacción entre el lago y el sistema de aguas subterráneas de la cuenca del Maullín. Mediante un análisis preliminar se puede determinar que en invierno existe un flujo desde el lago hacia el acuífero y en verano existe un claro aporte de aguas subterráneas hacia el lago.

Para cuantificar aproximadamente el flujo mensual de esta conexión subterránea se debe calcular la diferencia entre lo estimado y medido. En donde se estima un flujo promedio de 613 Hm^3 para los meses de verano (octubre a marzo) y un flujo de 362 Hm^3 para los meses de invierno (abril a septiembre), revisar tabla A7 del anexo para más detalles.

7. CONCLUSIONES

Al analizar los gráficos de variación estacional de los caudales específicos y ubicación de cada estación, llama la atención las claras diferencias de los dos grupos de curvas, además, de la diferencia entre lo medido y estimado del balance hídrico, son condiciones que pueden deducir la posible conexión e interacción con un acuífero.

Se estimó que existe un flujo anual promedio de:

- Precipitación: 6310 Hm³
- Evapotranspiración: 2397 Hm³
- Caudal aportante: 1465 Hm³
- Caudal saliente: 2346 Hm³

El aporte de agua subterránea es muy variado año a año, aumentando de intensidad cuando el nivel del lago disminuye, actuando como un estabilizador en el nivel del lago, esto ocurre en años más secos, como se demuestra entre los años 2014 y 2016, en los que se observa una tendencia hacia la disminución del nivel del lago, mientras que el aporte de aguas hacia el lago aumenta. Se puede estimar un valor aproximado de 362 Hm³ para invierno y - 613 Hm³ en verano.

8. LITERATURA CITADA

1. Abarca, J.A. 2018. Modelación hidrodinámica del Lago Llanquihue. Tesis, Magíster en Ciencias de la Ingeniería, Mención Recursos y Medio Ambiente Hídrico. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Departamento de Ingeniería Civil. Santiago, Chile.
2. Alvarez-Garreton, C., P.A. Mendoza, J.P. Boisier, N. Addor, M. Galleguillos, M. Zambrano-Bigiarini, A. Lara, C. Puelma, G. Cortes, R. Garreaud, J. McPhee and A. Ayala. 2018. The CAMELS-CL dataset: catchment attributes and meteorology for large sample studies – Chile dataset. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 22(11): 5817-5846.
3. Andersen, B.G., G.H. Denton and T.V. Lowell. 1999. Glacial geomorphologic maps of Llanquihue drift in the area of the southern Lake District, Chile. *Geogr. Ann.* 81(2): 155–166.
4. Avilés, F., R. Troncoso. 2018. Modelo hidrogeológico conceptual y balance hídrico de la cuenca del Río Maullín, Región de Los Lagos, Chile. Servicio Nacional de Geología y Minería. Puerto Varas, Chile (Documento de trabajo: felipe.aviles@sernageomin.cl).
5. Avilés, F., R. Troncoso, D. Quiroz y P. Duhart. 2015. SERNAGEOMIN en el desarrollo de estudios hidrogeológicos en el centro-sur de Chile. Servicio Nacional de Geología y Minería. Puerto Varas, Chile. Servicio

Nacional de Geología y Minería. Puerto Varas, Chile (Documento de trabajo: felipe.aviles@sernageomin.cl).

6. Cortés, I., M. Olmedo. 2011. Informe técnico: Apoyo al programa de vigilancia de las normas de calidad secundaria. Cuenca Lago Llanquihue. CENMA. Santiago, Chile.
7. (CR)² (Chile). 2021a. CAMELS_CL Explorer [en línea: programa computacional]. Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia, Chile. <<http://camels.cr2.cl/>>. [Consulta: 20 octubre 2021].
8. (CR)² (Chile). 2021b. Mawün: Explorador de precipitaciones [en línea: programa computacional]. Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia, Chile. <<https://mawun.cr2.cl/>>. [Consulta: 25 octubre 2021].
9. Elgueta, S., J. Le Roux, P. Duhart, M. McDonough y E. Urqueta. 2000. Estratigrafía y sedimentología de las cuencas terciarias de la Región de Los Lagos [39-41o30'S]. Boletín N°57. SERNAGEOMIN. Santiago, Chile.
10. Fernández, L.D., E. Briones y R. Martínez. 2008. Informe de estudio especializado de flora y fauna de la cuenca del Lago Llanquihue. Catastro flora y fauna Lago Llanquihue [en línea]. ResearchGate, Alemania. <https://www.researchgate.net/profile/Leonardo-Fernandez-3/publication/274898343_A_preliminary_inventory_of_fauna_and_flora_of_the_Llanquihue_Lake_southern_Chile_in_Spanish/links/552c3d90>

0cf21acb0920c5d2/A-preliminary-inventory-of-fauna-and-flora-of-the-Llanquihue-Lake-southern-Chile-in-Spanish.pdf>. [Consulta: 15 octubre 2021].

11. Niemeyer, H., P. Cereceda. 1984. Geografía de Chile. pp: 301-309. En: Geografía de Chile. Tomo 8: Hidrografía. Instituto Geográfico Militar. Santiago, Chile.
12. Páez, D., P. Feuker, R. Troncoso e Y. Pérez. 2014. Hidrogeología de la cuenca del Río Valdivia: Regiones de Los Ríos y La Araucanía. Escala 1:200.000. Carta Geológica de Chile Serie Hidrogeología N°5. Servicio Nacional de Geología y Minería. Santiago, Chile.
13. Stowhas, L. 2017. Fundamentos de hidrología aplicada. Universidad Técnica Federico Santa María. Valparaíso, Chile.
14. Troncoso, R., F. Avilés, S. Pizarro, D. Páez y D. Morales. 2015. Caracterización hidrogeológica de la cuenca del Río Maullín, Región de Los Lagos. Servicio Nacional de Geología y Minería, Santiago, Chile.
15. Vargas, J., L. de la Fuente y J.L. Arumí. 2012. Balance hídrico mensual de una cuenca Patagónica de Chile: Aplicación de un modelo parsimonioso. Obras Proy. (12): 32-41.

9. ANEXO 1

Tabla A1. Precipitación en lago ($\text{Hm}^3 \text{mes}^{-1}$)

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
2010	336.5	492.5	361.3	318.0	540.1	1086.0	751.2	752.3	310.8	449.4	409.7	341.1
2011	392.4	173.7	532.3	567.3	510.1	741.3	918.7	774.5	707.2	241.2	392.8	179.2
2012	411.6	677.6	206.8	385.9	955.3	922.6	624.0	692.9	423.8	234.9	161.4	1078.9
2013	163.7	506.0	335.6	539.3	1115.4	920.7	558.4	985.2	633.1	311.1	336.8	166.4
2014	320.3	232.9	537.9	459.5	877.9	1074.6	998.7	607.3	689.8	489.4	235.5	231.2
2015	29.9	59.8	370.8	510.6	1073.1	790.5	1276.4	1016.5	411.2	270.0	374.7	272.0
2016	107.3	155.9	150.2	451.1	131.1	173.2	547.7	790.5	349.3	445.3	321.0	480.0
2017	377.9	467.2	275.3	547.5	890.6	1050.7	544.8	1211.9	384.2	780.4	229.2	448.6
2018	256.7	113.1	722.6	693.5	580.7	827.8	414.4	887.9	695.8	589.7	559.1	298.4

Tabla A2. Evapotranspiración en lago y cultivos ($\text{Hm}^3 \text{mes}^{-1}$)

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
2010	347.8	239.6	245.1	137.4	91.2	59.5	69.4	105.1	153.1	236.8	272.6	333.4
2011	363.2	276.1	240.3	133.5	92.9	63.0	69.4	102.7	163.3	241.0	283.1	366.6
2012	389.4	256.4	243.3	134.3	89.1	60.1	71.0	108.8	169.9	239.2	299.9	316.8
2013	402.0	258.4	246.8	143.0	86.4	60.3	73.3	103.1	168.0	242.0	282.8	375.4
2014	368.3	260.0	235.8	137.6	87.3	59.8	70.8	114.0	161.0	238.4	278.8	350.8
2015	384.4	270.0	268.7	139.8	89.8	60.1	68.4	104.3	160.5	244.1	281.9	355.3

2016	396.2	275.6	261.1	139.2	99.7	67.5	73.2	108.5	185.4	251.1	300.9	360.1
2017	370.3	269.4	249.0	143.3	90.1	58.0	71.9	101.0	163.9	221.1	289.3	352.3
2018	361.6	276.1	238.6	137.1	90.1	59.6	73.6	109.6	165.5	230.3	285.6	358.5

Tabla A3. Caudal aportante al lago mediante transposición de caudales ($\text{Hm}^3 \text{mes}^{-1}$)

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
2010	71.6	52.6	54.8	97.6	116.7	193.4	201.5	239.3	126.5	72.0	177.5	71.5
2011	68.7	25.1	100.6	165.1	104.0	191.3	267.9	177.5	163.0	59.9	80.6	25.2
2012	54.5	195.2	65.2	38.0	106.4	234.6	297.1	351.8	298.6	133.8	30.3	82.1
2013	30.9	51.8	79.0	51.5	240.7	266.8	142.4	200.8	175.1	40.6	78.5	9.1
2014	39.7	76.4	29.6	100.8	185.4	306.2	266.4	167.5	138.2	86.1	59.6	55.0
2015	12.3	7.7	9.8	86.0	166.5	219.4	276.9	296.3	98.3	50.1	77.5	50.1
2016	12.6	9.5	10.9	81.7	20.2	35.6	95.5	219.2	111.5	71.9	79.8	117.5
2017	72.4	87.4	64.2	114.6	233.0	282.8	149.0	317.2	127.5	245.2	55.4	71.0
2018	52.3	7.2	163.3	115.5	167.2	183.0	110.7	219.6	171.8	160.7	104.7	23.2

Tabla A4. Caudal saliente ($\text{Hm}^3 \text{mes}^{-1}$)

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
2010	215.9	175.8	177.4	165.4	176.2	192.4	219.7	226.9	212.6	198.0	201.4	186.5
2011	168.7	138.5	153.2	160.7	190.6	181.1	213.6	235.9	271.2	257.9	221.1	203.9
2012	173.8	149.7	167.9	143.6	163.3	225.8	272.1	260.4	239.7	209.6	176.0	186.2
2013	178.8	145.0	153.9	138.1	197.9	275.3	306.6	268.9	304.1	253.8	223.6	192.5
2014	169.9	140.9	134.0	133.9	173.5	284.7	241.2	296.2	266.7	253.7	223.0	194.6
2015	163.7	121.8	109.4	108.5	126.2	188.5	238.4	281.5	245.9	221.1	172.4	172.5
2016	154.4	119.1	104.1	92.1	91.2	86.2	97.0	133.8	145.2	153.2	148.7	148.4

2017	160.9	132.5	145.1	129.9	182.2	224.0	234.5	292.1	273.9	282.1	246.4	218.2
2018	208.2	159.3	175.1	191.9	223.0	232.6	246.1	278.7	246.4	262.7	258.0	225.9

Tabla A5. Balance hídrico sin considerar infiltración ($\text{Hm}^3 \text{mes}^{-1}$)

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
2010	-221.9	-103.9	-139.5	-44.6	50.4	279.3	167.7	180.8	-75.7	-117.5	-49.7	-181.7
2011	-170.3	-204.3	-16.7	95.6	13.3	188.7	289.4	119.7	9.5	-251.4	-170.7	-312.7
2012	-196.8	102.0	-166.1	-61.0	180.7	236.6	170.4	242.4	87.0	-127.3	-253.3	51.4
2013	-307.1	-79.5	-101.4	-7.1	325.4	221.0	-36.2	166.9	-34.4	-245.6	-193.8	-325.9
2014	-223.9	-130.8	-68.0	29.7	226.7	289.1	282.0	-2.9	-12.3	-145.3	-236.3	-250.2
2015	-339.8	-236.5	-130.1	52.6	316.1	230.4	378.0	260.1	-113.0	-216.7	-131.9	-224.0
2016	-315.1	-202.9	-185.3	48.8	-80.7	-33.5	127.0	268.5	-29.8	-81.2	-131.1	-75.1
2017	-164.6	-49.6	-125.7	69.8	267.8	323.9	39.0	327.3	-120.8	79.3	-273.6	-193.5
2018	-265.3	-259.5	76.8	55.6	70.7	153.6	-48.7	141.7	39.3	-46.9	-138.7	-298.3

Tabla A6. Infiltración ($\text{Hm}^3 \text{mes}^{-1}$)

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
2010		-29.1	-17.7	-53.8	16.5	168.6	150.9	147.0	-52.4	-65.9	-59.9	-181.7
2011	-49.9	-166.0	-15.4	22.2	13.8	57.7	186.6	34.3	-152.7	-113.8	-73.2	-192.3
2012	-102.2	69.9	-52.9	-10.6	78.0	55.7	93.4	225.9	151.1	-32.7	-184.3	68.6
2013	-289.9	-53.7	-48.4	-101.0	231.3	30.9	-10.0	81.5	-51.7	-202.6	-88.5	-282.9
2014	-86.3	1.4	-49.5	-45.9	149.8	101.3	187.8	-45.2	-3.1	-136.7	-80.8	-164.2
2015	-193.6	-107.0	-51.2	-13.6	127.5	186.9	258.0	131.8	-98.7	-96.3	-84.7	-138.0
2016	-177.5	-138.6	-80.6	111.5	-123.1	-34.2	101.6	97.1	-72.7	-55.4	-152.7	-66.5
2017	-216.2	-54.9	-29.7	-13.0	233.9	154.4	13.7	121.5	-72.2	19.1	-162.3	-141.9

2018	-127.7	-184.1	0.7	-2.0	19.6	107.4	-74.0	133.8	24.3	-55.5	-117.5	-186.5
------	--------	--------	-----	------	------	-------	-------	-------	------	-------	--------	--------

Tabla A7. Caudal aportante desde aguas subterráneas hacia el lago (Qa) e infiltración de agua desde el lago a un posible acuífero (Qs).

Año	Qs (Hm ³)	Qa (Hm ³)
	invierno	verano
2010	422.8	-401.7
2011	309.3	-742.2
2012	438.2	-90.5
2013	232.3	-1010.2
2014	343.3	-518.9
2015	682.1	-755.6
2016	147.5	-725.7
2017	503.2	-647.5
2018	178.7	-627.7
Promedio	361.9	-613.3
Desv.estándar	170.1	258.7

Tabla A8. Análisis estadístico de los logaritmos naturales de los caudales específicos de la estación Río Maullín en las Quemadas

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Promedio	-11.15	-11.28	-11.35	-11.35	-11.14	-10.90	-10.84	-10.72	-10.76	-10.88	-10.96	-11.08
Desv. estándar	0.13	0.13	0.21	0.22	0.29	0.39	0.31	0.21	0.22	0.20	0.16	0.11
Coef. asimetría	0.70	-0.14	-0.83	-0.73	-1.91	-1.95	-2.47	-1.78	-1.48	-0.72	-0.75	-0.97

Tabla A9. Análisis estadístico de los logaritmos naturales de caudales específicos de la estación Rio Negro en Las Lomas

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Promedio	-12.50	-12.49	-12.31	-11.87	-11.04	-10.66	-10.64	-10.46	-10.98	-11.61	-11.92	-12.32
Desv. estándar	0.43	0.68	0.88	0.50	0.88	0.91	0.49	0.28	0.39	0.58	0.58	0.64
Coef. asimetría	0.63	0.34	-0.36	0.49	-2.00	-2.02	-0.55	0.25	-0.02	1.25	-0.71	1.81

Tabla A10. Análisis estadístico de los logaritmos naturales de caudales específicos de la estación Rio Chico ante Rio Chamiza

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Promedio	-11.56	-11.56	-11.37	-10.72	-10.41	-9.98	-10.04	-9.79	-10.20	-10.73	-10.88	-11.44
Desv. estándar	0.66	1.09	0.94	0.43	0.73	0.65	0.42	0.24	0.32	0.56	0.46	0.70
Coef. asimetría	-0.94	-0.02	-0.78	-0.70	-2.18	-2.64	-0.37	0.14	0.57	0.60	0.32	-0.12

Tabla A11. Análisis estadístico de los logaritmos naturales de caudales específicos de la estación Rio Blanco ante Rio Chamiza

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Promedio	-11.00	-10.86	-11.06	-10.76	-10.19	-9.56	-9.86	-9.80	-10.24	-10.78	-10.73	-10.95
Desv. estándar	0.26	0.48	0.33	0.31	0.45	0.29	0.13	0.05	0.54	0.31	0.49	0.71
Coef. asimetría	-0.66	-1.37	-1.03	0.64	0.13	-0.71	-0.56	-0.60	0.58	1.48	-0.66	1.72

Tabla A12. Análisis estadístico de los logaritmos naturales de caudales específicos de la estación Rio Coihueco antes junta Rio Rahue

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Promedio	-11.38	-11.50	-11.48	-11.08	-10.73	-10.10	-10.07	-9.98	-10.26	-10.81	-10.87	-11.29
Desv. estándar	0.49	0.60	0.53	0.33	0.72	0.75	0.45	0.27	0.38	0.54	0.41	0.41
Coef. asimetría	-0.08	0.08	-0.86	0.57	-1.23	-1.59	-1.79	-0.34	-0.29	0.78	-0.87	0.11

Tabla A 13. Análisis estadístico de los logaritmos naturales de caudales específicos de la estación Rio Coihueco antes junta Pichicope

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Promedio	-11.05	-11.09	-11.05	-10.62	-10.25	-9.80	-9.70	-9.89	-10.14	-10.54	-10.61	-10.86
Desv. estándar	0.50	0.59	0.56	0.43	0.80	0.80	0.14	0.37	0.37	0.38	0.44	0.46
Coef. asimetría	0.16	0.03	-0.88	-0.12	-2.40	-2.58	0.32	-1.01	0.43	1.22	-0.71	0.75

Tabla A 14. Análisis estadístico de los logaritmos naturales de caudales específicos de la estación Rio Forrahue en Aromos

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Promedio	-13.43	-14.05	-13.66	-13.08	-11.75	-10.74	-10.59	-10.22	-10.74	-11.57	-12.22	-13.34
Desv. estándar	0.54	0.66	0.48	0.77	1.02	1.12	0.73	0.33	0.38	0.62	0.75	1.22
Coef. asimetría	0.28	0.06	-1.12	1.81	-0.93	-2.20	-2.35	-0.11	-0.47	0.29	0.37	-0.94

Tabla A 15. Análisis estadístico de los logaritmos naturales de caudales específicos de la estación Rio Rahue en desagüe lago Rupanco

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Promedio	-10.53	-10.72	-10.79	-10.75	-10.45	-10.05	-9.97	-9.88	-9.94	-10.11	-10.26	-10.43
Desv. estándar	0.25	0.24	0.31	0.31	0.36	0.51	0.49	0.22	0.16	0.19	0.19	0.12
Coef. asimetría	-0.16	-0.71	-1.17	-0.70	-1.19	-2.22	-2.26	-1.23	-0.48	-0.29	-0.12	0.66

Tabla A 16. Análisis estadístico de los logaritmos naturales de caudales específicos de la estación Rio Rahue en Chan Chan

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Promedio	-10.86	-11.02	-11.06	-10.90	-10.54	-10.14	-10.03	-9.95	-10.09	-10.39	-10.55	-10.74
Desv. estándar	0.29	0.28	0.32	0.28	0.40	0.54	0.42	0.17	0.20	0.23	0.21	0.18

Coef. asimetría	-0.06	-0.35	-1.36	-0.36	-1.01	-2.05	-2.51	-0.80	0.24	0.30	-0.14	0.56
-----------------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	------	------	-------	------

Tabla A 17. Análisis estadístico de los logaritmos naturales de caudales específicos de la estación Rio Rahue antes junta Rio Negro

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Promedio	-10.99	-11.16	-11.20	-11.03	-10.66	-10.18	-10.09	-9.92	-10.15	-10.49	-10.67	-10.85
Desv. estándar	0.31	0.34	0.36	0.25	0.39	0.60	0.47	0.25	0.25	0.23	0.24	0.18
Coef. asimetría	-0.26	-0.70	-1.32	-0.30	-2.04	-2.11	-2.39	-0.40	0.26	0.33	-0.49	-0.46