



UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS
DEPARTAMENTO CIENCIAS DE LA TIERRA



**CARACTERIZACIÓN Y ANÁLISIS DEL
FUNCIONAMIENTO
HIDROGEOLÓGICO DE LA BARRERA DE LA
LAGUNA DE LA LAJA, REGION DEL BIOBÍO**

Memoria para optar al Título de Geólogo

Felipe Alberto Carrasco Vásquez

Profesora Patrocinante: MSc. Liubow Nikolaivna González Martínez

Profesores Comisión: Sr. Ramiro Ulises Bonilla Parra

MSc. Abraham Elías González Martínez

CONCEPCIÓN, 2022

INDICE

RESUMEN	
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Planteamiento del problema	1
1.2. Objetivos	2
1.2.1 Objetivo general	2
1.2.2 Objetivos específicos.....	2
1.3. Ubicación y Accesos	2
1.4. Metodología de trabajo.....	3
1.5. Clima	4
1.6. Agradecimientos.....	5
2. MARCO GEOLÓGICO Y TECTÓNICO	6
2.1 Generalidades	6
2.2 Geología local	7
2.3 Volcán Antuco	10
2.4 Centros eruptivos menores.....	11
2.5 Antecedentes de tectónica regional.....	11
2.6. Antecedentes estructurales locales.....	13
3. HIDROLOGIA.....	14
3.1 Generalidades de aguas subterráneas	14
3.2 Unidades Hidrogeológicas	14
3.2.1 Unidades volcánico-sedimentarias del Paleogeno-Neogeno.....	14
3.2.2 Complejo volcánico Antuco.....	15
3.2.3 Depósitos No Consolidados recientes.	16
3.3 Laguna de la Laja.....	16
3.4 Filtraciones de la Laguna de la Laja	19
3.5 Ley de filtraciones.....	21
3.6 Análisis de las fracturas de la barrera	23
3.7 Análisis de los datos.....	24
3.8 Limitaciones del estudio	29
4. DISCUSIÓN Y RESULTADOS	30
5. REFERENCIAS	31
ANEXO I.....	36
ANEXO II.....	51
ANEXO III	54
ANEXO IV	64
ANEXO V.....	74

Índice de Figuras

Figura 1.1 Mapa de ubicación y accesos.	3
Figura 1.2 Clasificación <i>Köppen</i> de zonas climáticas.	5
Figura 2.1 Geología del área de estudio y estructuras locales.	8
Figura 2.2 Estructuras tectónicas regionales.	12
Figura 3.1 Manejo Hidrológico Laguna de la Laja (Mardones y Vargas, 2005).....	18
Figura 3.2 Variaciones del nivel de espejo de agua (Mardones y Vargas, 2005).....	19
Fotografía 3.3. Salto Las Chilcas y Salto El Torbellino	20
Fotografía 3.4. Contacto entre rocas de subunidad Qvall-2 y Formación Cura-Mallín	21
Fotografía 3.5. Colada de Lava basáltica perteneciente a la barrera.	23
Figura 3.6. Resumen de P_{10} de las estructuras menores o iguales a 2 m.	25
Figura 3.7. Diagrama de roseta de datos del sitio B1 - B8 de la barrera	29



Resumen

El área de estudio se encuentra ubicada en la cordillera principal de la Región del Biobío.

Las unidades estratigráficas más antiguas en la zona y de gran relevancia son las formaciones Cura-Mallín (Oligoceno-Mioceno), y Trapa-Trapa Mioceno (Inferior-Medio). Cura-Mallín tiene dos subunidades, una inferior de origen volcanoclástico y uno superior de origen sedimentario llamado Malla-Malla. Mientras que la formación Trapa-Trapa, está constituida principalmente por volcanitas y rocas volcanoclásticas.

La cuenca alta del río Laja, destaca por su relevancia hidrológica, en la cual el cuerpo de agua de mayor importancia corresponde a la Laguna de la Laja, un embalse natural, producido por eventos eruptivos del volcán Antuco II, que represarían el paleo valle del río Laja, generando una barrera natural de alrededor de 4 km de largo de material volcánico.

Esta barrera presenta filtraciones, que afloran como vertientes en un lugar llamado “Ojos de Agua” con caudales importantes, los cuales están relacionados con la cota del nivel del espejo de agua de la Laguna de la Laja.

Las dos unidades principales que interactúan son: la Formación Cura-Mallín y una unidad formada por una serie de coladas de lavas del volcán Antuco II. La primera unidad es la más antigua en la zona, presenta fallas y pliegues, sin embargo, actúa como horizonte impermeable, a diferencia de las rocas de la barrera de la Laguna de la Laja, las cuales se encuentran conformadas por lavas del volcán Antuco II, caracterizadas por una gran anisotropía y presencia de fracturas.

El análisis de fracturas determina que la frecuencia de estas en la unidad volcánica, son suficientes para tener la mayor conductividad hidráulica, debido a que principalmente se reconocen lavas basálticas con fracturas producidas por disyunción columnar producto del enfriamiento y lavas basálticas escoriáceas las cuales tienen mayor porosidad.

El caudal de filtraciones depende principalmente de la cota del nivel del espejo de agua de la Laguna de la Laja. Y a su vez el nivel del cuerpo de agua, responde a dos factores importantes: el uso intensivo del recurso hídrico para producción de energía hidroeléctrica, y también responde a condiciones climáticas.

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Planteamiento del problema

La importancia del agua en la sociedad se encuentra ampliamente documentado en la historia y esta cobra aún mayor relevancia considerando la contingente situación hídrica del país (CR2, 2015). Debido al extenso periodo de sequía, el uso de aguas subterráneas para satisfacer las necesidades aumenta año a año evidenciado por el aumento de concesiones para derechos de agua solicitadas a la DGA.

Históricamente y de forma perjudicial, se ha realizado una distinción en la administración de recursos hídricos entre aguas superficiales y aguas subterráneas, pese a que se encuentren estrechamente relacionadas entre sí, han sido considerados como sistemas independientes (Arumí et al., 2012) por lo tanto es de gran importancia entender los procesos que interactúan entre estas con el objetivo de poder administrarlas de forma más eficiente y correcta.

En la región del Biobío, la cuenca alta del río Laja juega un rol principal en la recarga de acuíferos y a la vez representa parte importante de la generación de energía hidroeléctrica. Esta cuenca posee importantes recursos hídricos en el cual destaca principalmente la Laguna de la Laja, con una superficie de 80,5 Km², la cual se clasifica como un embalse de origen geológico, con una capacidad de 5.582 Mm³ (DGA, 2016c), esta laguna presenta filtraciones naturales, las cuales afloran, en la zona llamadas “Ojos de Agua” el nacimiento del río Laja.

En el presente trabajo se propone un modelo conceptual hidrogeológico que explica los procesos de filtración de la Laguna de la Laja.

1.2. Objetivos

1.2.1 Objetivo general

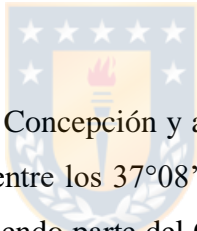
Evaluar el comportamiento y funcionamiento hidrogeológico de la barrera de la Laguna de la Laja.

1.2.2 Objetivos específicos

- Caracterizar geológicamente la Barrera de la Laguna de la Laja y las unidades geológicas que interactúan con las aguas subterráneas.
- Definir unidades hidrogeológicas a partir de información litológica y estructural obtenida de levantamiento geológico en terreno y uso de imágenes satelitales e información preexistente.
- Analizar la relación entre el nivel del espejo de agua de Laguna de la Laja y el caudal de infiltración.

1.3. Ubicación y Accesos

El área de estudio se ubica a 174 km de Concepción y a 66 km de Los Ángeles, en la Cordillera de los Andes en la Región del Biobío, entre los 37°08'-37°41' Latitud Sur y los 71°42'-71°06' Longitud Oeste (Figura. 1.1), comprendiendo parte del Corredor Biológico Nevados de Chillán - Laguna del Laja. Para acceder desde Concepción se debe recorrer la Ruta 146, para luego continuar por la Ruta 5 Sur hasta Los Ángeles. Desde esa ciudad se llega a Antuco a través de la Ruta 45. Este camino se encuentra pavimentado hasta pocos kilómetros antes de llegar al Parque Nacional Laguna de la Laja donde pasa a ser un camino de ripio, este camino se extiende hasta el Paso Pichachén, paso fronterizo que se encuentra cerrado en épocas invernales.



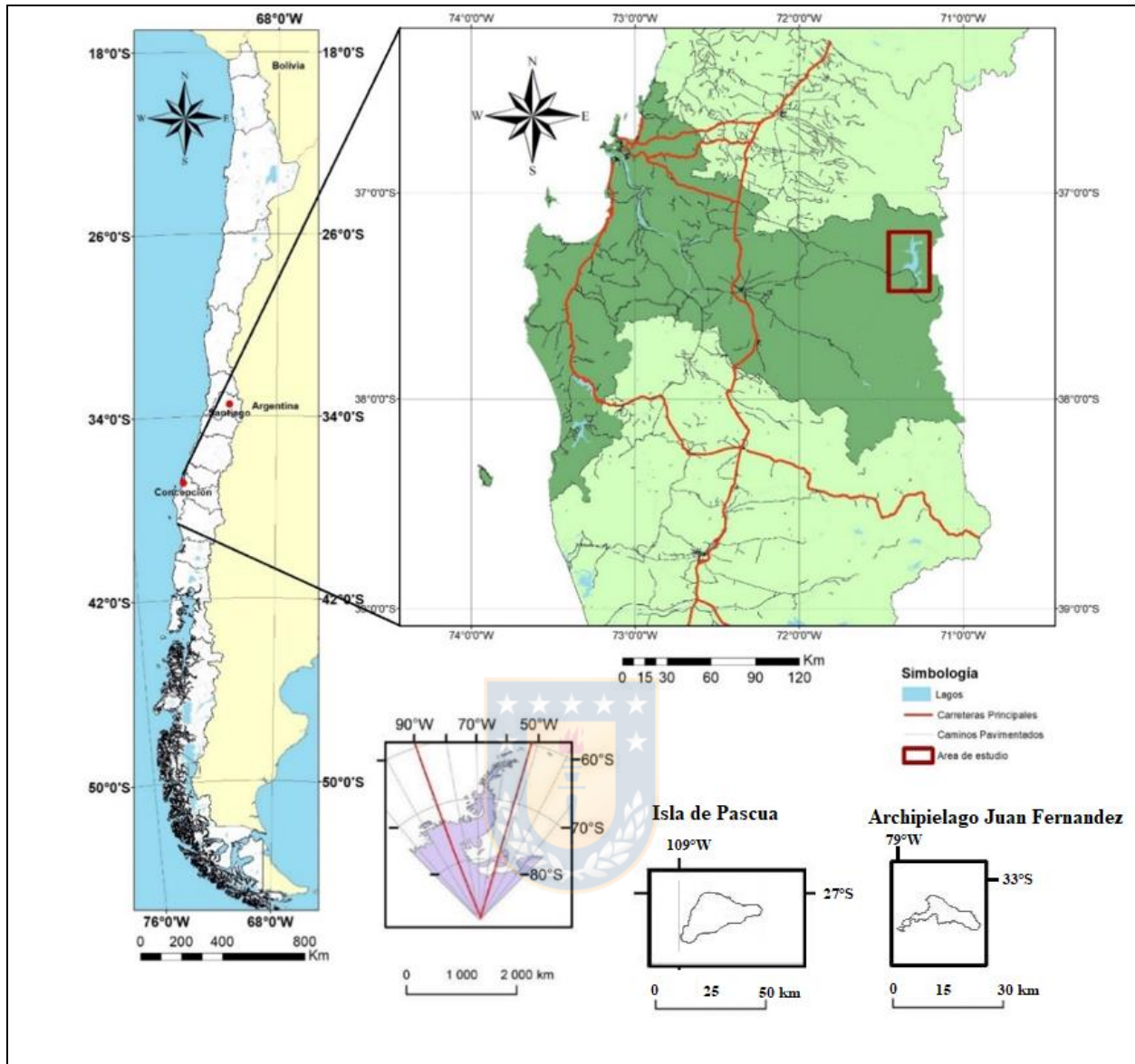


Figura 1.1 Mapa de ubicación y accesos. Elaboración Propia

1.4. Metodología de trabajo

El desarrollo de este trabajo se realizó en las siguientes etapas:

I – Etapa de gabinete, la cual consiste en una recopilación de antecedentes bibliográficos de la zona a estudiar tales como, marco geológico y tectónico, geomorfología e hidrografía; así como, imágenes satelitales, modelos digitales de elevación (DEM), y trabajos anteriores del área.

II - Etapa de terreno, consiste en una salida de reconocimiento, en la cual se procede a identificar las distintas unidades geológicas presentes en el área en estudio y en salida posterior se realizan medidas estructurales y levantamiento de información litológica con el objetivo de clasificar en unidades hidrogeológicas.

III - Etapa de Gabinete II, se analizan e integrarán los datos estructurales y litológicos obtenidas en etapas anteriores, en conjunto con los datos de la variabilidad del nivel del espejo de agua de Laguna de la Laja, se calculará el caudal de infiltración para realizar una interpretación del sistema hidrológico para el área de estudio.

1.5. Clima

El clima en el área es de tipo mediterráneo con influencias cordilleranas como se puede observar en el mapa de zonas climáticas (Figura 1.2), con una temperatura media anual de 12,5°C, y con precipitaciones media anuales de 2.080 mm (D.G.A., 2005). La región del Biobío marca también una frontera entre la ausencia y la presencia de lluvias estivales. En particular la cuenca se encuentra localizada en la Cordillera de los Andes y la precordillera por lo que al clima descrito hay que agregar algunas características adicionales, tales como oscilaciones de temperaturas diarias típicas de zonas de altura, por lo mismo las precipitaciones suelen aumentar hacia zonas de altura. La cobertura vegetal está representada fundamentalmente por especies nativas boscosa y esteparia de altura, con cuerpos de agua, glaciares y superficies desprovistas de vegetación. Según Figueroa et al. (2007) la zona mediterránea chilena es aquella con mayor densidad humana en el país y del mismo modo coincide con los suelos más fértiles, debido a esto se reconoce un uso extensivo de agricultura. Los glaciares por su lado representan una reserva importante de agua que alimenta tanto sistemas lacustres y fluviales como subterráneo durante el verano seco.

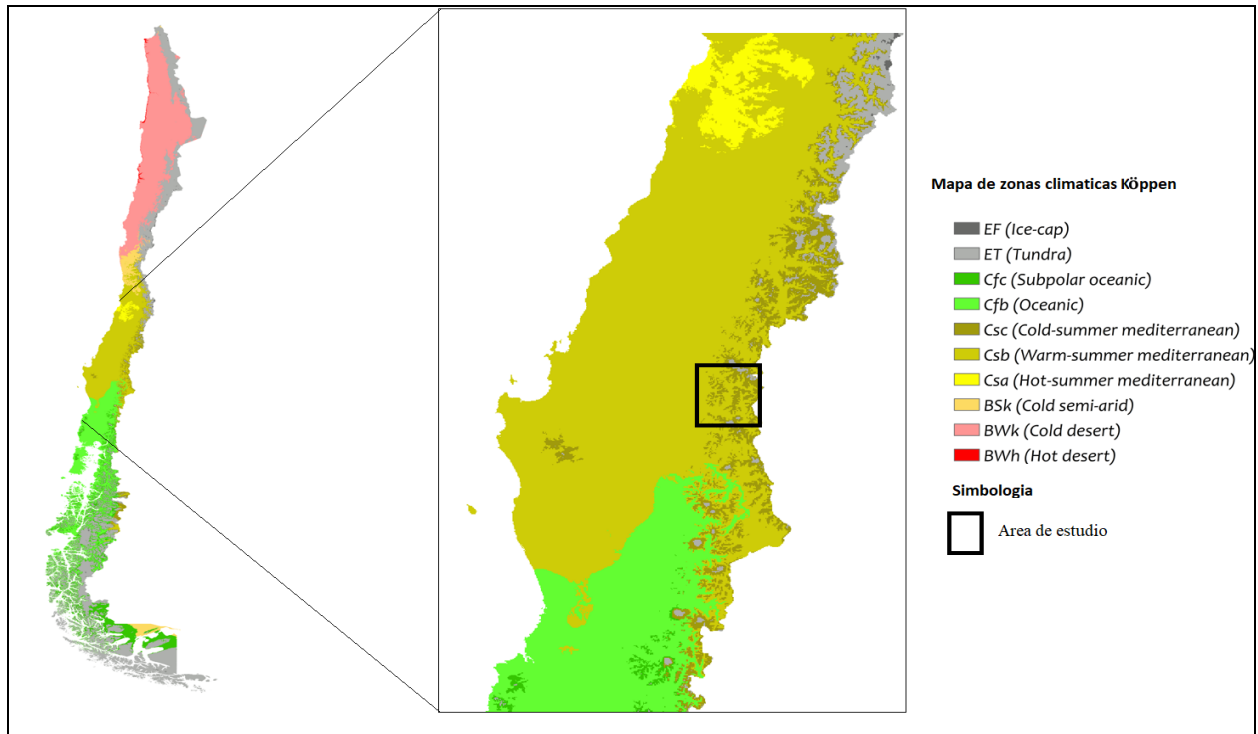


Figura 1.2 Clasificación Köppen de zonas climáticas. Modificado de (Sarricolea *et al.*, 2017)

1.6. Agradecimientos

Este trabajo se debe a la colaboración con el profesor José Luis Arumí y no se podría haber realizado sin financiamiento de las salidas a terreno gracias a su proyecto de Conicyt/Fondap-15130015.

Del mismo modo debo agradecer a todos los profesores y funcionarios del Departamento Ciencias de la Tierra, de la Universidad de Concepción, por los conocimientos impartidos y la buena disposición. En particular debo agradecer a la profesora Liubow González y al profesor Abraham González, por su vital apoyo, aporte de material y motivación en momento crucial.

También quisiera agradecer en especial al señor Luis Vásquez por su paciencia y voluntad de enseñar distintas técnicas digitales y softwares computacionales. Del mismo modo se agradece la ayuda de mis compañeros y amigos formados durante la duración de la carrera con los que espero siempre mantener el contacto.

A mi familia, en especial a mi papá, Mario y mi mamá Carolina, que siempre me han apoyado en todo lo que he hecho, siempre se han preocupado por mí, a mi hermano Diego quien me acompaña incluso a terreno y me acompaña a todas las aventuras y a la Consuelo.

A mis amigos más cercanos: Mati, Pedro, Marcela, Puentes y Javi, también a amigos del colegio, y a mis amigos de telecom.

Y por sobre todo quisiera agradecer a Silvana Leiva, por su paciencia infinita, apoyo incondicional su cariño ilimitado.

2. MARCO GEOLÓGICO Y TECTÓNICO

2.1 Generalidades

La región de estudio se encuentra ubicada a los 37°S, esta corresponde a la Zona Volcánica Sur Central de Chile que va desde los 27°-38° S (Stern, 2004), en cuanto a la Geomorfología regional de estas latitudes, se aprecia de este a oeste una serie de unidades geomorfológicas que presentan una orientación dominante NS, estas son definidas por Börgel (1983), como la Cordillera de los Andes, la Precordillera, la Depresión Central, Cordillera de la Costa y finalmente las Planicies Litorales.

Cordillera de los Andes: unidad geomorfológica que se caracteriza por las mayores alturas, principalmente relacionadas a actividad volcánica y tectónica, en esta unidad se encuentra el área de estudio, y la altura máxima alcanzada es de 3.385 m s.n.m. por el Volcán Sierra Velluda

Precordillera: se describe como una unidad transicional entre la Depresión Central y la Cordillera de los Andes, se caracteriza por la presencia de valles con laderas pronunciadas y ríos encajonados en la cual predomina un régimen tectónico.

Depresión Central: caracterizada por su baja pendiente y se encuentra limitada por el este con la Precordillera y por el oeste con la Cordillera de la Costa, está cubierta por secuencias fluviales y lacustres plio-cuaternarias, en la cual destaca el Abanico de la Laja.

Cordillera de la Costa: de menor altura promedio que la Cordillera de los Andes, se encuentra constituida principalmente por rocas del Paleozoico Superior.

Planicies Litorales: ubicadas en la sección más occidental de la región, correspondiendo a la línea de costa, se conforma por acumulaciones arenosas con bajas pendientes.

2.2 Geología local

Entre los 36° y 39°S, la Cordillera de los Andes se encuentra ocupada por rocas estratificadas, volcánicas y sedimentarias, con edades que van desde el Mioceno inferior al Holoceno, en las cuales se identifican 5 unidades litoestratigráficas principales, estas son: Formación Cura-Mallín, Formación Trapa-Trapa, Formación Cola de Zorro, Volcanes y flujos lávicos y Depósitos no Consolidados.

La Formación Cura-Mallín definida por Gonzales y Vergara (1962), es la unidad estratigráfica más antigua que aflora en la Laguna de la Laja, esta unidad está dividida en dos miembros concordantes y transicionales entre sí, el miembro inferior, de carácter principalmente volcanoclástico, llamado Miembro Río Queuco y el miembro superior de carácter netamente sedimentario llamado Miembro Malla-Malla.

La base de la formación Cura-Mallín no aflora en la Hoja Laguna de La Laja. Su techo es concordante con las lavas y aglomerados volcánicos de la formación Trapa-Trapa, que la sobre yacen. Se encuentra parcialmente cubierta, con discordancia angular, por la Formación Cola de Zorro.

La formación Cura-Mallín tiene una distribución en forma de franja, en dirección norte sur, la cual se describe como una secuencia con muy buena estratificación, integrada en el Miembro Río Queuco, por tobas brechosas y tobas finas de colores pardo verdoso, blanco, morado, verde, rosado y gris claro. Mientras que el Miembro Malla-Malla, está formada por conglomerado, areniscas y lutitas, de colores verde-oliva y verde amarillento, con intercalaciones carbonosas y calcáreas.

La Formación Trapa-Trapa está constituida por rocas volcánicas y volcanoclásticas del Mioceno, esta unidad está formada por andesitas, andesitas basálticas y escasos basaltos y dacitas (Niemeyer y Muñoz, 1983)

Las Formaciones Cura-Mallín (Mioceno Inferior-Medio) y Trapa-Trapa (Mioceno Medio-Superior) (Figura 2.1), han sido interpretadas como el relleno de la cuenca extensional de Cura-Mallín (Oligoceno-Mioceno), luego se interpreta que esta cuenca tectónicamente es invertida hacia finales del Mioceno, reutilizando las fallas NS originalmente extensionales, provocando el alzamiento de la Cordillera de los Andes y el plegamiento y fallamiento inverso de las formaciones depositadas (Radic *et al.*, 2010). Posterior o simultáneamente, pequeños cuerpos plutónicos de granodiorita, diorita y riodacita se emplazaron intruyendo a las formaciones Cura-Mallín y Trapa-Trapa durante el Mioceno Superior, desarrollando alteraciones de extensión moderada en rocas de esas unidades y generando el depósito cuprífero del Río Otué (Niemeyer y Muñoz, 1983).

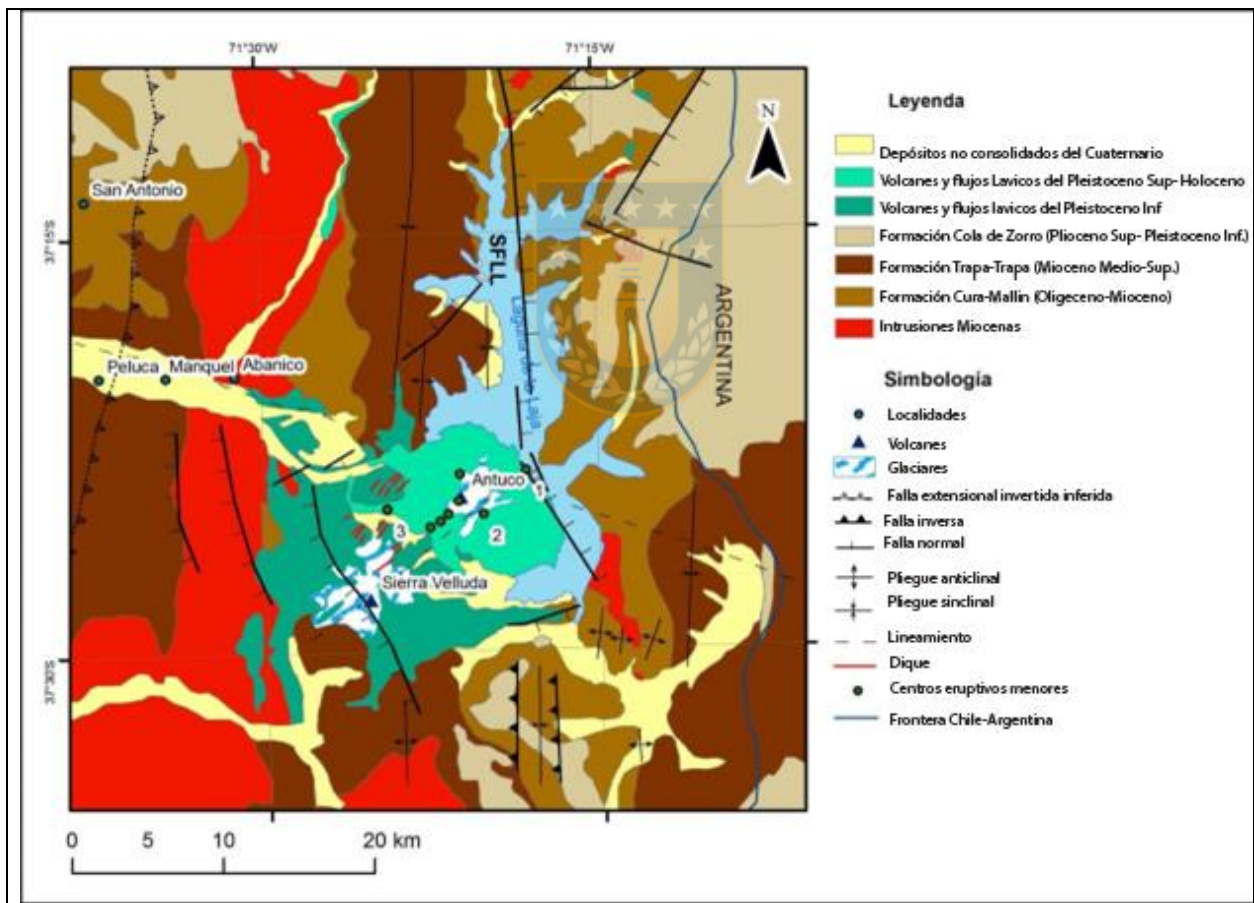


Figura 2.1 Geología del área de estudio y estructuras locales. 1) Centro eruptivo menor La Herradura; 2) Centro eruptivo menor Barros; 3) Centro eruptivo menor Los Pangues. Modificado de Niemeyer y Muñoz, 1983; Melnick *et al.*, 2006a; Arancibia *et al.*, 2009; Radic, 2010.

La formación Cola de Zorro definida por Gonzales y Vergara (1962), como una secuencia volcánica de composición andesítica a basáltica, de gran extensión y que se encuentra dispuesta de forma subhorizontal a horizontal, que forman un extenso plateau y sobreyace a la Formación Cura-Mallín en discordancia. (Muñoz y Niemayer, 1984).

Se encuentra compuesta en su miembro basal, por conglomerados, tobas, tobas brechosas y en menor cantidad, areniscas y conglomerados líticos. Mientras que el miembro superior esta caracterizado por andesitas, andesitas basálticas y basaltos (Vergara y Muñoz, 1982). Con una edad estimada mediante dataciones radiométricas de K-Ar en roca total, de Plioceno superior-Pleistoceno (Muñoz y Niemayer, 1984).

Mediante discordancia de erosión, se disponen las unidades volcánicas y flujos lávicos pleistoceno-holocénicos sobre las volcanitas de la Formación Cola de Zorro (Figura 2.1), los que cubren una pequeña parte de la Hoja Laguna de la Laja, de estas unidades volcánicas las más relevantes en el área son el Volcán Antuco y el Volcán Sierra Velluda.

El Volcán Sierra Velluda (Figura 2.1) es la unidad volcánica más antigua del Grupo Volcánico Antuco-Sierra Velluda (Pleistoceno Inferior) y corresponde a un estratovolcán fuertemente erosionado, formado por flujos de lava y depósitos laháricos y piroclásticos que irradian desde la cumbre actual (Moreno *et al.*, 1984). En él se han diferenciado dos unidades litológicamente contrastantes y con discordancia de depositación entre ellas, denominadas Volcán Sierra Velluda I y II. La Unidad Sierra Velluda I es la más antigua y está formada principalmente por flujos de lahares y piroclastos, con escasas coladas lávicas andesíticas intercaladas. Por otro lado, la Unidad Sierra Velluda II está constituida fundamentalmente por flujos de lava (Moreno *et al.*, 1984).

El Volcán Antuco por su parte corresponde a un estratovolcán mixto y compuesto, cuya actividad se inició hace aproximadamente 150.000 años según dataciones de $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ (Martínez *et al.*, 2017). Se caracteriza por tener dos unidades de primer orden, un primer edificio volcánico llamado Antuco I, el cual finaliza en forma de caldera, y la segunda unidad presentando un cono edificado en el interior de la caldera llamado Antuco II, el cual surge posteriormente. Este surge posterior a la última glaciación. La composición de Antuco I corresponde principalmente a andesita basáltica de olivino y clinopiroxeno, y de Antuco II presenta alternancias entre andesitas basálticas y piroclastos de color oscuro (Vergara y Katsui,

1969). La unidad volcán Antuco II, se pueden reconocer 5 subunidades denominadas Antuco II-1, II-2, II-3, II-4 y II-5.

La unidad Antuco II-1, es la más antigua y se desarrolla inmediatamente después de la génesis de la caldera. Sus lavas están expuestas en el fondo del valle del río Laja. La unidad II-2 tiene su mejor desarrollo en el sector del “Salto las Chilcas” u “Ojos de Agua”. La unidad II-3, aflora principalmente en el sector de la “Casa de Valvulas”, constituyendo además gran parte del cono actual del volcán Antuco. La unidad II-4, corresponde a flujos de la lava antiguos anteriores a 1752. Y por último la unidad II-5, corresponden a las lavas más recientes.

La acción del hielo y las aguas dan origen a los Depósitos No Consolidados del Cuaternario (Figura 2.1), los que consisten en depósitos moderadamente consolidados a no consolidados, de orígenes aluvial, fluvial, lacustre, piroclástico y lahárico. Los depósitos fluviales corresponden a terrazas compuestas de gravas, gravas arenosas gruesas, gravas arenosas y gravas gruesas con intercalaciones de arenas y arenas con bolones. En menor medida se encuentran sedimentos finos tipo limo y/o arcilla. Los depósitos de origen piroclástico están compuestos de arenas negras basálticas y gravas muy finas angulosas, ceniza y un porcentaje menor de fragmentos escoriáceos y pumíceos, junto con líticos variados. Los de origen aluvial están conformados por bloques, clastos angulosos y fragmentos menores de rocas trituradas dentro de una matriz de molienda, que presenta una consolidación moderada a baja intercaladas con niveles de gravas. Ocasionalmente pueden encontrarse bloques mayores inmersos. Gravas y bolones muy mal seleccionados de aspecto caótico con bolones de 1 m o más de diámetro.

2.3 Volcán Antuco

El Volcán Antuco se eleva 2.979 m s.n.m., y tiene un volumen estimado de 62 km^3 (Martínez *et al.*, 2017). Posee un récord de vigorosa actividad, incluyendo 17 erupciones históricas ocurridas a una frecuencia de 1 cada década entre 1739 y 1911 (Thiele *et al.*, 1998), además del colapso de 5 km^3 del flanco NW hace 6.200 años (Lohmar, 2000), que produjo una avalancha volcánica que se desplazó 20 km a través del Valle del Río Laja (Moreno *et al.*, 2000). A pesar de que la actividad histórica del Antuco ha sido mayormente efusiva con muy poca evidencia

de grandes erupciones explosivas, la Red Nacional de Vigilancia Volcánica, lo ha clasificado como un volcán de Muy Alto Riesgo, debido a su cercanía con varios pueblos.

El Volcán Antuco comenzó a crecer hace 150.000 años en tres fases principales: (1) Pre-LGM es decir pre último máximo glacial (150.000-17.000 años) (Antuco I); (2) post-LGM (17.000-6.200 años) y (3) una fase post-colapso después de los 6.200 años (Antuco II) (Martínez *et al.*, 2017). Ha expulsado un amplio espectro de lavas, desde andesitas basálticas a dacitas, pero tuvo un abrupto cambio a composiciones exclusivamente basálticas luego del LGM.

2.4 Centros eruptivos menores

Existen 8 centros volcánicos adventicios en los flancos oriental y occidental del Volcán Antuco (Figura 2.1). de los cuales 3 han sido descritos: “La Herradura”, “Los Barros” y “los Pangues” (Martínez *et al.*, 2017). El Centro Volcánico La Herradura está constituido por una extensión de lavas cordadas, cuyo punto de emisión no formó un cráter, sino solo un cono de 50 m de altura en el Holoceno Tardío. Sin embargo, en las cercanías de la Laguna de la Laja, existe un cráter de 250 m de diámetro que se habría originado por una erupción freática (Moreno *et al.*, 1984). El Centro Volcánico los Barros está formado por un pequeño cono piroclástico de 50 m de altura. El Centro Volcánico Los Pangues está constituido por un cono piroclástico escoriáceo, de un diámetro basal cercano a los 250 m y unos 50 m de altura. Posee un cráter circular en su cima, de 20 m de diámetro (Moreno *et al.*, 1984).

Los otros 5 centros eruptivos menores se encuentran alineados en dirección NE-SW entre los cráteres de los volcanes Antuco y Sierra Velluda.

2.5 Antecedentes de tectónica regional

Desde el norte de los 37°S, se observa el Lineamiento Cortaderas (Figura 2.2) desde la costa E de Argentina hasta la Zona Volcánica Sur. Corresponde a un rasgo topográfico principal a esta latitud donde, según Ramos y Kay (2006), controla el volcanismo reciente del Complejo Volcánico Nevados de Chillán esta presenta una orientación NW-NE. Inmediatamente al sur del Lineamiento Cortaderas, domina el control estructural dictado por el desarrollo de la Faja Plegada y Corrida de Chos Malal (FPCCH-M) y la Faja Plegada y Corrida del Agrio (FPCA)

(Figura 2.2), que estuvieron activas desde el Cretácico Superior, y que fueron sometidas a reactivaciones menores en el Eoceno y Mioceno Tardío (Folguera *et al.*, 2006). Ambas que se encuentran inactivas en la actualidad (Zapata *et al.*, 2002).

Al W de estas fajas, y por los 37° S, la compresión neotectónica a lo largo de la pendiente occidental del Sistema Neuquino se concentra en la Faja Plegada y Corrida de Guañacos (FPCG), activa desde el Mioceno Superior y formada en respuesta a la inversión tectónica de la Cuenca de Cura-Mallín (Folguera *et al.*, 2006)

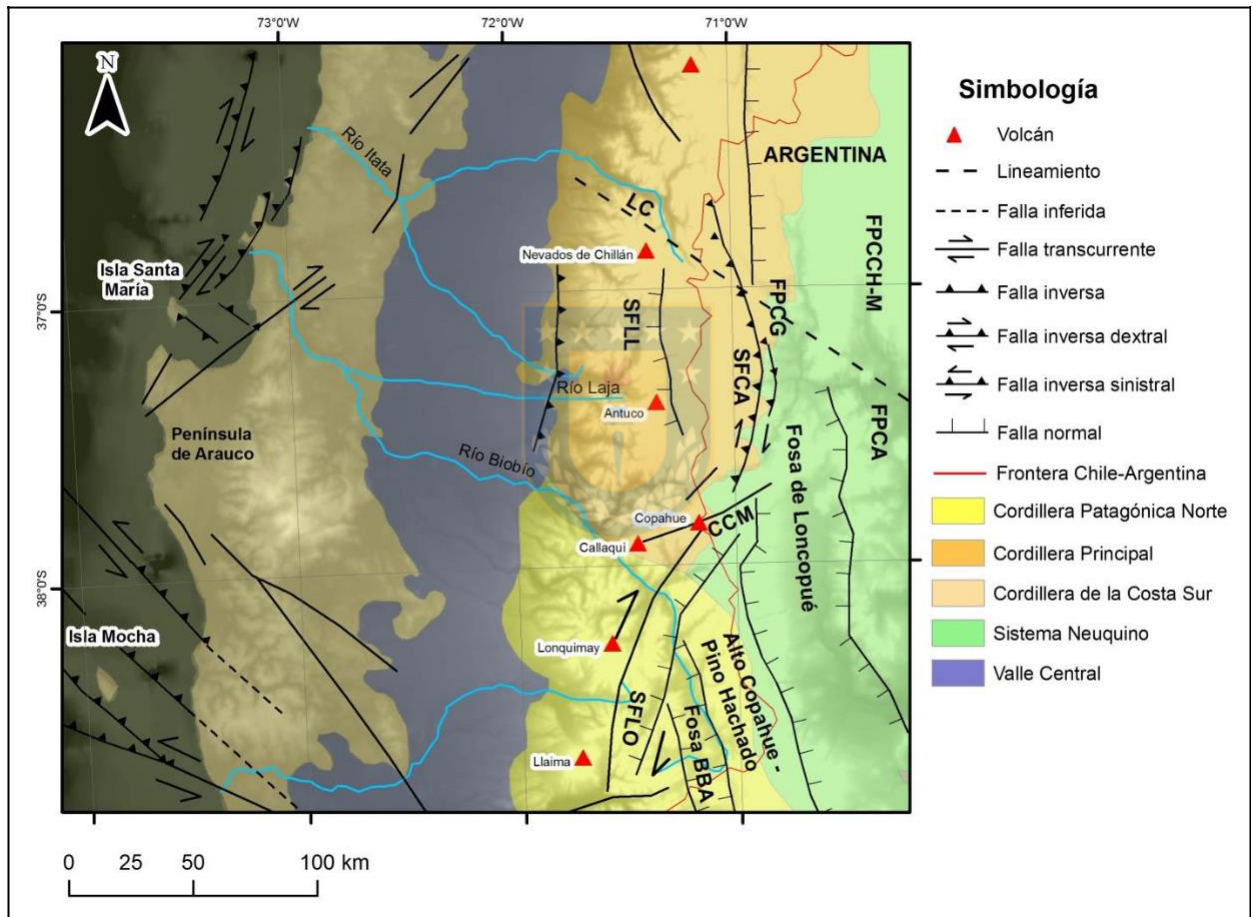


Figura 2.2 Estructuras tectónicas regionales. Modificado de Melnick *et al.*, 2006a; Melnick *et al.*, 2006b; Ramos y Kay, 2006; García Morabito y Folguera, 2005.

Al W de la Faja Plegada y Corrida del Agrío, una depresión longitudinal de escala regional que se desarrolló en forma paralela al frente andino, en la vertiente oriental de la cordillera, conocida como

Fosa de Loncopué (Figura 2.2), concentra los depósitos volcánicos pliocenos correspondientes a la Formación Cola de Zorro, y basaltos cuaternarios, acumulados en respuesta a extensión activa de este sector durante los últimos 5 Ma (Muñoz y Stern, 1988; Morabito y Folguera, 2005).

El desarrollo latitudinal de la fosa y su amplitud hacia el E están controlados por un fallamiento de tipo extensional, activo durante el Plioceno Inferior y parte de Pleistoceno, que afectó a los sectores internos de la Faja Plegada y Corrida del Agrio (Morabito y Folguera, 2005).

Inmediatamente al W de la Fosa de Loncopué, un alto estructural de rumbo NW constituye la divisoria de aguas de la región al S de los 38°S, conocido como el Alto del Copahue-Pino Hachado (Figura 2.2). Este bloque se levantó a través de una serie de retrocorrimientos entre los 8 y los 4,5 Ma., y posee estructuras con movimiento transcurrente sinistral a lo largo de su eje (Morabito y Folguera, 2005). Su altura se ve acentuada por la presencia de la Fosa de Biobío-Aluminé (BBA) en su flanco occidental (Figura 2.2).

A los 37°S, en la zona occidental, se registra un acortamiento dextral a lo largo de fallas inversas de rumbo NE, que se extienden desde la Isla Santa María al NE (Melnick *et al.*, 2006a). Por otro lado, al S de la Península de Arauco, actúan fallas de rumbo NW y acomodan acortamiento oblicuo sinistral. Por lo tanto, existen dos dominios cinemáticos en la costa, y están activos desde el Plioceno Tardío (Melnick *et al.*, 2006a).

2.6. Antecedentes estructurales locales

Niemeyer y Muñoz (1983) destacan pliegues amplios con ejes de rumbo NS y fallas inversas NS (Figura 2.1), resultado de la tectónica compresiva que afectó a las formaciones Cura-Mallín y Trapa-Trapa, atribuible a la fase orogénica Quechua (Mioceno Superior).

Por su parte, Radic *et al.* (2010) realiza un análisis tectonoestratigráfico de las cuencas cenozoicas, reconociendo una clara coincidencia espacial entre estructuras de primer orden pertenecientes a estas cuencas y la distribución del volcanismo plio-pleistoceno, donde las zonas de acomodación estructural entre dos subcuencas constituyeron zonas de debilidad que favorecieron el volcanismo y magmatismo en los complejos volcánicos Nevados de Chillán y Copahue-Callaqui. En la zona de estudio se encontraría el borde pasivo de una de las

subcuencas (Figura 2.1), por lo que Radic *et al.* (2010) infiere fallas extensionales posteriormente invertidas de orientación NS entre Antuco y la localidad de Trupán.

Melnick. (2003 y 2006a) analiza la tectónica actual mediante la descripción de un perfil sísmico de reflexión relevado bajo el cuerpo de la Laguna de la Laja, en el cual interpreta fallas normales afectando a los sedimentos holocenos lacustres. Complementando esto con observaciones de campo, interpretaciones de fotografías aéreas y DEMs topográficos y batimétricos, infiere que esta cuenca se ha formado en respuesta a extensión, generando el Sistema de Falla Laguna de la Laja (SFLL) (Figura 2.2) y, según García Morabito y Folguera (2005), sería equivalente a las cuencas de Loncopué y Biobío-Aluminé (Figura 2.2), de la cual particularmente representaría su continuación directa hacia el N.

Por su parte, Arancibia *et al.* (2009) sugiere que esta parte del arco volcánico ha experimentado una deformación transtensional dextral particionada, basándose en interpretación de imágenes satelitales y evidencias de terreno. La partición se manifestaría en fallas NS preferentemente normales con una pequeña componente de rumbo dextral (Figura 2.2). Además, menciona que los lineamientos NE más importantes corresponden a la alineación del grupo volcánico Sierra Velluda-Antuco, al enjambre de diques en Cerro Cóndor y a conos adventicios del Volcán Antuco.

3. HIDROLOGIA

3.1 Generalidades de aguas subterráneas

Los flujos de agua subterránea se encuentran intrínsecamente relacionados a los cuerpos de aguas superficiales. La interacción entre agua subterránea y agua superficial es una característica muy común de observar en todo tipo de ambientes (Winter, 1999).

3.2 Unidades Hidrogeológicas

En el área de estudio se definen 3 unidades hidrogeológicas, las cuales se clasifican de acuerdo a su litología, porosidades estimadas y conductividad hidráulica inferidas.

3.2.1 Unidades volcánico-sedimentarias del Paleogeno-Neogeno

Las unidades Hidrogeológicas principales conformadas por las formaciones Cura-Mallín y Trapa-Trapa. Formación Cura-Mallín compuesta por sus dos miembros, el inferior, Río Queuco, con potencias estimadas entre 520-900 m y litológicamente corresponde principalmente a rocas volcanoclásticas tales como: tobas brechosas, tobas finas y tobas arenosas, con algunas intercalaciones de conglomerados, areniscas, y muy subordinadamente, andesitas. (Niemeyer y Muñoz, 1983). El Miembro Superior, Malla-Malla, con una potencia estimada entre 600-700 m. y se encuentra compuesta litológicamente principalmente por areniscas, areniscas conglomerádicas y lutitas, con algunas intercalaciones de calizas lacustres y de horizontes carbonosos. (Niemeyer y Muñoz, 1983).

La Formación Trapa-Trapa por su parte con una potencia estimada de 1500 m. se encuentra conformada principalmente por aglomerados volcánicos, brechas volcánicas, andesitas basálticas, andesitas, y, de forma subordinada, dacitas. (Niemeyer y Muñoz, 1983)

Estructuralmente ambas unidades se encuentran afectadas por pliegues de gran envergadura, y del mismo modo se encuentran afectadas por fallas normales las cuales afecta a estas unidades hidrogeológicas.

Se estiman porosidades promedio de las tobas entre 11 - 14% y la conductividad hidráulica entre 10^{-9} - 10^2 m/día. (Back y otros, 1988)

Para las lavas basálticas la porosidad efectiva varía dependiendo de la cantidad de vesículas en estas, por lo que es mayor que 5% (Back y otros, 1988). Los valores para la conductividad hidráulica varían entre 10^{-6} – 10^{-3} m/día (Sanders, 1998)

Se estima una porosidad media de los conglomerados 38 – 45%. La conductividad hidráulica para los conglomerados se estima entre 50– 250 m/día (Freeze y Cherry 1979).

Para esta unidad se estima entonces una porosidad efectiva entre 10 – 45% y una conductividad hidráulica entre 10^{-9} – 10^2 m/día

3.2.2 Complejo volcánico Antuco

La composición principalmente basáltica y andesítico-basáltica, su actividad comenzó a principios del Pleistoceno Superior. (Thiele y otros, 1998). Presenta lavas con estructuras leveé y Caterpillar, las más recientes estructuras corresponden a lavas tipo aá, cordadas y de tubo.

Los basaltos cuaternarios, entre los cuales se encuentran aquellos de la barrera de la Laguna de la Laja, presentan una conductividad hidráulica entre $0,1 - 10^6$ m/día y la escoria basáltica entre 0,001 y 1000 m/día. (Sanders, 1998)

3.2.3 Depósitos No Consolidados recientes.

Estos son descritos anteriormente como aquellos que se encuentran moderadamente consolidados a no consolidados, de orígenes tanto aluvial, fluvial, lacustre, piroclástico y lahárico. Los depósitos fluviales corresponden a terrazas compuestas de gravas, gravas arenosas gruesas, gravas arenosas y gravas gruesas con intercalaciones de arenas y arenas con bolones. Los depósitos de origen piroclástico están compuestos de arenas negras basálticas y gravas muy finas angulosas, ceniza y un porcentaje menor de fragmentos escoriáceos y pumíceos, junto con líticos variados. Los de origen aluvial están conformados por bloques, clastos angulosos y fragmentos menores de rocas trituradas dentro de una matriz de molienda, que presenta una consolidación moderada a baja intercaladas con niveles de gravas. Ocasionalmente pueden encontrarse bloques mayores inmersos. Gravas y bolones muy mal seleccionados de aspecto caótico con bolones de 1m o más de diámetro.

La porosidad de los materiales sedimentarios no consolidados es elevada. La porosidad efectiva presenta valores promedio para esta unidad de 32 – 36 %. Los valores promedio para conductividad hidráulica varían entre 2900 – 16500 m/día (Sanders, 1998)

3.3 Laguna de la Laja

La Laguna de la Laja con 33 km de longitud y un ancho medio de 3 km, una profundidad media de 75 m con respecto a la cota 1.368 m y una superficie aproximada de 851 km², corresponde uno de los cuerpos de agua de mayor importancia en la región del Biobío y es el embalse natural más grande de Chile con una capacidad de 5.582 Mm³ (DGA,2016c), debido a esto tiene una gran relevancia, para la agricultura, el turismo y la generación de energía eléctrica.

La temperatura juega un rol muy importante en el desarrollo del régimen hidrológico local, esto es debido a que, si bien el afluente principal en la cuenca es de carácter nival, es frecuente que ocurran

crecidas de carácter pluvial, por elevación de la isoterma cero por lo tanto el aporte de la cuenca es de carácter pluvio-nival.

El caudal medio de la hoya afluente es de $66.6 \text{ m}^3/\text{s}$ y se debe principalmente a dos fuentes, la más importante corresponde a sus afluentes naturales conformados por los deshielos de la cordillera. La segunda fuente de la laguna es la captación Alto Polcura. El caudal medio efluente es de $60 \text{ m}^3/\text{s}$, y esta descarga se realiza por dos medios, la bocatoma de la Central Hidroeléctrica El Toro con un caudal medio anual de $39,6 \text{ m}^3/\text{s}$ y la infiltración debido a la naturaleza geológica de la barrera de la Laguna de la Laja, estimado en un caudal medio anual de $27 \text{ m}^3/\text{s}$ (Mardones y Vargas, 2005). Estas filtraciones afloran en los Ojos de Agua.

El historial en la producción hidroeléctrica en el sistema lacustre se ha desarrollado progresivamente desde 1948, año en el que se construye la Central Abanico, central hidroeléctrica de pasada de propiedad de ENDESA, la cual utiliza las filtraciones de Laguna de la Laja, luego en 1953 se construye un “vertedero de excedentes” frente a la laguna con una cota de 1368 m s.n.m., y un sistema de compuertas y una pileta de vaciado para realizar posteriores obras. En el año 1973 entra en funcionamiento la Central Hidroeléctrica El Toro, la cual extrae agua directamente de la laguna y son posteriormente vertidas en el valle del río Polcura, Luego en 1977 se habilita la Captación Alto Polcura, que permite traspasar agua de la zona alta de la cuenca del río Polcura hacia la Laguna de la Laja. Entre 1981 y 1998 entran en funcionamiento las centrales Antuco y Rucúe las cuales se encuentran río abajo, como se puede observar en el Figura 3.1

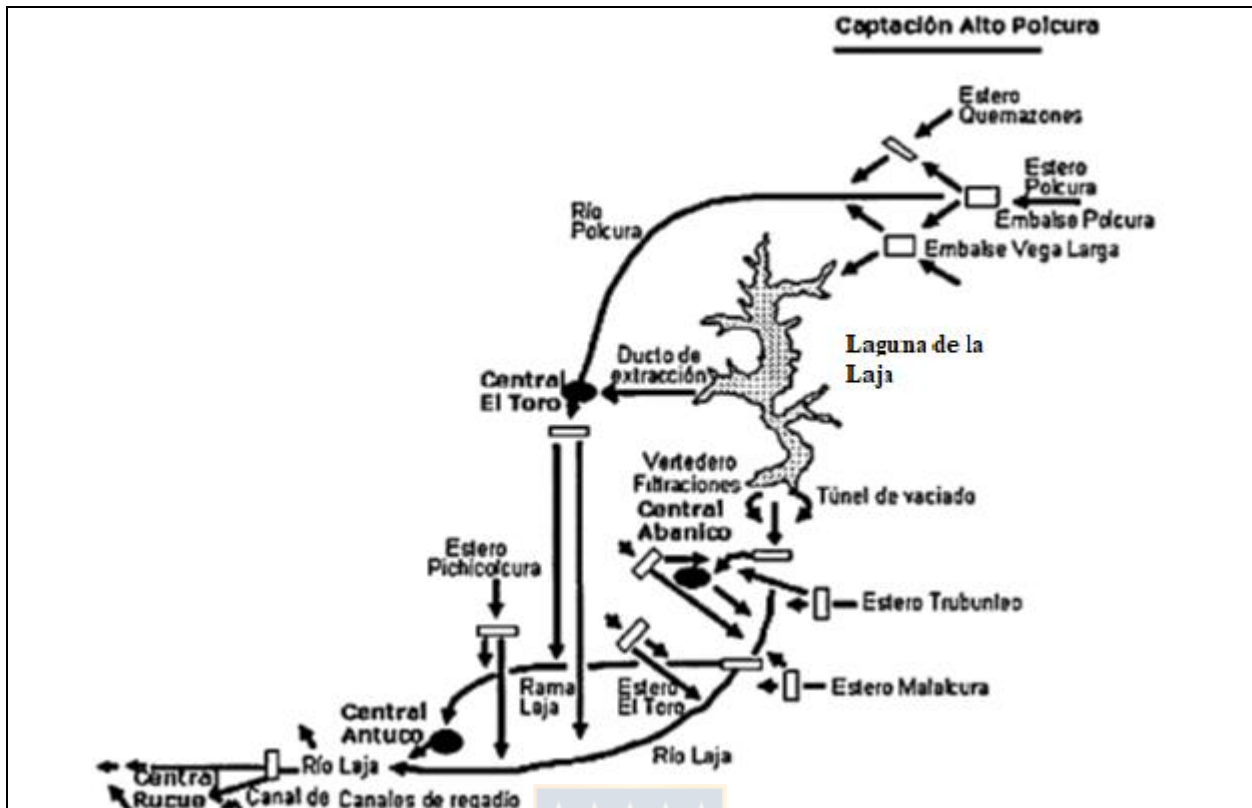


Figura 3.1. Manejo Hidrológico Laguna de La Laja (Mardones y Vargas, 2005)

Los efectos hidrológicos de la producción hidroeléctrica en la hoya del Laja han sido ampliamente documentados, en cuanto a sus redes hidrográficas, estas han sido profundamente intervenidas, y están siendo reemplazadas por pequeños embalses, desvíos, ductos y canales. En cuanto al sistema lacustre, la producción hidroeléctrica afecta directamente la cota del espejo de agua, al analizar la variación de esta en comparación con la cota 1.368 m s. n.m., se observan 3 etapas (Figura 3.2), primera etapa entre 1941-1958: “el estado natural” de la Laguna, de lo cual se deduce que la Central Abanico desde que fue construida en 1948 no genera una alteración del régimen hidrológico, luego entre 1958-1972 entra en funcionamiento el túnel de vaciado, finalmente se identifica un periodo entre 1973-1999 en el cual entra en vigencia la Central El Toro (Mardones y Vargas, 2005).

En esta primera etapa, la laguna alcanza una cota promedio de 1.363 m, periodo en el cual el nivel medio es más alto, durante el segundo periodo, disminuye a un promedio 1.345 m, una disminución considerable de 18 m aproximadamente debido a los túneles de vaciamiento, luego en el tercer periodo disminuye hasta un promedio de 1.336 m, este periodo coincide con fuertes variaciones pluviométricas, las cuales junto con el funcionamiento de la Central El Toro, resultaron en una

notable disminución en la cota del nivel de la laguna, sin embargo esta tendencia es invertida, debido al trasvase de cuenca en 1977 de la Captacion Alto Polcura.

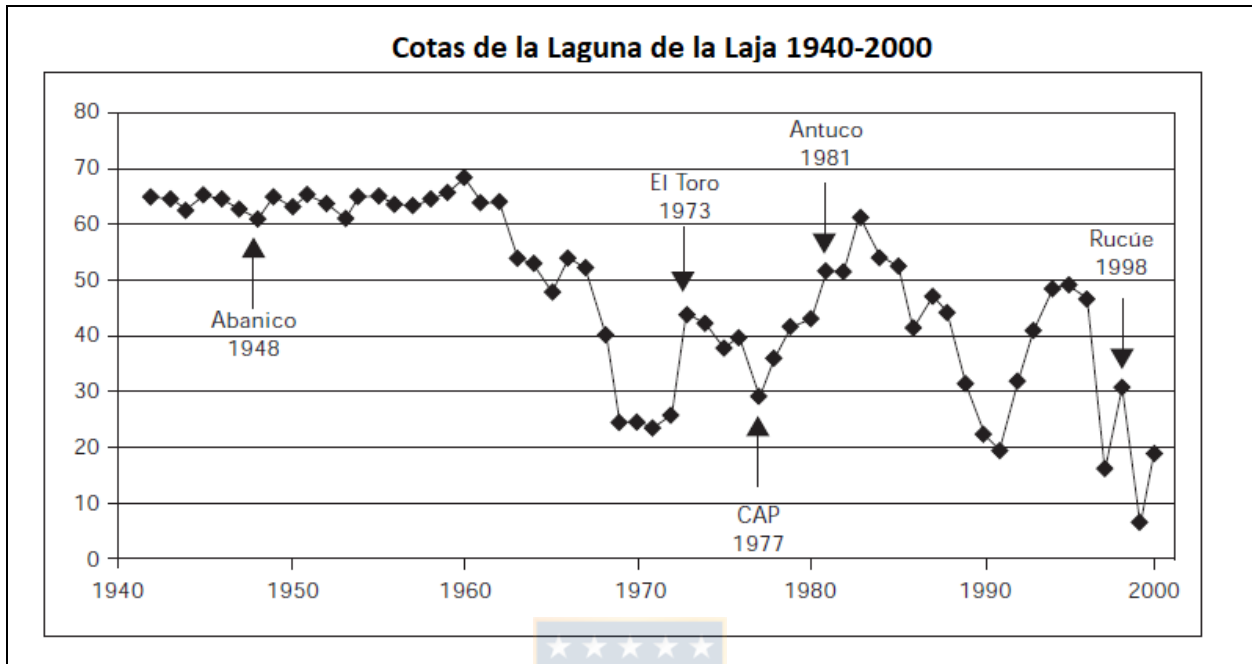


Figura 3.2. variación del nivel de espejo de agua (Mardones y Vargas, 2005)

Es decir que, durante los últimos 60 años, la laguna ha sufrido numerosos descensos del nivel alcanzando un promedio de 27 m, sin embargo, esta disminución no ha producido una migración del punto en el cual afloran las aguas, solo ha variado el caudal de esta.

3.4 Filtraciones de la Laguna de la Laja

Las filtraciones se deben principalmente a la naturaleza volcánica de la barrera de la Laguna del Laja, es por esto que estas se concentran predominantemente en el sector llamado Ojos de Agua, afloran en forma de saltos, “Salto El Torbellino” y “Las Chilcas” (Fotografía 3.3.) Ubicado aguas arriba de la bocatoma Abanico, y a 4 km aproximadamente del sector “embarcaderos” donde se encuentra la Laguna de la Laja.



Fotografía 3.3. Salto Las Chilcas y Salto El Torbellino

Los Ojos de Agua, se encuentran ubicados en un contacto en discordancia entre rocas de la Formación Cura-Mallín, rocas grises y plegadas, y las coladas de lava de la subunidad Antuco II-2 (Qvall2), el contacto entre ambas unidades genera un plano de debilidad, que permite la infiltración de las aguas provenientes de la Laguna de la Laja, las coladas de lava están compuestas por diversos niveles de rocas basálticas con fenocristales de olivino y clinopiroxeno, intercaladas por basaltos escoriáceos, y basalto que presentan fracturas, por lo tanto con una alta porosidad.

El contacto entre estas dos unidades también puede observarse en la zona “embarcaderos” (3.4) próxima al cuerpo de agua principal, zona en la cual destaca la presencia de la unidad volcánica reciente, como roca más porosa, con rocas de la Formación Cura-Mallín, de carácter más impermeable.



Fotografía 3.4. Contacto entre rocas de subunidad Qvall-2 (izquierda) y rocas de Formación Cura-Mallín. (derecha)

Analizando los caudales de filtración y comparándolos con el nivel del espejo de agua de la laguna pareciera evidente que existe una relación entre ambas. Debido a esta relación se establece la denominada Ley de filtraciones.

3.5 Ley de filtraciones

En el año 1958 la dirección de Riego, que actualmente es llamada Dirección de Obras Hidráulicas, y ENDESA firmaron un convenio en el cual se establecen normas para la explotación del recurso hídrico, a partir de la cual en una revisión se establece la “Ley de filtraciones “(DOH,2007) esta permitiría mantener estadísticas homogéneas de los datos, con los cuales se pueden realizar balances entre los caudales disponibles en la Laguna y en el Rio Laja. En esta “ley” se propone un

modelo, que explica cuantitativamente la relación entre el caudal infiltrado y la cota del nivel de la Laguna sin embargo no es claro en describir como es el flujo del agua que pasa por la barrera, es decir hay una relación entre cota y caudal directa e inmediata, sin considerar un tiempo de residencia en el medio pese a esto la ley ha funcionado bien para estimar el caudal de filtración.

A partir del convenio de 1958 se deriva a que el caudal de filtración será calculado por la formula siguiente, “Ecuación ENDESA”:

$$Q_{Filtraciones} = 2,26289 * E^{-8} * Cota^4 - 3,11805 * E^{-5} * Cota^3 - 0,11231428 * Cota^2 + 251,6687658 * Cota - 133471,2057$$

Por otro lado, una investigación realizada por “conicic-bf Ingenieros Civiles Consultores Ltda” encargado por ENDESA titulada “Estudio hidrogeológico río y Lago Laja y batimetría Lago Laja VIII Región del Biobío” (Conicicbf, 2014). En el cual se analizaron los datos de la cota media mensual del cuerpo de agua (Anexo I. Tabla 3), y datos filtraciones otorgados por ENDESA entre los años 1955-2014, (Anexo I. Tabla 4.).

Usando los datos del nivel medio del espejo de agua, con la formula “Q filtraciones”, propuesta por Endesa, se obtiene un caudal de filtraciones calculado (Anexo I. Tabla 5.) estos si bien son cercanos a las filtraciones reales, estas se verían mejor reflejadas con las siguientes ecuaciones:

Cota entre 1.362 y 1.369 m s.n.m.

$$QF = 8,44 * 10^{-3} * (Cota - 1.290)^{2,000}$$

Cota entre 1.340 y 1.362 m s.n.m.

$$QF = 9,74 * 10^{-2} * (Cota - 1.275)^{1,370}$$

Cota entre 1.220 y 1.340 m s.n.m.

$$QF = 9,26 * 10^{-3} * (Cota - 1.220)^{1,684}$$

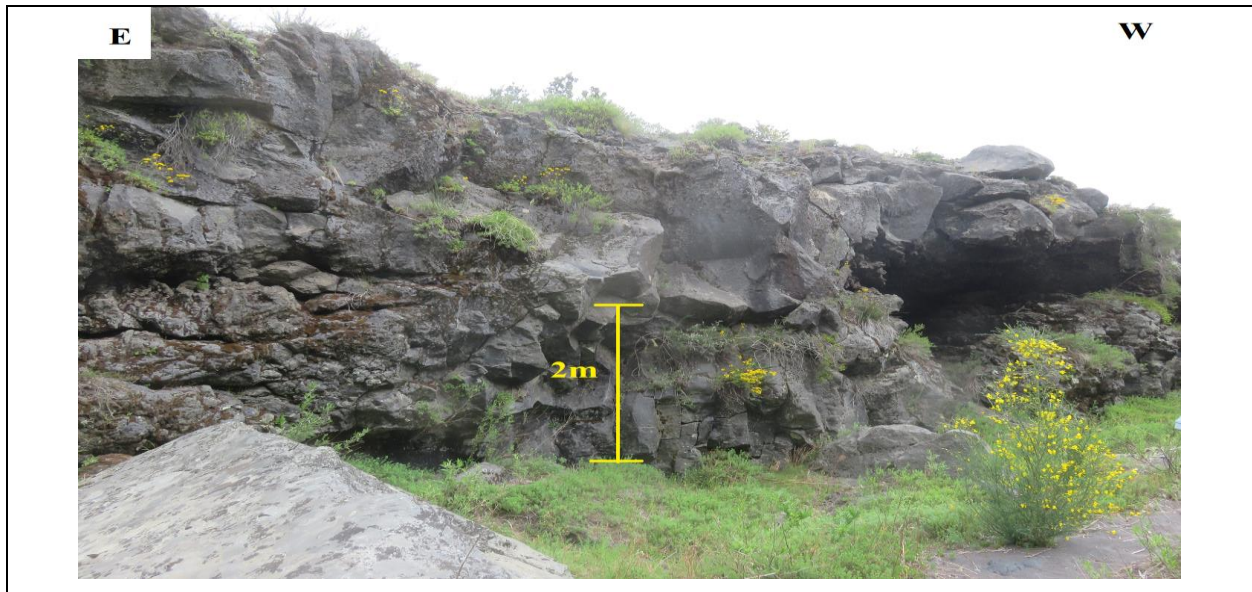
En la cual, QF: Caudal de filtración [m³ /s]; Cota: cota del nivel de agua en la laguna [m s.n.m.].

Con esta “Ecuación Ingendesa”, se calcula un Caudal de filtración (Anexo I. Tabla 5), si uno compara los valores obtenidos por ambas formulas con el valor proporcionada por ENDESA, se observa que el margen de error es mucho menor con la “Ecuacion Ingendesa (Anexo I. Tabla 8.)

En el estudio realizado por la agencia internacional de energía atómica, de filtraciones de Laguna de la Laja en 1989 (Plata et al., 1989), se analizaron mediante la inyección de una serie de trazadores en el cuerpo de agua. Desde trazadores radioactivos a fluorescentes, con la intención de investigar la correcta relación entre cuerpo de agua y la zona llamada “Ojos de Agua”, el resultado más interesante se obtuvo con los ensayos de trazadores radioactivos de “tritio” en el cual al realizar un seguimiento base, para poder comparar con la concentración de tritio posterior a la inyección, estiman un tiempo de residencia y transmisión de agua desde el cuerpo de agua de alrededor de 2 a 3 días hasta llegar a los “Ojos de Agua”, lo cual resulta muy rápido para una distancia de 4 km, es decir presentan conductividades hidráulicas, de basaltos fracturados en el orden $0,1 - 10^6$ m/día (Sanders, 1998), más que a basaltos sin fracturar, en los cuales la conductividad hidráulica varía en torno a los 10^{-6} a 10^{-3} m/día (Sanders, 1998), por lo tanto podría deberse a que el flujo es por fracturas. Es decir que el medio por el cual se moviliza el recurso hídrico es principalmente por porosidad secundarias, en vez de porosidad primaria.

3.6 Análisis de las fracturas de la barrera

La barrera de la Laguna de la Laja, se encuentra conformada por rocas volcánicas, en particular se encuentra compuesta por una serie de coladas de lava de la subunidad Antuco II-2 (Fotografía 3.5.), de composición basáltica, caracterizada por niveles escoriáceos, niveles masivos con pocas burbujas y una gran densidad de fracturas.



Fotografía 3.5. Colada de Lava basáltica con niveles escoriáceos, perteneciente a la barrera.

Para evaluar correctamente el grado de fracturamiento en el macizo rocoso se realiza una caracterización de redes de fracturas, que comprende la obtención de datos geométricos desde familias de discontinuidades y su subsecuente análisis para encontrar distribuciones estadísticas y relaciones entre parámetros (Einstein and Baecher, 1983). Los métodos principales para la caracterización de redes de fracturas en afloramientos son la línea de detalle y ventana de mapeo.

Se identificaron 10 áreas de discontinuidades representativas, 8 de estas zonas estructurales corresponden a la barrera, y los 2 restantes pertenecen a rocas de la Formación Cura-Mallín del sector “embarcaderos” estas representarían al “basamento”. a partir de los cuales se procedió a documentar datos de fallas y grietas a través de un mapeo estructural de estos puntos de interés con la finalidad de analizar las “redes de fracturas discretas” acotadas en áreas de 2x2 metros de largo y ancho.

En cada una de estas áreas se realizaron líneas de detalle, técnica utilizada debido a su relativa facilidad de empleo y confiabilidad, consiste en trazar una línea sobre la superficie de un afloramiento, para luego medir y describir distintos parámetros como densidad, intensidad, largo, espaciamiento, presencia de relleno, de las fracturas intersecadas por la línea dibujada (Priest y Hudson, 1981) estos datos se registraron en tablas (“Anexo II y Anexo III”),

Estos datos permitirían analizar una DFN o red de fracturas discretas, por sus siglas en inglés. Estos son modelos tridimensionales utilizados para simular estocásticamente, es decir de forma no determinista, una población interconectada de fracturas individuales.

3.7 Análisis de los datos

- Abundancia de fracturas

Se analiza mediante el método de secciones transversales, el cual solo permite estimar una frecuencia de fractura global de las estructuras, para realizar estos análisis se revisan el factor P_{21} , este corresponde a una medida de abundancia de fracturas en un plano bidimensional, y se calcula como la división entre el número de fracturas y el área. Generalmente medida en un cuadrado de 2 metros x 2 metros. Y también se mide el factor P_{10} , en cual se trazan líneas imaginarias, y se

revisa la división entre el número de fracturas, y el largo del trazado imaginario como se observa en la figura 3.6. Tanto los indicadores de P_{10} y P_{21} son indicadores de “intensidad de fracturas”

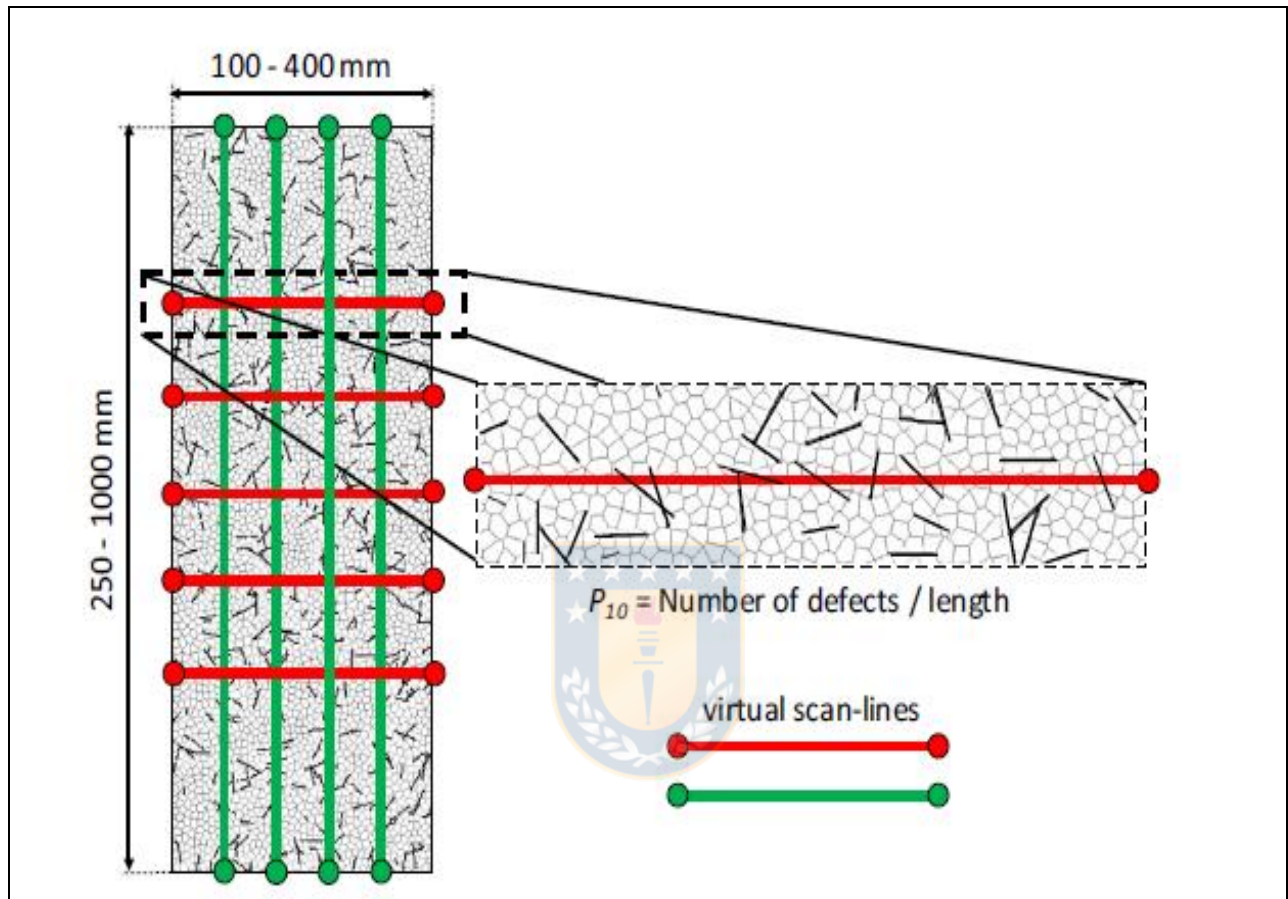


Figura 3.6. Resumen de P_{10} de las estructuras menores o iguales a 2 m.

En el caso de las medidas de P_{10} al realizar las medidas en áreas de 2 metros de alto por 2 metros de largo, se trazaron trazos imaginarios cada 0.5 metros, permitiendo obtener hasta para un mismo sitio estructural, hasta 6 datos de P_{10} , como se observa en el (Anexo IV). Y los resultados son los siguientes

Punto B1			
Fracturas < 2 m	Eje	P10 (f/m)	P21 (f/m ²)
	X ₁	2.5	5.5
	X ₂	1	
	X ₃	2	
	Y ₁	2	
	Y ₂	3	
	Y ₃	3.5	

Punto B2			
Fracturas < 2 m	Eje	P10 (f/m)	P21 (f/m ²)
	X ₁	1.5	4.0
	X ₂	1.5	
	X ₃	1	
	Y ₁	1.5	
	Y ₂	2	
	Y ₃	2	

Punto B3			
Fracturas < 2 m	Eje	P10 (f/m)	P21 (f/m ²)
	X ₁	0.5	1.25
	X ₂	1	
	X ₃	0.5	
	Y ₁	0.5	
	Y ₂	0.5	
	Y ₃	2	

Punto B4			
Fracturas < 2 m	Eje	P10 (f/m)	P21 (f/m ²)
	X ₁	1	2.5
	X ₂	1	
	X ₃	1	
	Y ₁	1	
	Y ₂	1.5	
	Y ₃	1.5	

Punto B5			
Fracturas < 2 m	Eje	P10 (f/m)	P21 (f/m ²)
	X ₁	1	1.5
	X ₂	0.5	
	X ₃	0.5	
	Y ₁	2	
	Y ₂	0.5	
	Y ₃	0.5	

Punto B6			
Fracturas < 2 m	Eje	P10 (f/m)	P21 (f/m ²)
	X ₁	3	2.5
	X ₂	2.5	
	X ₃	1	
	Y ₁	0.5	
	Y ₂	1.5	
	Y ₃	3	

Punto B7			
Fracturas < 2 m	Eje	P10 (f/m)	P21 (f/m ²)
	X ₁	2	3.25
	X ₂	2	
	X ₃	3.5	
	Y ₁	1	
	Y ₂	1	
	Y ₃	1.5	

Punto B8			
Fracturas < 2 m	Eje	P10 (f/m)	P21 (f/m ²)
	X ₁	0.5	3.75
	X ₂	1	
	X ₃	0.5	
	Y ₁	2	
	Y ₂	2.5	
	Y ₃	2.5	

Punto B9			
Fracturas < 2 m	Eje	P10 (f/m)	P21 (f/m ²)
	X ₁	0.5	2
	X ₂	0	
	X ₃	1	
	Y ₁	1.5	
	Y ₂	0.5	
	Y ₃	0	

Punto B10			
Fracturas < 2 m	Eje	P10 (f/m)	P21 (f/m ²)
	X ₁	1	1.5
	X ₂	1	
	X ₃	1	
	Y ₁	1	
	Y ₂	1	
	Y ₃	0	

- Orientación de fracturas

La orientación de estas fracturas es analizada mediante diagramas de polos y diagramas de roseta, utilizando el software “Stereonet”, con el objetivo de dilucidar si se reconocen orientaciones preferenciales de fracturas (Anexo V), las cuales podrían indicar un origen tectónico de las fracturas, debido a que responden esfuerzos, por otro lado, en el caso de no reconocerse orientación preferencial, indicaría que las fracturas serian aleatorias, por lo tanto, podría deberse a enfriamiento de lavas.

Al analizar los resultados pareciera indicar set de diaclasas, formadas principalmente por disyunción columnar, más que fracturas producidas por esfuerzos tectónicos, si bien no se reconocen múltiples direcciones preferenciales, destaca 1 en particular dirección NS (Figura 3.7), Esta disyunción columnar se produce cuando las lavas son enfriadas lentamente generando set de diaclasas y porosidades secundarias en la unidad los cuales son ideales para el flujo de agua, debido a que presentan una alta conductibilidad hidráulica y a su vez una gran porosidad secundaria.

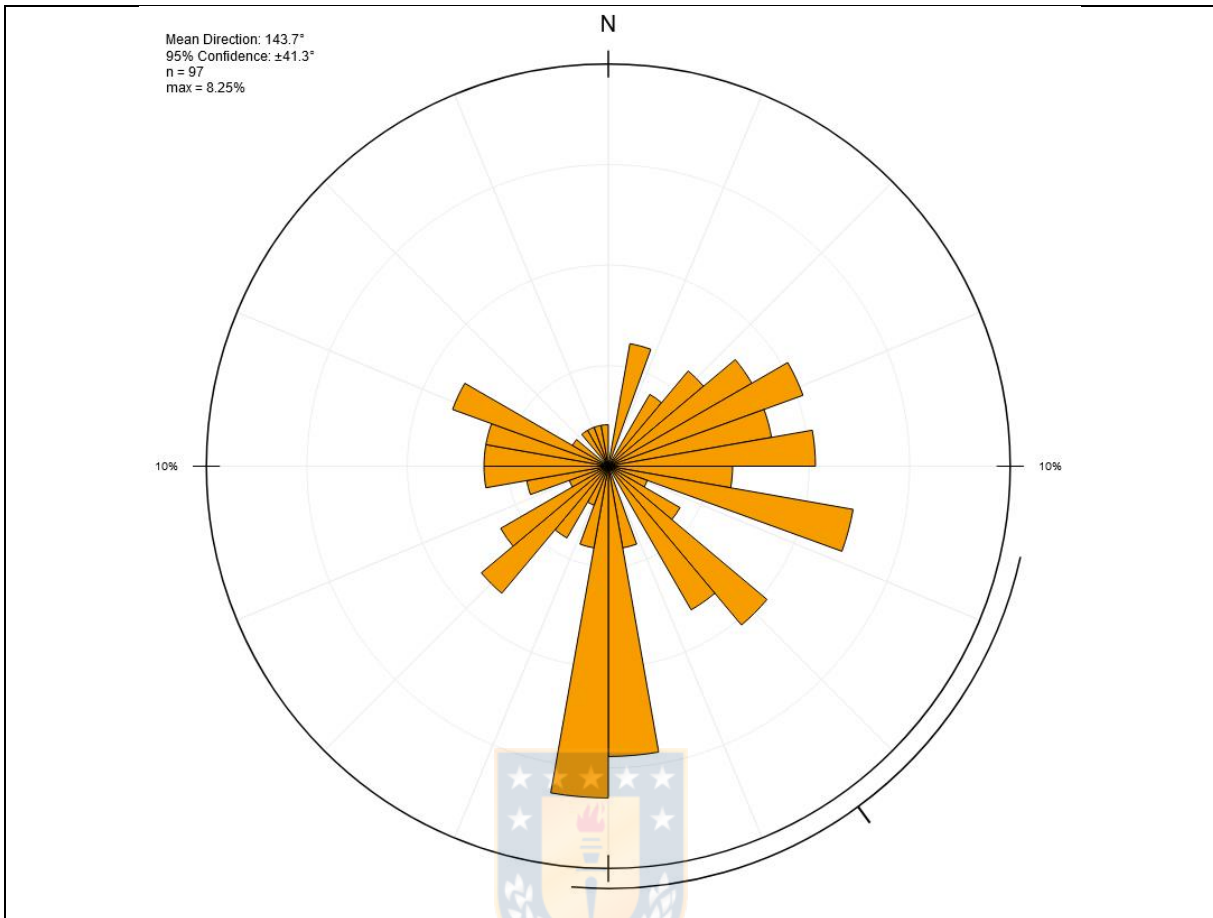


Figura 3.7. Diagrama de roseta correspondiente todos los datos del sitio B1 hasta el B8, de la unidad de basaltos correspondiente a la barrera.

Mediante el Análisis de Orientación de fracturas y de la frecuencia de estas, queda en evidencia que la unidad correspondiente a la barrera de la laguna de la Laja, es una unidad con una conductividad hidráulica muy importante.

3.8 Limitaciones del estudio

Las principales limitaciones del trabajo realizado, están relacionadas al acceso a ciertas informaciones, por ejemplo, datos de niveles piezométricos o pozos dentro de la misma barrera, que debido a que es un área protegida, sería extremadamente difícil de conseguir. por otro lado, si bien antiguamente información tal como el nivel de la laguna eran accesibles por internet, con la migración de las plataformas a bases de datos automatizadas con la intención de facilitar el acceso

a ciertas informaciones estas a veces se pierden, por lo tanto, mucha información hay que interpolarla, u operar con datos de años pasados. Lo mismo ocurre con documentos antiguos tales como los generados por la dirección de riego la cual desde 1997 se transforma en dirección de obras hidráulicas.

También actúa de barrera, el acceso a software de pago, los cuales permitirían un mejor análisis estadístico.

4. DISCUSIÓN Y RESULTADOS

El presente estudio representa una recopilación y una reflexión sobre la situación hídrica de la cuenca lacustre que, si bien no es la única manera de evaluar la situación de estas o del sector, es una alternativa considerable y usada en variadas investigaciones.

Se sigue una estructura de trabajo basada en datos reales recopilados tanto bibliográficamente como en terreno, con los cuales se pueden comparar resultados obtenidos.

La laguna de la Laja ha sufrido variaciones importantes en el nivel del espejo de agua en el transcurso de varias décadas, en particular en los periodos 1958 y 1972 con la inauguración del túnel de vaciado, luego en entre 1973- 1977 periodo en el cual Estación El Toro, opera a máxima potencia, y entre 1999 y 2013, periodo de crisis hídrica.

Analizando el descenso del espejo de agua y comparando con propiedades tales como precipitaciones anuales promedio, se concluye que la disminución en el nivel de agua, no se debe exclusivamente factores climáticos, sino más bien a una combinación entre estos y factores antrópicos es decir las significativas variaciones interanuales de cota y volumen responden tanto a la producción hidroeléctrica de centrales tales como la Central El Toro, como a una disminución en precipitaciones anuales promedio y esta disminución tiene a su vez como consecuencia una disminución en el caudal de filtraciones.

Evaluando la frecuencia de fracturas en la unidad litológica que constituye la Barrera de la Laja, se concluye que es una unidad con una buena conductividad hidráulica, principalmente debido su porosidad secundaria, en forma de fracturas.

5. REFERENCIAS

Arumí, J. L., Rivera, D., Muñoz, E. y Billib, M. (2012) Interacciones entre el agua superficial y subterránea en la región del Bío Bío de Chile. *Obras y Proyectos* 12, 4-13.

Back, W.; Rosenshein, J. y Seaber, P. (1988) *Hidrogeology, The geology of North America*, v. O-2: Boulder, Colorado: Geological Society of America. 524p.

Börgel, R. 1983. *Geografía de Chile. Tomo II. Geomorfología*, p. 23-24, 85-113. Instituto Geográfico Milita, Santiago.

Conicicbf, 2014. *Estudio Hidrogeológico Río Y Lago Laja y Batimetría Lago Laja, VIII Región Del Biobío. Informe final*, Santiago, Chile.

CR2.Center for Climate and Resilience Research. 2015. *La megasequía 2010-2015: Una lección para el futuro*. Universidad de Chile, Santiago.

Custodio, E. y Llamas, M. (1986) *Hidrología Subterránea. Vol. I y II*. Ediciones Omega, S. A.

DAVIS, S. N. 1969. Porosity and permeability of natural materials. *Flow Through Porous Media*, ed. R. J. M. De Wiest. Academic Press, New York, pp. 53-89.

DGA (2016c) – *Atlas del Agua. Chile 2016*. Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas, Santiago, Chile.

Díaz, M. 2019. *Aplicación de fotogrametría y termografía aérea como herramienta para la gestión de un tramo del Río*. Tesis para optar al grado de magister en Ingeniería Agrícola con mención en Recursos Hídricos. Udec.

DOH. Guía Para la Explotación del Lago Laja. Gobierno de Chile. Santiago, Chile: Ministerio de Obras Públicas, Dirección de Obras Hidráulicas-Endesa, S.A., 2007, 17 pp

Einstein, H. H., and G. B. Baecher, Probabilistic and statistical methods in engineering geology, *Rock Mech. Rock Eng.*, 16, 39 –72, 1983

ENDESA. Base de datos fluviométricos, pluviométricos, limnimétricos y de producción de energía eléctrica en la cueca del río Laja, periodo 1941-1999. Santiago. 2000.

Figuerola, R. Palma, A. Ruiz, V. Niel, X. 2007. Comparative analysis of biotic indexes used to evaluate water quality in a Mediterranean river of Chile: Chillan River, VIII Region. *Revista Chilena de Historia Natural* 80: 225-242 pp.

Folguera, A.; Melnick, D. y Ramos, V. (2002) Transtensional setting for the Andean Volcanic Arc at 36° to 39°S. *International Symposium on Interaction between volcanoes and their basement and related geological hazard.*

Folguera, A.; Ramos, V.A.; Díaz, G.E.; Hermanns, R. 2006. Miocene to Quaternary deformation of the Guanacos fold-and-thrust belt in the Neuquen Andes between 37° and 37°30'S. *Geological Society Of America*. Vol. 9: 247-267.

Freeze, R. y Cherry, J. (1979) *Groundwater*. Prentice-Hall, 604 pp.

González, A.; González, L.; Silva, A. y Tume, P. (2001) Hidrogeochemical and behaviour of groundwater in the Rio Laja Basin, Bío-Bío Region, Chile. 7° *Internacional Conference on Environmental Science and Technology*. Vol. A. pp. 268-274.

González, A.; González, L. y Tume, P. (2001) Aspectos geológicos, hidrogeológicos e hidrogeoquímicos de la Cuenca del Río Laja, Región del Bío-Bío, Chile. In Congreso Las Caras del Agua Subterránea. Tomo II. pp. 713-719.

González Ferrán, O., & Vergara Martínez, M. (1962). Reconocimiento geológico de la Cordillera de los Andes entre los paralelos 35 y 38 sur. *Anales de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas*, 19(19), Pág. 19-121.

González, L., González, A. y Mardones, M. (2012) –Estudio de la interacción y regulación del sistema hídrico en la cuenca lacustre de laguna de la Laja, región del Biobío, Chile. Congreso Geológico Chileno, 13, Antofagasta, Chile, pp. 783-785.

Lohmar, S. 2000. Estratigrafía y geoquímica del Volcán Antuco y sus depósitos (Andes del Sur, 37° ,25'S). Memoria para optar al Título de Geólogo. Universidad de Concepción. Departamento Ciencias de la Tierra: 184 pp. Concepción.

Mardones, M. (2002) Evolución morfogenética de la Hoya del Río Laja y su incidencia en la geomorfología de la Región del Bío-Bío, Chile. *Revista Geográfica de Chile Terra Australis*. Vol. 47. pp. 97-127.

MARDONES, M., & VARGAS, J. (2021). Efectos hidrológicos de los usos eléctrico y agrícola en la cuenca del río Laja (Chile centro-sur). *Revista De Geografía Norte Grande*, (33), 89–102.

Martínez, P.; Singer B.S.; Moreno, H. y Jicha, B.R. 2017. Volcanologic and petrologic evolution of Antuco-Sierra Velluda, Southern Andes, Chile. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*. Vol. 46: 392-406.

Melnick, D.; Rosenau, M.; Folguera, A. y Echtler, H. 2006b. Neogene tectonic evolution of the Neuquén Andes western flank (37°-39°S). *Geological Society of America*. Vol. 407: 73-95.

Moreno, H.; Varela, J.; Lahsen, A. y Vergara, M. 1984. Estudio Geológico del Grupo Volcánico Antuco-Sierra Velluda. Contrato OICB-03. ENDESA. Informe inédito Universidad de Chile. Departamento de Geología y Geofísica: 164 pp. Santiago.

Niemeyer, H. y Muñoz (1983) Mapas preliminares de Chile. Hoja Laguna de La Laja. Escala 1:250.000. Instituto de Investigaciones Geológicas.

Sarricolea, P.; Herrera-Ossandon, M. (2017) Climatic regionalisation of continental Chile, *Journal of Maps*, 13:2, 66-73

Plata A., Traguen E., Silva A., Gonzalez F., Verni F. Mery H. 1989. Estudio de las Filtraciones del Lago Laja. Informe proyecto CHI/8/016. Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA). Viena, Austria 231 pp.

Priest, S. D., and J. A. Hudson, (1981). Estimation of discontinuity spacing and trace length using scanline surveys: *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences and Geomechanics Abstracts*, v. 18, p. 183–197.

Radic, J. 2010. Las cuencas cenozoicas y su control en el volcanismo de los Complejos Nevados de Chillán y Copahue-Callaqui (Andes del Sur, 36-39°S). *Andean Geology*. Vol. 37: 220-246. Santiago.

Radic, J.P.; Rojas, L.; Carpinelli, A.; Zurita, E. 2002. Evolución tectónica de la cuenca terciaria de Cura-Mallín, región cordillerana chileno argentina (36°30' - 39°00'S). Congreso Geológico Argentino N°15. Actas 3: 233-237.

Ramos, V. y Kay, S. 2006. Overview of the tectonic evolution of the southern Central Andes of Mendoza and Neuquén (35°–39°S latitude). *Geological Society of America*. Vol. 407: 1-17.

Thiele, R.; Moreno, H.; Elgueta, S.; Lahsen, A.; Petit-Breuilh, M. y Rebolledo, S.(1998) Evolución geológico-geomorfológica cuaternaria del tramo superior del valle del río Laja. Revista Geológica Chilena N°25. pp. 229-253.

Vergara, M. y Katsui, Y. 1969. Contribución a la geología y petrología del volcán Antuco, Cordillera de los Andes, Chile Central. Universidad de Chile. Departamento de Geología. Publicación N° 35: 25-47. Santiago.

Zapata, T.; Córscico, S.; Dzelajica, F. y Zamora, G. 2002. La faja plegada y corrida del Agrio: Análisis estructural y su relación con los estratos terciarios de la Cuenca Neuquina Argentina. Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos N° 5. Actas 9: 1-4.



ANEXO I

Anexo I. Tabla 1. Precipitaciones promedio anual en Estación Tucapel, 1976-2014

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

Anexo 1 Tabla 2. Precipitaciones promedio anual en Estación Abanico 1964-1999

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

1990	29,30	47,10	101,90	177,80	230,70	218,80	196,20	303,10	378,10	50,00	63,70	8,50
1991	20,00	10,40	30,60	268,00	633,80	267,50	308,70	147,90	244,20	130,70	63,70	191,20
1992	15,00	9,00	53,40	218,80	962,80	493,00	197,70	148,10	229,00	216,10	50,70	89,60
1993	80,50	1,00	133,50	223,70	517,90	703,80	357,10	295,50	97,40	182,10	27,90	89,00
1994	14,90	4,00	41,10	261,20	153,40	543,40	438,70	69,70	328,90	221,20	92,00	93,40
1995	16,10	17,50	42,10	197,10	106,50	593,00	513,30	304,30	67,00	105,70	26,70	0,00
1996	5,00	35,00	156,10	186,00	192,40	236,00	77,80	253,70	56,30	96,50	86,50	24,80
1997	35,90	56,90	11,60	336,00	266,60	562,20	296,50	200,10	267,20	239,00	153,30	47,50
1998	8,90	18,00	26,90	130,40	159,20	138,90	130,20	161,60	106,20	2,90	50,40	38,80
1999	15,50	42,70	5,80	63,80	358,70	535,60	90,80	338,30	292,70	40,60	14,60	9,20



Anexo I Tabla 3. Cota Media Mensual Laguna de la Laja.

AÑO HIDROLÓGIC O	ABR (m s. n. m.)	MAY (m s. n. m.)	JUN (m s. n. m.)	JUL (m s. n. m.)	AGO (m s. n. m.)	SEP (m s. n. m.)	OCT (m s. n. m.)	NOV (m s. n. m.)	DIC (m s. n. m.)	ENE (m s. n. m.)	FEB (m s. n. m.)	MAR (m s. n. m.)	Promedio
1955/1956	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1364,3	1363,8	-
1956/1957	1363,6	1363,6	1363,6	1363,5	1363,5	1363,2	1363,5	1364,4	1364,9	1364,5	1363,7	1362,9	1363,7
1957/1958	1362,1	1361,6	1361,5	1361,6	1362,2	1362,6	1363,0	1364,2	1365,3	1365,4	1364,8	1363,9	1363,2
1958/1959	1362,9	1362,4	1362,8	1364,3	1365,3	1365,2	1365,3	1366,3	1366,9	1366,6	1366,0	1365,1	1364,9
1959/1960	1365,1	1365,6	1366,0	1366,3	1366,4	1366,6	1367,4	1368,2	1368,9	1368,9	1368,3	1367,3	1367,1
1960/1961	1366,2	1365,1	1364,5	1364,4	1364,0	1363,1	1363,1	1364,3	1365,1	1364,9	1364,2	1363,4	1364,4
1961/1962	1362,3	1361,1	1360,3	1360,4	1360,8	1361,0	1361,7	1363,3	1364,5	1364,7	1364,1	1363,3	1362,3
1962/1963	1362,1	1360,6	1359,5	1358,5	1357,8	1357,5	1357,3	1357,1	1356,5	1355,1	1353,4	1351,5	1357,2
1963/1964	1349,8	1348,5	1347,8	1347,3	1347,0	1346,9	1347,7	1349,7	1352,1	1353,3	1353,0	1352,2	1349,6
1964/1965	1351,1	1349,4	1347,7	1346,4	1345,4	1345,0	1345,5	1346,8	1347,9	1348,3	1347,9	1347,0	1347,4
1965/1966	1345,9	1345,6	1346,8	1347,9	1348,4	1348,4	1348,6	1350,5	1353,2	1354,3	1353,9	1352,9	1349,7
1966/1967	1351,5	1350,3	1349,2	1348,9	1348,5	1347,5	1347,5	1348,6	1350,6	1352,0	1352,0	1351,0	1349,8
1967/1968	1349,5	1347,8	1346,1	1344,1	1342,1	1340,4	1340,1	1341,4	1342,1	1341,2	1339,5	1337,5	1342,6
1968/1969	1335,2	1332,6	1330,5	1329,0	1328,0	1327,1	1326,6	1326,3	1326,0	1325,3	1324,3	1322,8	1327,8
1969/1970	1320,7	1318,9	1319,7	1321,0	1321,3	1321,7	1321,7	1322,8	1324,7	1325,3	1324,2	1322,3	1322,0
1970/1971	1320,5	1318,6	1317,0	1316,7	1316,8	1317,0	1317,8	1320,0	1322,6	1323,8	1323,2	1321,4	1319,6
1971/1972	1319,0	1318,2	1318,1	1318,4	1319,7	1320,5	1321,7	1323,9	1325,6	1326,1	1325,8	1325,0	1321,8
1972/1973	1323,8	1325,4	1329,7	1332,2	1334,6	1336,9	1338,5	1341,0	1343,3	1344,3	1344,3	1343,8	1336,5
1973/1974	1343,2	1342,9	1343,0	1343,4	1343,4	1343,1	1343,1	1343,7	1343,9	1343,3	1342,5	1341,6	1343,1
1974/1975	1340,3	1338,9	1338,4	1338,3	1337,4	1336,5	1336,6	1337,8	1338,7	1338,6	1337,8	1336,5	1338,0
1975/1976	1335,1	1334,5	1334,4	1334,9	1335,2	1334,6	1334,8	1336,9	1339,6	1340,4	1339,4	1337,9	1336,5
1976/1977	1336,1	1334,0	1332,6	1331,6	1329,8	1328,1	1327,9	1329,1	1330,1	1330,0	1328,4	1326,0	1330,3
1977/1978	1324,1	1323,1	1322,6	1322,8	1323,5	1324,2	1326,4	1330,7	1334,9	1336,4	1335,8	1334,5	1328,2
1978/1979	1332,8	1331,3	1330,7	1332,3	1334,3	1334,9	1336,8	1339,8	1342,0	1342,5	1341,7	1340,2	1336,6
1979/1980	1338,4	1337,2	1336,2	1335,3	1336,6	1339,1	1340,3	1341,5	1343,3	1343,9	1343,4	1342,7	1339,8
1980/1981	1342,6	1344,8	1348,1	1350,4	1351,5	1351,8	1352,1	1352,3	1352,4	1352,2	1351,5	1350,5	1350,0
1981/1982	1349,4	1350,8	1353,4	1354,3	1354,5	1354,4	1354,3	1354,2	1353,5	1352,3	1350,9	1349,5	1352,6
1982/1983	1348,0	1347,1	1347,6	1349,0	1350,1	1351,4	1353,8	1356,5	1359,3	1361,2	1361,5	1360,5	1353,8
1983/1984	1359,2	1357,8	1357,3	1357,4	1356,7	1355,8	1355,6	1356,3	1356,4	1355,3	1353,4	1351,2	1356,0
1984/1985	1348,9	1346,9	1345,2	1344,7	1344,6	1344,5	1346,2	1349,0	1351,5	1352,6	1351,8	1349,8	1348,0
1985/1986	1347,9	1347,0	1347,2	1347,4	1346,8	1345,6	1345,2	1345,3	1344,6	1342,6	1340,3	1337,9	1344,8

AÑO HIDROLÓGIC O	ABR (m s. n. m.)	MAY (m s. n. m.)	JUN (m s. n. m.)	JUL (m s. n. m.)	AGO (m s. n. m.)	SEP (m s. n. m.)	OCT (m s. n. m.)	NOV (m s. n. m.)	DIC (m s. n. m.)	ENE (m s. n. m.)	FEB (m s. n. m.)	MAR (m s. n. m.)	Promedio
1986/1987	1335,7	1335,9	1338,8	1341,1	1341,9	1342,8	1344,2	1346,1	1347,6	1347,7	1346,0	1343,7	1342,6
1987/1988	1341,1	1338,5	1336,9	1337,3	1338,5	1339,4	1341,4	1344,4	1345,9	1345,2	1343,2	1340,8	1341,1
1988/1989	1338,7	1336,7	1334,6	1332,9	1331,8	1331,1	1331,1	1332,6	1333,8	1332,6	1330,2	1327,6	1332,8
1989/1990	1324,7	1321,4	1318,8	1317,3	1317,0	1317,7	1319,8	1322,7	1324,2	1323,5	1321,7	1319,8	1320,7
1990/1991	1318,6	1318,5	1318,2	1317,3	1317,9	1320,6	1323,2	1323,8	1322,8	1321,2	1319,3	1317,5	1319,9
1991/1992	1316,2	1318,3	1322,4	1324,9	1326,2	1327,2	1328,9	1330,6	1332,0	1332,2	1331,6	1330,0	1326,7
1992/1993	1327,7	1328,1	1330,8	1332,3	1331,9	1331,7	1333,6	1336,9	1340,0	1341,1	1340,0	1337,9	1334,3
1993/1994	1336,1	1336,4	1339,6	1343,0	1345,1	1346,6	1348,1	1349,4	1350,3	1349,9	1348,0	1345,7	1344,8
1994/1995	1343,8	1341,9	1341,2	1342,5	1343,8	1345,0	1347,3	1349,5	1350,9	1350,4	1348,2	1345,5	1345,8
1995/1996	1342,5	1340,0	1339,4	1340,7	1341,4	1342,4	1344,2	1346,5	1348,4	1347,7	1345,0	1342,1	1343,4
1996/1997	1339,2	1336,2	1333,8	1331,6	1328,9	1327,1	1325,6	1323,7	1321,4	1318,2	1314,7	1311,2	1326,0
1997/1998	1308,6	1308,0	1311,0	1315,1	1318,6	1322,7	1325,9	1328,8	1331,0	1331,4	1330,0	1327,0	1321,5
1998/1999	1323,5	1320,0	1317,5	1315,4	1312,8	1311,0	1310,5	1310,0	1308,9	1307,5	1306,0	1304,6	1312,3
1999/2000	1303,4	1303,3	1304,4	1305,7	1307,7	1310,5	1314,2	1318,4	1320,5	1319,7	1318,3	1317,1	1311,9
2000/2001	1315,7	1314,4	1315,4	1318,7	1321,7	1324,1	1326,9	1330,6	1333,5	1335,0	1335,0	1334,0	1325,4
2001/2002	1332,4	1332,3	1334,3	1337,8	1341,1	1342,6	1344,3	1345,9	1346,5	1345,5	1343,4	1341,6	1340,6
2002/2003	1340,1	1339,1	1338,9	1338,8	1340,1	1342,4	1345,5	1349,3	1352,1	1353,1	1352,0	1349,6	1345,1
2003/2004	1346,8	1343,8	1343,4	1345,1	1345,3	1345,0	1345,1	1345,1	1344,1	1342,3	1340,0	1337,3	1343,6
2004/2005	1335,1	1333,1	1332,1	1333,1	1333,4	1333,8	1335,3	1337,0	1338,0	1336,8	1334,2	1331,7	1334,5
2005/2006	1329,5	1328,2	1329,3	1331,8	1334,6	1336,8	1338,7	1341,5	1343,9	1344,6	1343,7	1341,5	1337,0
2006/2007	1339,3	1337,3	1337,6	1341,2	1343,7	1345,0	1346,8	1348,7	1350,1	1349,7	1347,6	1345,0	1344,3
2007/2008	1342,2	1339,2	1336,4	1335,1	1334,5	1333,8	1334,4	1335,8	1336,3	1335,2	1333,2	1330,7	1335,6
2008/2009	1328,7	1329,3	1331,2	1331,9	1333,0	1334,3	1335,4	1336,8	1337,2	1336,0	1334,2	1331,8	1333,3
2009/2010	1328,9	1327,8	1328,2	1328,7	1329,6	1330,9	1332,6	1334,7	1336,0	1335,7	1334,1	1332,0	1331,6
2010/2011	1329,4	1326,4	1324,0	1322,2	1321,2	1321,0	1322,3	1324,6	1325,5	1324,5	1322,7	1320,3	1323,7
2011/2012	1317,9	1316,4	1315,7	1315,5	1315,7	1316,7	1318,8	1321,9	1323,8	1323,2	1321,3	1319,4	1318,9
2012/2013	1317,4	1316,4	1317,5	1318,6	1317,7	1316,9	1316,6	1316,1	1315,7	1315,2	1313,4	1310,8	1316,0

Anexo I. Tabla 4. Estadística de filtraciones proporcionadas por Endesa.

AÑO HIDROLÓGICO	ABR (l/s)	MAY (l/s)	JUN (l/s)	JUL (l/s)	AGO (l/s)	SEP (l/s)	OCT (l/s)	NOV (l/s)	DIC (l/s)	ENE (l/s)	FEB (l/s)	MAR (l/s)	Promedio (l/s)
1955/1956	-	-	-	-	-	-	-	-	-	46,8	46,6	46,0	-
1956/1957	45,7	45,8	45,7	45,6	45,6	45,3	45,6	46,8	47,4	46,8	45,9	44,9	45,9
1957/1958	43,9	43,5	43,4	43,5	44,1	44,5	45,0	46,4	47,8	48,0	47,2	46,1	45,3
1958/1959	44,9	44,3	44,8	46,6	47,9	47,7	47,9	49,1	49,9	49,5	48,7	47,7	47,4
1959/1960	47,6	48,2	48,6	49,1	49,2	49,5	50,5	51,3	51,3	51,3	51,3	50,4	49,9
1960/1961	48,9	47,7	46,8	46,7	46,2	45,1	45,2	46,6	47,6	47,4	46,5	45,5	46,7
1961/1962	44,2	43,1	42,6	42,7	43,0	43,1	43,6	45,3	46,9	47,1	46,4	45,4	44,4
1962/1963	43,9	42,8	42,0	41,3	40,9	40,7	40,6	40,5	40,0	39,1	38,0	36,7	40,5
1963/1964	35,6	34,8	34,3	34,0	33,8	33,7	34,2	35,5	37,1	37,9	37,7	37,2	35,5
1964/1965	36,5	35,3	34,2	33,4	32,8	32,5	32,8	33,7	34,4	34,6	34,4	33,8	34,0
1965/1966	33,1	32,9	33,6	34,4	34,7	34,7	34,8	36,1	37,8	38,6	38,4	37,6	35,5
1966/1967	36,7	35,9	35,2	35,0	34,7	34,1	34,1	34,8	36,1	37,0	37,0	36,4	35,6
1967/1968	35,4	34,3	33,2	31,9	30,7	29,7	29,5	30,2	30,6	30,1	29,2	28,4	31,1
1968/1969	27,4	26,4	25,6	25,0	24,6	24,3	24,0	23,9	23,8	23,6	23,2	22,6	24,5
1969/1970	21,9	21,3	21,5	22,0	22,1	22,2	22,2	22,6	23,4	23,6	23,2	22,4	22,4
1970/1971	21,8	21,1	20,5	20,4	20,4	20,5	20,8	21,6	22,5	23,0	22,8	22,1	21,5
1971/1972	21,3	21,0	20,9	21,0	21,5	21,8	22,2	23,1	23,7	23,8	23,7	23,5	22,3
1972/1973	23,0	23,6	25,3	26,3	27,1	28,2	28,8	30,0	31,4	32,1	32,1	31,8	28,3
1973/1974	31,4	31,1	31,2	31,5	31,5	31,3	31,3	31,7	31,9	31,4	30,9	30,4	31,3
1974/1975	29,6	28,9	28,8	28,7	28,4	28,0	28,0	28,5	28,9	28,9	28,5	27,9	28,6
1975/1976	27,3	27,1	27,1	27,3	27,4	27,2	27,2	28,2	29,2	29,6	29,2	28,6	27,9
1976/1977	27,8	26,9	26,4	26,1	25,3	24,7	24,6	25,0	25,4	25,4	24,8	23,8	25,5
1977/1978	23,1	22,7	22,6	22,6	22,9	23,2	24,0	25,7	27,2	27,9	27,6	27,1	24,7
1978/1979	26,5	25,9	25,7	26,3	27,0	27,3	28,1	29,3	30,6	30,9	30,4	29,5	28,1
1979/1980	28,8	28,3	27,8	27,4	28,0	29,0	29,6	30,3	31,4	31,9	31,5	31,0	29,6
1980/1981	31,0	32,4	34,5	36,0	36,7	36,9	37,1	37,2	37,3	37,2	36,7	36,0	35,7
1981/1982	35,3	36,3	38,0	38,6	38,7	38,6	38,6	38,5	38,1	37,2	36,4	35,4	37,5
1982/1983	34,4	33,9	34,1	35,1	35,8	36,7	38,3	40,0	41,9	43,3	43,4	42,8	38,3
1983/1984	41,8	40,9	40,6	40,6	40,2	39,5	39,4	39,9	40,0	39,2	38,0	36,5	39,7
1984/1985	35,1	33,7	32,6	32,3	32,2	32,2	33,3	35,1	36,7	37,4	36,9	35,6	34,4
1985/1986	34,3	33,8	33,9	34,1	33,7	32,9	32,6	32,7	32,3	30,9	29,6	28,6	32,4

AÑO HIDROLÓGICO	ABR (l/s)	MAY (l/s)	JUN (l/s)	JUL (l/s)	AGO (l/s)	SEP (l/s)	OCT (l/s)	NOV (l/s)	DIC (l/s)	ENE (l/s)	FEB (l/s)	MAR (l/s)	Promedio (l/s)
1986/1987	27,6	27,7	28,9	30,1	30,6	31,1	32,0	33,2	34,2	34,2	33,1	31,7	31,2
1987/1988	30,1	28,8	28,2	28,3	28,8	29,2	30,3	32,1	33,0	32,6	31,3	29,9	30,2
1988/1989	28,9	28,0	27,1	26,5	26,1	25,8	25,8	26,5	26,8	26,4	25,5	24,4	26,5
1989/1990	23,4	22,1	21,2	20,6	20,5	20,8	21,5	22,6	23,2	22,9	22,2	21,6	21,9
1990/1991	21,1	21,1	21,0	20,6	20,8	21,8	22,8	23,0	22,6	22,1	21,4	20,7	21,6
1991/1992	20,3	21,0	22,5	23,5	23,9	24,3	25,0	25,6	26,2	26,3	26,0	25,4	24,2
1992/1993	24,5	24,6	25,7	26,3	26,1	26,1	26,8	28,2	29,4	30,1	29,4	28,6	27,1
1993/1994	27,8	27,9	29,2	31,2	32,5	33,5	34,5	35,3	35,9	35,7	34,4	32,9	32,6
1994/1995	31,7	30,5	30,1	30,9	31,7	32,5	34,0	35,4	36,3	36,0	34,6	32,8	33,0
1995/1996	30,9	29,4	29,2	29,8	30,3	30,9	32,0	33,5	34,7	34,2	32,5	30,7	31,5
1996/1997	29,2	27,8	26,9	26,0	24,9	24,2	23,8	23,0	22,1	21,0	19,7	18,5	23,9
1997/1998	17,2	17,3	18,4	19,7	21,0	22,7	23,8	24,9	25,8	26,0	25,4	24,2	22,2
1998/1999	22,9	21,6	20,6	20,1	19,0	18,4	18,3	18,0	17,6	17,1	16,5	16,0	18,8
1999/2000	15,5	15,6	15,7	16,5	17,1	18,2	19,4	21,1	21,9	21,5	21,0	20,5	18,7
2000/2001	20,1	19,6	19,9	21,4	22,3	23,1	24,1	25,6	26,9	27,5	27,5	27,0	23,7
2001/2002	26,3	25,9	27,2	29,0	30,3	31,1	32,0	33,0	33,3	32,8	31,3	30,5	30,2
2002/2003	29,8	29,1	29,4	29,0	29,5	31,0	32,7	35,0	37,0	37,7	36,7	35,1	32,7
2003/2004	33,4	31,7	31,1	32,5	32,6	32,4	32,4	32,5	31,9	30,9	29,7	28,4	31,6
2004/2005	27,4	26,6	26,0	26,7	26,7	26,9	27,6	28,4	28,9	28,2	27,1	26,0	27,2
2005/2006	25,1	24,5	25,0	26,2	27,3	28,2	29,1	30,5	31,8	32,2	31,7	30,5	28,5
2006/2007	29,3	28,3	28,6	30,6	31,7	32,4	33,4	34,6	35,4	35,3	33,9	32,4	32,2
2007/2008	30,8	29,3	28,0	27,5	27,2	26,9	27,1	27,9	28,1	27,5	26,7	25,6	27,7
2008/2009	24,8	24,7	26,0	26,1	26,7	27,1	27,6	28,3	28,5	27,9	27,0	26,1	26,7
2009/2010	24,9	24,4	24,4	25,0	25,1	25,8	26,2	27,4	28,0	27,8	27,0	26,2	26,0
2010/2011	25,1	23,9	22,9	22,4	21,9	21,9	22,4	23,3	23,6	23,3	22,6	21,7	22,9
2011/2012	20,8	20,3	20,0	20,0	20,2	20,3	21,2	22,4	23,1	22,8	22,0	21,4	21,2
2012/2013	20,6	20,1	20,8	21,2	20,8	20,6	20,4	20,2	20,0	19,9	19,2	18,3	20,2
2013/2014	17,2	16,4	16,5	17,0	17,5	18,7	19,8	20,8	20,9	-	-	-	-

Anexo I. Tabla 5. Resultados de Filtraciones Aplicando “ecuación ENDESA”.

AÑO HIDROLÓGICO	ABR (l/s)	MAY (l/s)	JUN (l/s)	JUL (l/s)	AGO (l/s)	SEP (l/s)	OCT (l/s)	NOV (l/s)	DIC (l/s)	ENE (l/s)	FEB (l/s)	MAR (l/s)	Promedio (l/s)
1955/1956	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	46,4	46,0	-
1956/1957	45,7	45,8	45,8	45,7	45,7	45,4	45,7	46,6	47,0	46,6	45,9	45,2	45,9
1957/1958	44,4	44,0	43,8	44,0	44,5	44,9	45,2	46,3	47,4	47,5	46,9	46,0	45,4
1958/1959	45,2	44,7	45,1	46,5	47,4	47,3	47,4	48,4	49,0	48,7	48,1	47,2	47,1
1959/1960	47,2	47,7	48,0	48,4	48,4	48,7	49,5	50,4	51,1	51,1	50,4	49,4	49,2
1960/1961	48,3	47,2	46,6	46,5	46,1	45,3	45,3	46,4	47,2	47,0	46,4	45,6	46,5
1961/1962	44,6	43,5	42,8	42,9	43,3	43,4	44,0	45,5	46,7	46,8	46,3	45,5	44,6
1962/1963	44,4	43,1	42,1	41,3	40,7	40,5	40,3	40,2	39,7	38,7	37,5	36,2	40,4
1963/1964	35,0	34,2	33,8	33,5	33,3	33,2	33,7	35,0	36,6	37,4	37,2	36,6	35,0
1964/1965	35,9	34,8	33,7	32,9	32,4	32,1	32,4	33,2	33,9	34,1	33,9	33,3	33,5
1965/1966	32,7	32,5	33,2	33,9	34,2	34,2	34,3	35,5	37,3	38,1	37,8	37,1	35,1
1966/1967	36,1	35,3	34,7	34,5	34,2	33,6	33,6	34,3	35,5	36,5	36,5	35,8	35,1
1967/1968	34,8	33,8	32,8	31,6	30,6	29,7	29,6	30,2	30,6	30,1	29,3	28,3	31,0
1968/1969	27,3	26,2	25,3	24,7	24,3	24,0	23,8	23,7	23,6	23,3	22,9	22,4	24,3
1969/1970	21,7	21,0	21,3	21,8	21,9	22,0	22,0	22,4	23,1	23,3	22,9	22,2	22,1
1970/1971	21,6	20,9	20,3	20,2	20,3	20,3	20,6	21,4	22,3	22,7	22,5	21,9	21,3
1971/1972	21,0	20,8	20,7	20,8	21,3	21,6	22,0	22,8	23,4	23,6	23,5	23,2	22,1
1972/1973	22,7	23,3	25,0	26,0	27,0	28,1	28,8	30,0	31,2	31,8	31,8	31,5	28,1
1973/1974	31,2	31,0	31,1	31,3	31,3	31,1	31,1	31,4	31,6	31,2	30,8	30,3	31,1
1974/1975	29,7	29,0	28,8	28,7	28,3	27,9	27,9	28,5	28,9	28,9	28,5	27,8	28,6
1975/1976	27,2	27,0	26,9	27,1	27,3	27,0	27,1	28,1	29,3	29,7	29,2	28,5	27,9
1976/1977	27,7	26,8	26,2	25,8	25,0	24,4	24,3	24,7	25,1	25,1	24,5	23,6	25,3
1977/1978	22,9	22,5	22,3	22,4	22,7	22,9	23,7	25,4	27,1	27,8	27,5	27,0	24,5
1978/1979	26,2	25,6	25,4	26,1	26,9	27,2	28,0	29,4	30,5	30,8	30,4	29,6	28,0
1979/1980	28,7	28,2	27,7	27,3	27,9	29,1	29,7	30,3	31,2	31,6	31,3	30,9	29,5
1980/1981	30,9	32,0	34,0	35,4	36,2	36,4	36,5	36,7	36,8	36,6	36,2	35,5	35,3
1981/1982	34,8	35,7	37,4	38,1	38,2	38,1	38,1	38,0	37,5	36,7	35,8	34,9	36,9
1982/1983	33,9	33,4	33,6	34,6	35,2	36,1	37,7	39,7	42,0	43,6	43,9	43,0	38,1
1983/1984	41,9	40,7	40,4	40,4	39,9	39,2	39,1	39,6	39,6	38,8	37,4	36,0	39,4
1984/1985	34,5	33,2	32,3	32,0	31,9	31,9	32,9	34,5	36,2	36,9	36,3	35,1	34,0
1985/1986	33,8	33,3	33,4	33,6	33,2	32,5	32,2	32,3	32,0	30,8	29,7	28,5	32,1
1986/1987	27,5	27,6	29,0	30,1	30,5	31,0	31,7	32,8	33,7	33,7	32,8	31,4	31,0

AÑO HIDROLÓGICO	ABR (l/s)	MAY (l/s)	JUN (l/s)	JUL (l/s)	AGO (l/s)	SEP (l/s)	OCT (l/s)	NOV (l/s)	DIC (l/s)	ENE (l/s)	FEB (l/s)	MAR (l/s)	Promedio (l/s)
1987/1988	30,1	28,8	28,1	28,3	28,8	29,2	30,2	31,8	32,7	32,3	31,2	29,9	30,1
1988/1989	28,9	27,9	27,0	26,3	25,8	25,5	25,5	26,2	26,7	26,2	25,2	24,2	26,3
1989/1990	23,1	21,9	21,0	20,4	20,3	20,6	21,3	22,3	22,9	22,6	22,0	21,3	21,7
1990/1991	20,9	20,9	20,8	20,5	20,6	21,6	22,5	22,7	22,4	21,8	21,2	20,5	21,4
1991/1992	20,0	20,8	22,3	23,2	23,6	24,0	24,7	25,3	25,9	26,0	25,7	25,1	23,9
1992/1993	24,2	24,4	25,4	26,0	25,9	25,8	26,6	28,1	29,5	30,1	29,5	28,5	27,0
1993/1994	27,7	27,8	29,3	31,1	32,2	33,1	34,0	34,8	35,4	35,1	33,9	32,6	32,2
1994/1995	31,5	30,5	30,1	30,8	31,5	32,2	33,5	34,8	35,7	35,4	34,0	32,4	32,7
1995/1996	30,8	29,5	29,2	29,9	30,2	30,8	31,7	33,0	34,1	33,7	32,2	30,6	31,3
1996/1997	29,1	27,7	26,7	25,8	24,7	24,0	23,4	22,7	21,9	20,7	19,5	18,3	23,7
1997/1998	17,3	17,1	18,2	19,7	20,9	22,4	23,5	24,6	25,5	25,7	25,1	24,0	22,0
1998/1999	22,6	21,4	20,5	19,8	18,8	18,2	18,0	17,8	17,4	16,9	16,4	15,8	18,6
1999/2000	15,3	15,3	15,7	16,2	17,0	18,0	19,3	20,8	21,6	21,3	20,8	20,4	18,5
2000/2001	19,9	19,4	19,8	20,9	22,0	22,9	23,9	25,3	26,6	27,2	27,2	26,8	23,5
2001/2002	26,1	26,1	26,9	28,5	30,1	30,9	31,7	32,7	33,0	32,4	31,3	30,3	30,0
2002/2003	29,6	29,1	29,0	29,0	29,6	30,8	32,4	34,7	36,6	37,3	36,5	34,9	32,4
2003/2004	33,2	31,5	31,3	32,2	32,3	32,2	32,2	32,2	31,7	30,7	29,5	28,2	31,4
2004/2005	27,2	26,4	26,0	26,4	26,5	26,7	27,3	28,1	28,6	28,0	26,8	25,8	27,0
2005/2006	24,9	24,4	24,9	25,9	27,0	28,0	28,9	30,3	31,5	31,9	31,4	30,3	28,3
2006/2007	29,2	28,2	28,4	30,1	31,5	32,2	33,2	34,4	35,2	35,0	33,7	32,2	31,9
2007/2008	30,6	29,1	27,8	27,3	27,0	26,7	26,9	27,6	27,8	27,3	26,4	25,4	27,5
2008/2009	24,6	24,9	25,6	25,9	26,3	26,9	27,4	28,0	28,2	27,6	26,8	25,9	26,5
2009/2010	24,7	24,2	24,4	24,6	25,0	25,5	26,2	27,1	27,7	27,5	26,8	25,9	25,8
2010/2011	24,9	23,7	22,8	22,2	21,8	21,8	22,2	23,0	23,4	23,0	22,4	21,5	22,7
2011/2012	20,6	20,1	19,9	19,8	19,9	20,2	21,0	22,1	22,8	22,5	21,9	21,2	21,0
2012/2013	20,5	20,1	20,5	20,9	20,6	20,3	20,2	20,0	19,9	19,7	19,0	18,1	20,0
2013/2014	17,0	16,3	16,3	16,7	17,3	18,3	19,6	20,5	20,6	-	-	-	-

Anexo I Tabla 6. Resultados de Filtraciones Aplicando la “Ecuación Ingendesa.”

AÑO HIDROLÓGICO	ABR (l/s)	MAY (l/s)	JUN (l/s)	JUL (l/s)	AGO (l/s)	SEP (l/s)	OCT (l/s)	NOV (l/s)	DIC (l/s)	ENE (l/s)	FEB (l/s)	MAR (l/s)	Promedio (l/s)
1955/1956	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	46,6	46,0	-
1956/1957	45,7	45,8	45,7	45,6	45,6	45,3	45,6	46,7	47,3	46,8	45,9	44,9	45,9
1957/1958	43,9	44,0	43,9	44,0	44,0	44,5	45,0	46,4	47,8	48,0	47,2	46,1	45,4
1958/1959	44,9	44,3	44,8	46,6	47,9	47,7	47,9	49,2	50,0	49,5	48,7	47,7	47,4
1959/1960	47,6	48,3	48,7	49,1	49,2	49,6	50,6	51,6	52,5	52,6	51,7	50,4	50,1
1960/1961	49,0	47,6	46,8	46,7	46,2	45,1	45,1	46,6	47,6	47,3	46,5	45,5	46,7
1961/1962	44,1	43,6	43,0	43,1	43,4	43,5	44,0	45,3	46,9	47,1	46,4	45,4	44,6
1962/1963	43,9	43,3	42,5	41,8	41,3	41,1	41,0	40,8	40,4	39,5	38,3	37,1	40,9
1963/1964	35,9	35,1	34,6	34,3	34,1	34,1	34,6	35,9	37,5	38,3	38,1	37,6	35,8
1964/1965	36,8	35,7	34,6	33,7	33,1	32,8	33,1	34,0	34,7	35,0	34,7	34,1	34,4
1965/1966	33,4	33,2	34,0	34,7	35,1	35,1	35,2	36,4	38,2	39,0	38,7	38,0	35,9
1966/1967	37,1	36,3	35,6	35,4	35,1	34,5	34,4	35,2	36,5	37,4	37,4	36,8	36,0
1967/1968	35,7	34,6	33,5	32,2	31,0	29,9	29,8	30,5	31,0	30,4	29,2	28,4	31,3
1968/1969	27,4	26,4	25,6	25,0	24,6	24,3	24,0	24,0	23,8	23,6	23,2	22,6	24,5
1969/1970	21,9	21,2	21,5	22,0	22,1	22,2	22,2	22,6	23,3	23,6	23,2	22,4	22,4
1970/1971	21,8	21,1	20,5	20,4	20,4	20,5	20,8	21,6	22,6	23,0	22,8	22,1	21,5
1971/1972	21,3	20,9	20,9	21,0	21,5	21,8	22,2	23,1	23,7	23,9	23,8	23,5	22,3
1972/1973	23,0	23,6	25,2	26,2	27,2	28,1	28,8	30,3	31,8	32,4	32,4	32,1	28,4
1973/1974	31,7	31,5	31,6	31,8	31,8	31,6	31,6	32,0	32,1	31,8	31,2	30,7	31,6
1974/1975	29,9	28,9	28,7	28,7	28,3	27,9	28,0	28,5	28,9	28,8	28,5	27,9	28,6
1975/1976	27,4	27,1	27,1	27,3	27,4	27,2	27,2	28,1	29,2	29,9	29,1	28,5	28,0
1976/1977	27,8	26,9	26,4	26,0	25,3	24,6	24,6	25,0	25,4	25,4	24,7	23,8	25,5
1977/1978	23,1	22,7	22,6	22,7	22,9	23,2	24,0	25,6	27,3	27,9	27,7	27,1	24,7
1978/1979	26,5	25,9	25,6	26,3	27,1	27,3	28,1	29,3	30,9	31,2	30,7	29,8	28,2
1979/1980	28,7	28,2	27,8	27,5	28,0	29,0	29,9	30,6	31,7	32,1	31,8	31,3	29,7
1980/1981	31,3	32,7	34,8	36,4	37,1	37,3	37,5	37,6	37,7	37,6	37,1	36,4	36,1
1981/1982	35,7	36,6	38,3	38,9	39,1	39,0	38,9	38,9	38,4	37,6	36,7	35,8	37,8
1982/1983	34,8	34,2	34,5	35,5	36,2	37,0	38,6	40,4	42,4	43,7	43,9	43,2	38,7
1983/1984	42,3	41,3	41,0	41,0	40,6	40,0	39,8	40,3	40,4	39,6	38,3	36,9	40,1
1984/1985	35,4	34,0	32,9	32,6	32,5	32,5	33,6	35,4	37,1	37,8	37,3	36,0	34,8
1985/1986	34,7	34,2	34,2	34,4	34,0	33,3	32,9	33,0	32,6	31,3	29,9	28,5	32,7
1986/1987	27,6	27,7	28,9	30,3	30,9	31,4	32,3	33,6	34,5	34,6	33,5	32,0	31,4

AÑO HIDROLÓGICO	ABR (l/s)	MAY (l/s)	JUN (l/s)	JUL (l/s)	AGO (l/s)	SEP (l/s)	OCT (l/s)	NOV (l/s)	DIC (l/s)	ENE (l/s)	FEB (l/s)	MAR (l/s)	Promedio (l/s)
1987/1988	30,4	28,8	28,1	28,3	28,7	29,1	30,6	32,4	33,4	33,0	31,7	30,2	30,4
1988/1989	28,8	28,0	27,2	26,5	26,1	25,8	25,8	26,4	26,8	26,4	25,5	24,4	26,5
1989/1990	23,3	22,1	21,2	20,6	20,5	20,8	21,5	22,6	23,1	22,9	22,2	21,5	21,9
1990/1991	21,1	21,1	21,0	20,6	20,8	21,8	22,8	23,0	22,6	22,0	21,4	20,7	21,6
1991/1992	20,2	21,0	22,5	23,4	23,9	24,3	24,9	25,6	26,1	26,2	26,0	25,4	24,1
1992/1993	24,5	24,6	25,7	26,3	26,1	26,0	26,8	28,1	29,7	30,3	29,7	28,5	27,2
1993/1994	27,8	27,9	29,2	31,6	32,9	33,9	34,8	35,7	36,3	36,0	34,7	33,3	32,8
1994/1995	32,0	30,9	30,4	31,2	32,0	32,9	34,3	35,7	36,7	36,4	34,9	33,1	33,4
1995/1996	31,3	29,4	29,1	30,1	30,6	31,2	32,3	33,8	35,0	34,6	32,8	31,0	31,8
1996/1997	29,0	27,8	26,9	26,0	24,9	24,2	23,7	23,0	22,1	20,9	19,7	18,5	23,9
1997/1998	17,6	17,4	18,4	19,9	21,1	22,6	23,8	24,9	25,7	25,9	25,4	24,2	22,2
1998/1999	22,9	21,6	20,7	20,0	19,0	18,4	18,3	18,1	17,7	17,2	16,8	16,3	18,9
1999/2000	15,9	15,9	16,3	16,7	17,3	18,3	19,5	21,0	21,8	21,5	21,0	20,6	18,8
2000/2001	20,1	19,6	19,9	21,1	22,2	23,1	24,2	25,6	26,7	27,4	27,4	26,9	23,7
2001/2002	26,3	26,3	27,1	28,5	30,3	31,3	32,4	33,4	33,8	33,1	31,8	30,7	30,4
2002/2003	29,7	29,0	28,9	28,9	29,7	31,2	33,1	35,6	37,5	38,2	37,4	35,8	32,9
2003/2004	34,0	32,1	31,8	32,9	33,0	32,8	32,9	32,9	32,3	31,1	29,7	28,2	32,0
2004/2005	27,4	26,6	26,2	26,6	26,7	26,9	27,5	28,2	28,6	28,1	27,0	26,0	27,1
2005/2006	25,2	24,7	25,1	26,1	27,2	28,1	28,8	30,6	32,1	32,6	32,0	30,6	28,6
2006/2007	29,1	28,3	28,4	30,4	32,0	32,9	34,0	35,3	36,2	35,9	34,5	32,8	32,5
2007/2008	31,0	29,0	27,9	27,4	27,1	26,9	27,1	27,7	27,9	27,4	26,6	25,7	27,6
2008/2009	24,9	25,1	25,8	26,1	26,5	27,1	27,5	28,1	28,2	27,7	27,0	26,1	26,7
2009/2010	25,0	24,5	24,7	24,9	25,2	25,7	26,4	27,2	27,8	27,6	27,0	26,2	26,0
2010/2011	25,2	24,0	23,1	22,4	22,0	22,0	22,4	23,3	23,7	23,3	22,6	21,7	23,0
2011/2012	20,8	20,3	20,1	20,0	20,1	20,4	21,2	22,3	23,0	22,8	22,1	21,4	21,2
2012/2013	20,7	20,3	20,7	21,1	20,8	20,5	20,4	20,2	20,1	19,9	19,3	18,4	20,2
2013/2014	17,4	16,7	16,7	17,0	17,6	18,6	19,8	20,7	20,8	-	-	-	-

Anexo I. Tabla 7. Error Absoluto Aplicando la “Ecuación Endesa”

AÑO HIDROLÓGICO	ABR (l/s)	MAY (l/s)	JUN (l/s)	JUL (l/s)	AGO (l/s)	SEP (l/s)	OCT (l/s)	NOV (l/s)	DIC (l/s)	ENE (l/s)	FEB (l/s)	MAR (l/s)	Promedio (l/s)
1955/1956	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,1	0,0	-
1956/1957	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,2	0,4	0,2	0,0	0,2	0,1
1957/1958	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,3	0,2	0,1	0,4	0,5	0,3	0,0	0,3
1958/1959	0,2	0,4	0,3	0,2	0,5	0,4	0,5	0,7	0,9	0,8	0,6	0,4	0,5
1959/1960	0,4	0,5	0,6	0,7	0,7	0,8	1,0	0,9	0,2	0,2	0,9	1,0	0,7
1960/1961	0,7	0,4	0,2	0,2	0,0	0,2	0,2	0,2	0,4	0,4	0,1	0,1	0,3
1961/1962	0,4	0,3	0,2	0,2	0,3	0,3	0,5	0,1	0,2	0,3	0,1	0,1	0,3
1962/1963	0,5	0,3	0,1	0,0	0,1	0,2	0,2	0,2	0,3	0,4	0,5	0,5	0,3
1963/1964	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
1964/1965	0,6	0,6	0,5	0,4	0,4	0,3	0,4	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
1965/1966	0,4	0,4	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
1966/1967	0,6	0,6	0,6	0,6	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6	0,5	0,5	0,6	0,5
1967/1968	0,6	0,5	0,4	0,3	0,1	0,1	0,1	0,0	0,1	0,0	0,1	0,1	0,2
1968/1969	0,1	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,2	0,2
1969/1970	0,2	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2
1970/1971	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2	0,2
1971/1972	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,2	0,2	0,3	0,2
1972/1973	0,3	0,3	0,3	0,3	0,1	0,1	0,0	0,0	0,2	0,3	0,3	0,3	0,2
1973/1974	0,2	0,1	0,1	0,2	0,2	0,1	0,2	0,2	0,3	0,2	0,1	0,0	0,2
1974/1975	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1
1975/1976	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,1
1976/1977	0,1	0,1	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2
1977/1978	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,2	0,3	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2
1978/1979	0,3	0,3	0,3	0,3	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,1	0,2
1979/1980	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,1	0,0	0,2	0,3	0,2	0,1	0,1
1980/1981	0,1	0,3	0,5	0,6	0,6	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6	0,5
1981/1982	0,6	0,6	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6	0,5
1982/1983	0,5	0,5	0,5	0,6	0,5	0,6	0,5	0,3	0,1	0,4	0,4	0,3	0,4
1983/1984	0,1	0,1	0,2	0,2	0,3	0,4	0,4	0,3	0,3	0,4	0,5	0,6	0,3
1984/1985	0,6	0,5	0,4	0,3	0,3	0,3	0,4	0,6	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
1985/1986	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,4	0,3	0,4	0,3	0,1	0,1	0,0	0,3
1986/1987	0,1	0,1	0,0	0,0	0,1	0,1	0,3	0,4	0,5	0,5	0,4	0,2	0,2

AÑO HIDROLÓGICO	ABR (l/s)	MAY (l/s)	JUN (l/s)	JUL (l/s)	AGO (l/s)	SEP (l/s)	OCT (l/s)	NOV (l/s)	DIC (l/s)	ENE (l/s)	FEB (l/s)	MAR (l/s)	Promedio (l/s)
1987/1988	0,0	0,0	0,1	0,1	0,0	0,1	0,0	0,3	0,4	0,4	0,2	0,0	0,1
1988/1989	0,0	0,1	0,1	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2	0,3	0,3	0,3	0,2
1989/1990	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2
1990/1991	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
1991/1992	0,2	0,2	0,2	0,3	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
1992/1993	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2	0,1	0,1	0,0	0,1	0,0	0,2
1993/1994	0,1	0,1	0,1	0,1	0,3	0,4	0,5	0,6	0,6	0,5	0,5	0,4	0,3
1994/1995	0,3	0,0	0,0	0,1	0,3	0,3	0,5	0,6	0,6	0,6	0,5	0,4	0,3
1995/1996	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,1	0,3	0,4	0,5	0,5	0,3	0,1	0,2
1996/1997	0,0	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
1997/1998	0,1	0,2	0,2	0,1	0,1	0,4	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2
1998/1999	0,2	0,2	0,1	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
1999/2000	0,2	0,3	0,0	0,2	0,2	0,2	0,1	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2
2000/2001	0,2	0,2	0,1	0,4	0,3	0,2	0,1	0,2	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2
2001/2002	0,2	0,2	0,3	0,5	0,3	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,1	0,1	0,3
2002/2003	0,2	0,0	0,4	0,1	0,1	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,3	0,2	0,2
2003/2004	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
2004/2005	0,2	0,3	0,1	0,3	0,2	0,3	0,2	0,3	0,4	0,2	0,2	0,2	0,2
2005/2006	0,2	0,1	0,1	0,4	0,3	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2
2006/2007	0,1	0,1	0,3	0,5	0,3	0,2	0,2	0,3	0,2	0,3	0,2	0,2	0,2
2007/2008	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2
2008/2009	0,2	0,1	0,3	0,2	0,3	0,2	0,2	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2
2009/2010	0,2	0,1	0,0	0,4	0,1	0,3	0,1	0,3	0,3	0,3	0,2	0,3	0,2
2010/2011	0,2	0,2	0,1	0,3	0,1	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
2011/2012	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,1	0,2	0,3	0,3	0,2	0,2	0,3	0,2
2012/2013	0,2	0,0	0,2	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2
2013/2014	0,2	0,1	0,2	0,3	0,2	0,4	0,2	0,3	0,3	-	-	-	-
Promedio	0,3	0,2	0,2	0,3	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,27

Anexo I. Tabla 8. Error Absoluto Aplicando la “Ecuación Ingendesa”

AÑO HIDROLÓGICO	ABR (l/s)	MAY (l/s)	JUN (l/s)	JUL (l/s)	AGO (l/s)	SEP (l/s)	OCT (l/s)	NOV (l/s)	DIC (l/s)	ENE (l/s)	FEB (l/s)	MAR (l/s)	Promedio (l/s)
1955/1956	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,0	0,0	-
1956/1957	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1957/1958	0,0	0,4	0,4	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1
1958/1959	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1959/1960	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	1,2	1,3	0,4	0,0	0,3
1960/1961	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1961/1962	0,0	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2
1962/1963	0,0	0,4	0,4	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
1963/1964	0,4	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
1964/1965	0,4	0,3	0,4	0,4	0,4	0,3	0,4	0,3	0,4	0,4	0,4	0,3	0,4
1965/1966	0,4	0,4	0,3	0,4	0,4	0,4	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
1966/1967	0,4	0,4	0,3	0,3	0,4	0,4	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
1967/1968	0,4	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,0	0,0	0,3
1968/1969	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1969/1970	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1970/1971	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1971/1972	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1972/1973	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,1
1973/1974	0,3	0,4	0,4	0,3	0,3	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
1974/1975	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,1	0,0	0,1
1975/1976	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0	0,0	0,1
1976/1977	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1977/1978	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1978/1979	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,3	0,3	0,3	0,1
1979/1980	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2
1980/1981	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
1981/1982	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
1982/1983	0,4	0,3	0,4	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
1983/1984	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
1984/1985	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
1985/1986	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,0	0,3
1986/1987	0,0	0,0	0,0	0,3	0,3	0,4	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4	0,3	0,3

AÑO HIDROLÓGICO	ABR (l/s)	MAY (l/s)	JUN (l/s)	JUL (l/s)	AGO (l/s)	SEP (l/s)	OCT (l/s)	NOV (l/s)	DIC (l/s)	ENE (l/s)	FEB (l/s)	MAR (l/s)	Promedio (l/s)
1987/1988	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,3	0,4	0,3	0,3	0,3	0,2
1988/1989	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0
1989/1990	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1990/1991	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1991/1992	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0
1992/1993	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,3	0,3	0,3	0,0	0,1
1993/1994	0,0	0,0	0,0	0,4	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,3
1994/1995	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,3
1995/1996	0,3	0,0	0,0	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3
1996/1997	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1997/1998	0,4	0,1	0,0	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1
1998/1999	0,0	0,0	0,1	0,1	0,0	0,1	0,0	0,1	0,1	0,1	0,2	0,3	0,1
1999/2000	0,4	0,3	0,5	0,2	0,2	0,0	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,2
2000/2001	0,0	0,0	0,1	0,2	0,1	0,0	0,1	0,0	0,1	0,1	0,1	0,0	0,1
2001/2002	0,0	0,4	0,2	0,5	0,0	0,3	0,4	0,5	0,5	0,4	0,5	0,2	0,3
2002/2003	0,1	0,1	0,4	0,2	0,2	0,1	0,4	0,6	0,5	0,5	0,7	0,7	0,4
2003/2004	0,6	0,4	0,7	0,4	0,4	0,4	0,5	0,4	0,4	0,2	0,1	0,2	0,4
2004/2005	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,1	0,1	0,2	0,4	0,2	0,1	0,1	0,1
2005/2006	0,0	0,2	0,1	0,2	0,1	0,2	0,3	0,1	0,3	0,3	0,3	0,1	0,2
2006/2007	0,2	0,1	0,2	0,2	0,3	0,5	0,6	0,6	0,7	0,6	0,6	0,4	0,4
2007/2008	0,2	0,3	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,2	0,2	0,1	0,0	0,0	0,1
2008/2009	0,1	0,4	0,1	0,0	0,1	0,1	0,1	0,2	0,3	0,1	0,0	0,0	0,1
2009/2010	0,0	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,2	0,1	0,2	0,2	0,0	0,1	0,1
2010/2011	0,0	0,0	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2011/2012	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,0	0,1	0,1	0,0	0,1	0,1	0,0
2012/2013	0,0	0,2	0,0	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0	0,1
2013/2014	0,2	0,3	0,2	0,1	0,1	0,1	0,0	0,1	0,1	-	-	-	-
Promedio	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,18

ANEXO II

Anexo II. Datos set de diaclasas

Área 1: B1

Dip	Dip Direction	Ancho fractura (mm)	Largo de fractura (cm)
44	115	6	70
20	144	13	80
75	90	7	82
87	45	10	92
84	96	10	90
90	75	5	200
20	141	13	19
89	104	11	33
73	292	2	19
90	98	2	200
89	104	11	33
85	79	3	200
73	292	2	19
42	292	2	70
14	204	13	37
98	90	2	200
15	229	10	16
5	186	22	11
90	102	5	58
89	288	12	80
83	181	11	120
15	12	18	85

Área 2: B2

Dip	Dip Direction	Ancho fractura (mm)	Largo de fractura (cm)
18	33	30	20
90	189	20	30
63	258	63	41
50	51	25	20
32	180	3	30
31	62	23	27
72	231	5	36
86	81	10	32
83	270	4	87
62	74	8	140
71	66	1	67
43	284	3	120
85	190	10	60
60	62	1	100
75	61	4	110
23	192	10	200

Área 3: B3

Dip	Dip Direction	Ancho fractura (mm)	Largo de fractura (cm)
7	188	15	71
88	90	7	40
40	280	1	25
78	70	3	134
85	230	2	54

Área 4: B4

Dip	Dip Direction	Ancho fractura (mm)	Largo de fractura (cm)
85	179	22	200
25	123	4	75
23	278	10	81
90	245	9	65
30	85	17	68
13	103	5	31
83	93	12	63
6	295	13	82
81	227	14	150
11	141	4	20

Área 5: B5

Dip	Dip Direction	Ancho fractura (mm)	Largo de fractura (cm)
65	355	5	37
89	348	5	120
20	127	1	60
57	31	4	61
15	140	10	50
80	18	16	200

Área 6: B6

Dip	Dip Direction	Ancho fractura (mm)	Largo de fractura (cm)
20	215	15	115
25	180	11	81
30	230	5	180
50	18	1	51
15	164	7	145
22	200	100	96
50	175	20	1
20	168	60	170
55	289	70	70
29	332	81	176

Área 7: B7

Dip	Dip Direction	Ancho fractura (mm)	Largo de fractura (cm)
48	171	15	70
11	57	130	25
27	185	8	200
14	189	5	200
10	233	2	200
27	180	7	200
24	234	7	200
47	144	70	200
11	139	63	57
60	135	10	60
87	134	5	69
38	110	105	200
70	325	31	200

Área 8: B8

Dip	Dip Direction	Ancho fractura (mm)	Largo de fractura (cm)
85	80	12	130
89	270	1	30
80	51	4	200
65	271	5	35
90	45	40	200
18	267	50	42
78	47	35	200
70	102	1	52
28	308	1	20
80	55	1	20
14	260	2	45
31	213	1	70
14	176	5	200
29	133	10	200
17	185	35	200

Área 9: B9


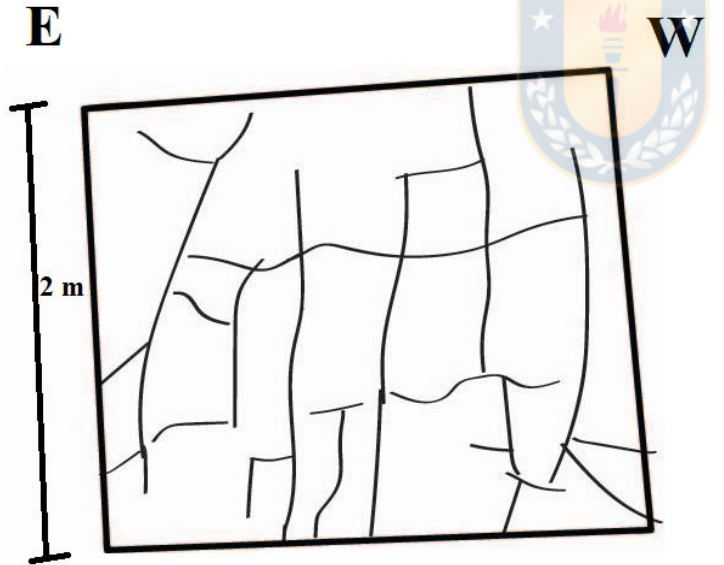
Dip	Dip Direction	Ancho fractura (mm)	Largo de fractura (cm)	Fractura o falla
85	185	1	35	Fractura
62	190	1	102	Falla normal
60	186	2	120	Fractura
51	45	1	26	Fractura
42	253	2	70	Fractura
50	253	2	70	Fractura
48	99	1	72	Fractura
29	111	1	78	Fractura

Área 10: B10

Dip	Dip Direction	Ancho fractura (mm)	Largo de fractura (cm)	Fractura o falla
18	309	2	50	falla normal
23	280	1	80	fractura sin relleno
34	231	10	220	falla normal
25	225	1	80	Fractura
54	275	3	50	Fractura
34	267	5	200	falla normal

ANEXO III

Anexo III. Ficha Datos Estructurales

Ficha Datos Estructurales	
Punto B1- Basaltos columnares	GPS: 5859520 286705
	<p>Litología: Roca basáltica, con presencia de fracturas, sin burbujas, evidencia de disyunción columnar.</p> <p>Promedio del ancho de las fracturas: 8.63 mm</p> <p>Promedio largo de fracturas: 82.45 cm</p> <p>Fracturas sin relleno.</p>
	

Punto B2- Basaltos

GPS: 5859517
286701

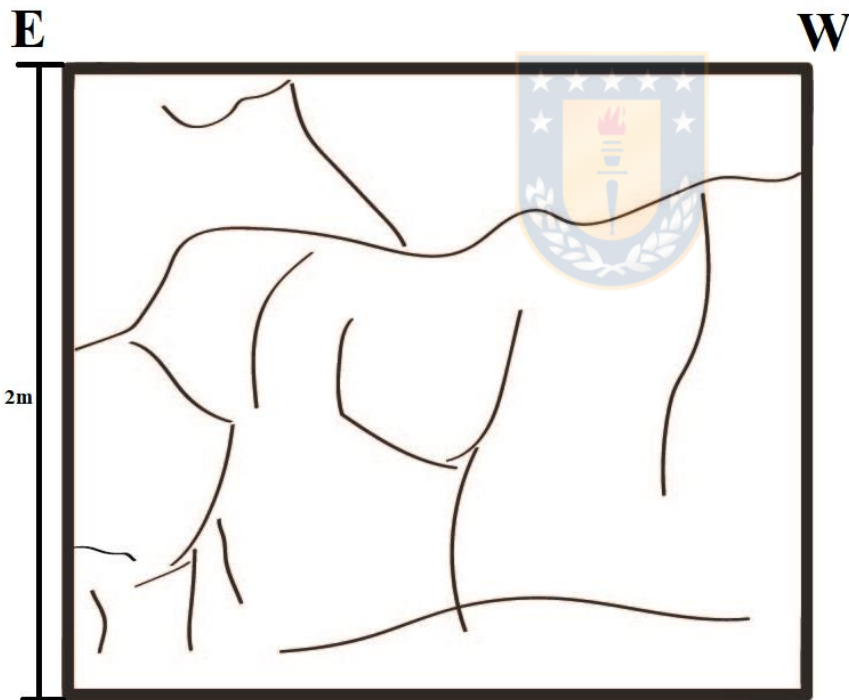



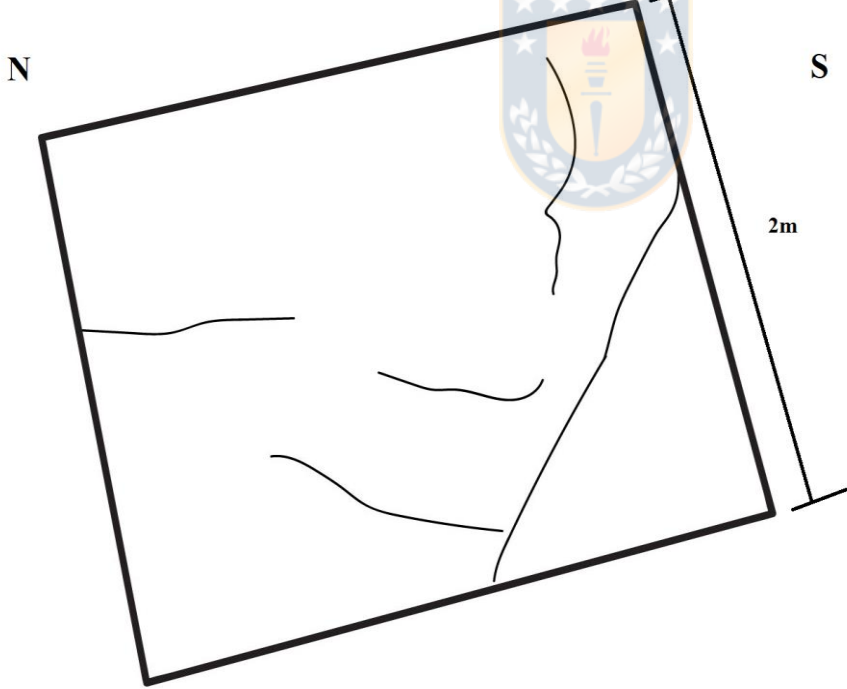
Litología: Roca basáltica, con presencia de fracturas, sin burbujas, evidencia de disyunción columnar.

Promedio del ancho de las fracturas: 13.75 mm

Promedio largo de fracturas: 70 cm

Fracturas sin relleno.



<p>Punto B3- Basaltos</p>	<p>GPS: 5859514 286697</p>
 	<p>Litología: Roca basáltica, con presencia de fracturas, con presencia de burbujas en forma de cavidades, sin basaltos escoriáceos.</p> <p>Promedio del ancho de las fracturas:5.6 mm</p> <p>Promedio largo de fracturas:64.8 cm Fracturas sin relleno.</p> <p>Tamaño promedio de burbujas Largo: 3 cm Alto:0.5 cm Ancho: 2cm</p>

Punto B4- Basaltos

GPS: 5859340
286359



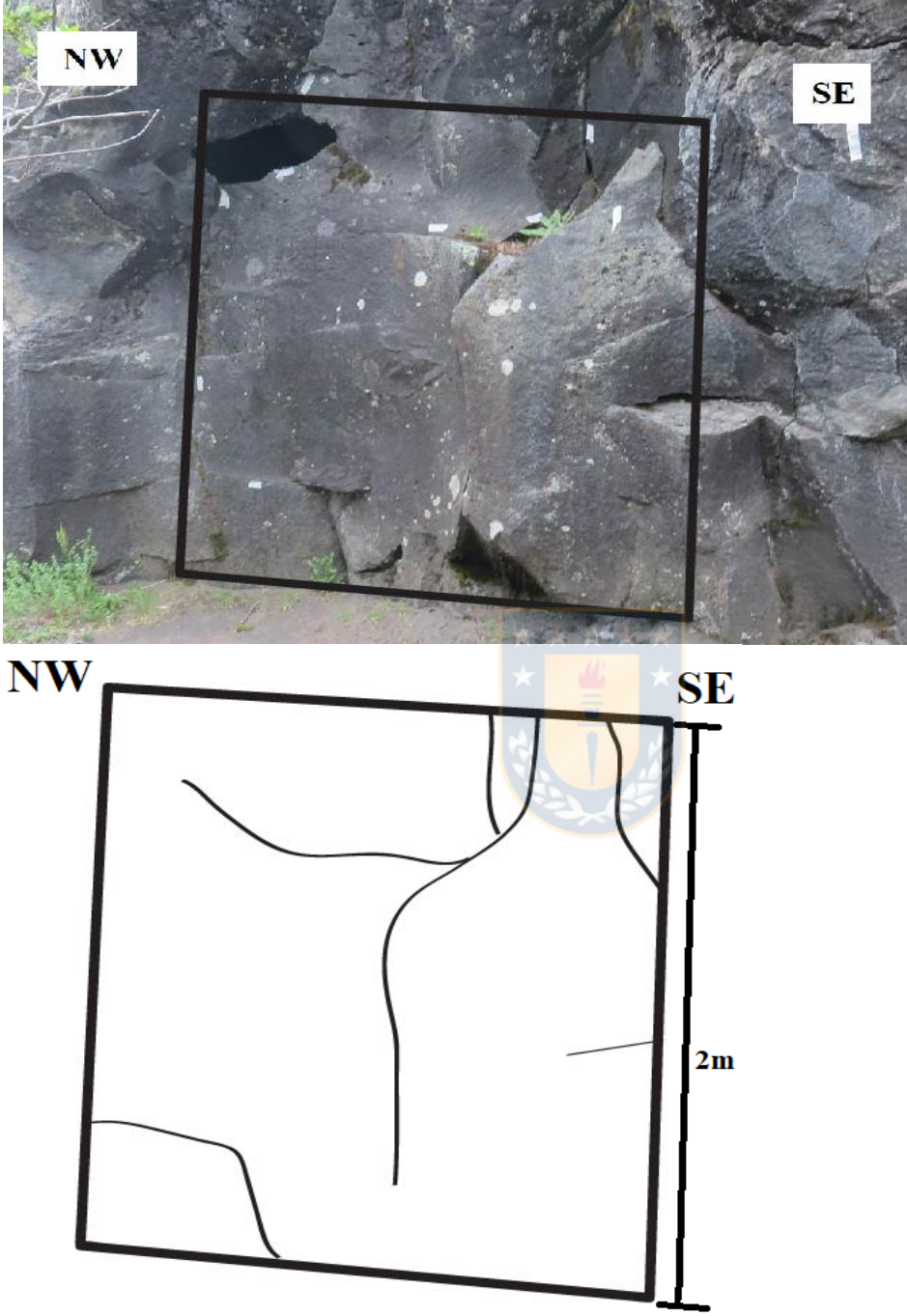
Litología: Roca basáltica, con presencia de fracturas, con presencia de burbujas en forma de cavidades ovaladas.


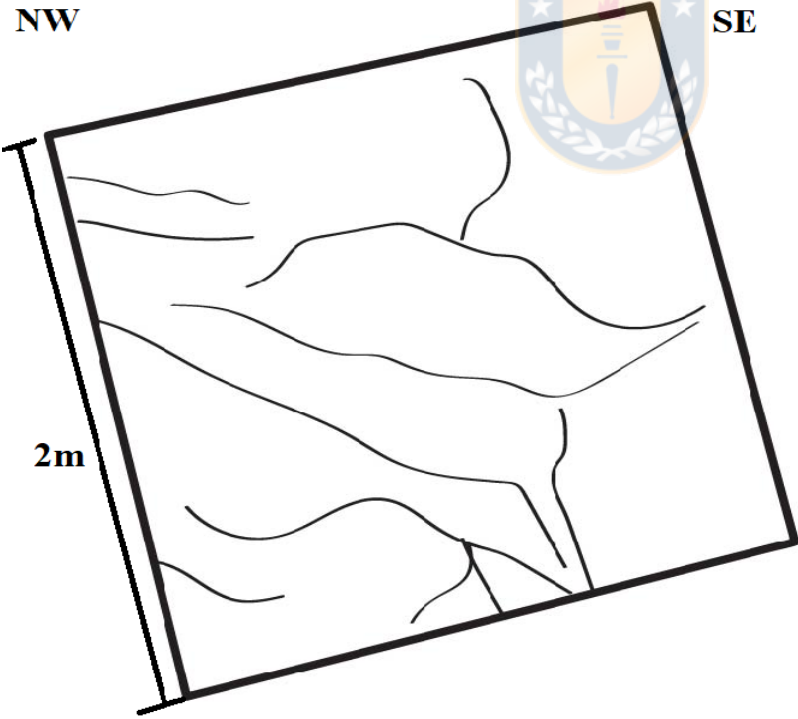
Promedio del ancho de las fracturas: 11 mm


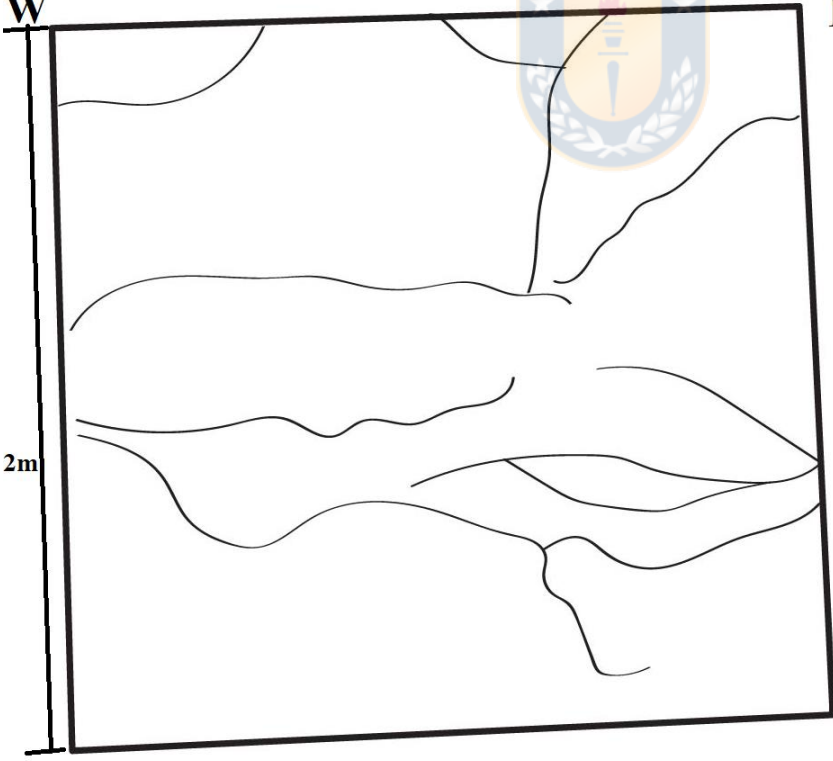
Promedio largo de fracturas: 83.5cm
Fracturas sin relleno.

Tamaño promedio de burbujas
Largo: 2 cm
Alto: 1 cm
Ancho: 1 cm



<p>Punto B5- Basaltos</p>	<p>GPS: 5859342 286361</p>
	<p>Litología: Roca basáltica, con presencia de fracturas, con burbujas, evidencia de disyunción columnar.</p> <p>Promedio del ancho de las fracturas: 6.83 mm</p> <p>Promedio largo de fracturas: 88 cm</p> <p>Fracturas sin relleno.</p> <p>Tamaño promedio de burbujas Largo: 0.8 cm Alto: 1.2 cm Ancho: 0.4 cm</p>

<p>Punto B6- Basaltos</p>	<p>GPS: 5859346 286363</p>
<div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: center;"> <div style="display: flex; justify-content: space-between; width: 100%;"> NW SE </div>  <div style="display: flex; justify-content: space-between; width: 100%; margin-top: 20px;"> NW SE </div>  </div>	<p>Litología: Roca basáltica, con presencia de fracturas, sin burbujas, evidencia de disyunción columnar.</p> <p>Con sectores de basalto escoriáceos.</p> <p>Promedio del ancho de las fracturas: 37 mm</p> <p>Promedio largo de fracturas: 108.5 cm Fracturas sin relleno.</p>

Punto B7- Basaltos		GPS: 5859228 286408
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> W E </div> 	<p>Litología: Roca basáltica principalmente escoriáceos, con presencia de fracturas, sin burbujas.</p> <p>Promedio del ancho de las fracturas: 35.23 mm</p> <p>Promedio largo de fracturas: 144.69 cm</p> <p>Fracturas sin relleno.</p>	
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> W E </div> 		

Punto B8- Basaltos

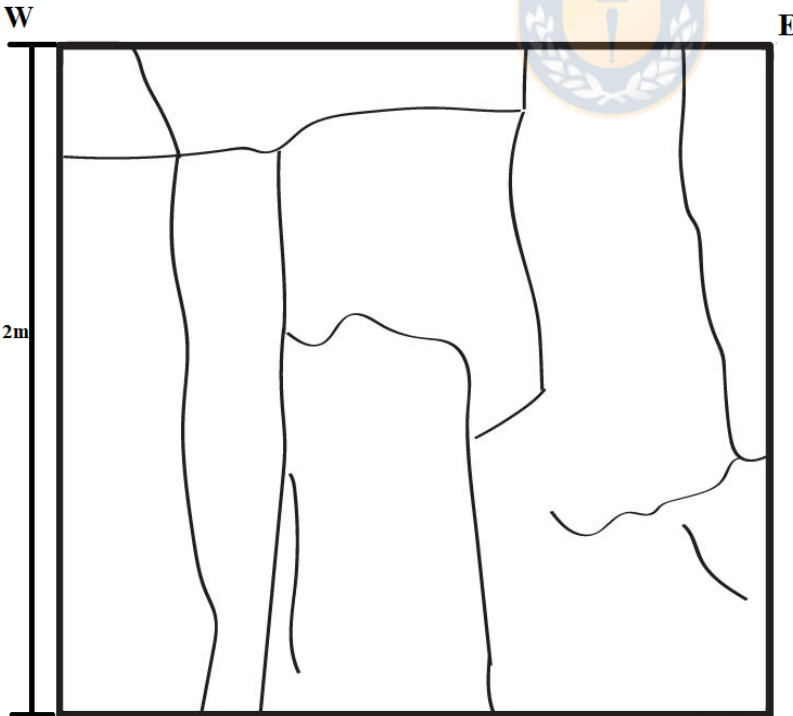
GPS: 5859315
286443


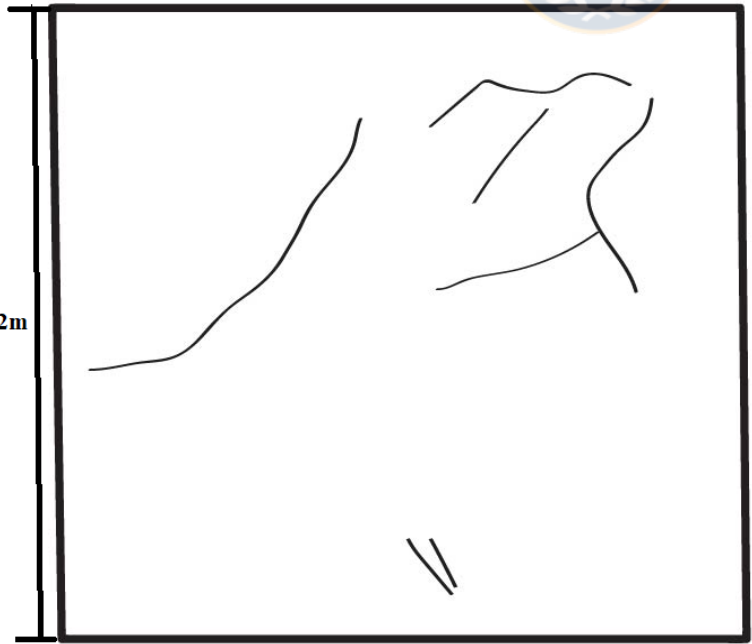



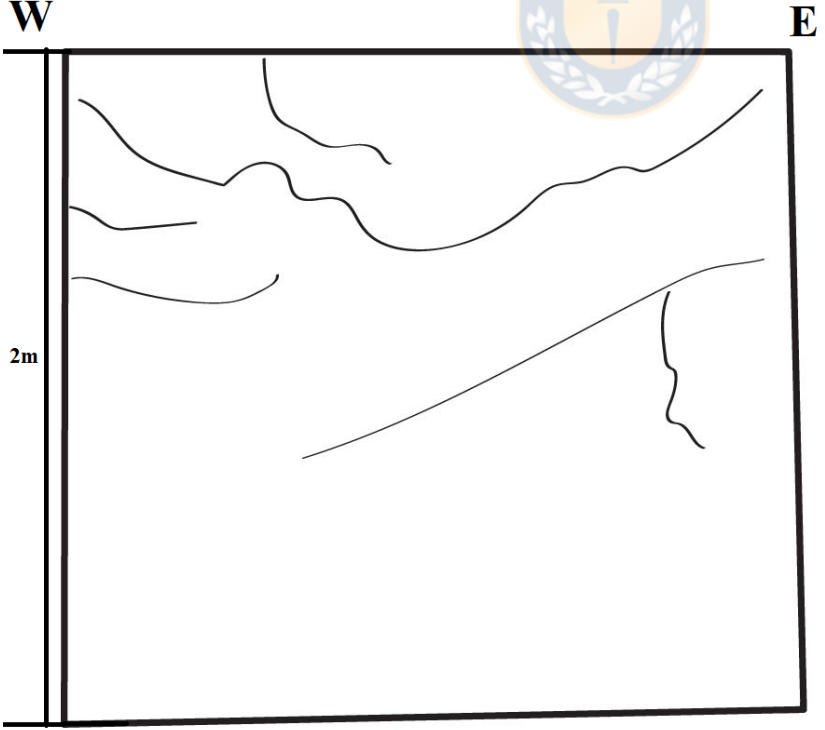
Litología: Roca basáltica, con presencia de fracturas, sin presencia de burbujas, evidencia de disyunción columnar.

Promedio del ancho de las fracturas: 13.53 mm

Promedio largo de fracturas: 109.6 cm
Fracturas sin relleno.


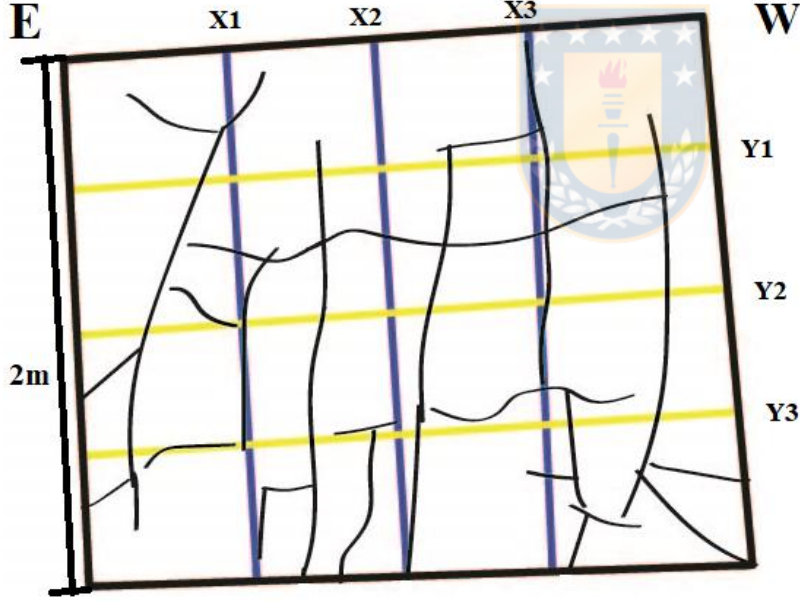


Punto B9- Formación Cura-Mallín		GPS: 5860282 289566
W		E
		<p>Litología: Roca aglomerado volcánico, con una baja frecuencia de fracturas.</p> <p>Promedio del ancho de las fracturas: 1.375 mm</p> <p>Promedio largo de fracturas: 71.62cm</p> <p>Fracturas con relleno arcilloso</p>
W		E

Punto B10- Formación Cura-Mallín		GPS: 5860287 289567
W		E
		<p>Litología: Roca aglomerado volcánico,</p> <p>Promedio del ancho de las fracturas: 1.375 mm</p> <p>Promedio largo de fracturas: 71.62cm</p> <p>Fracturas con relleno arcilloso</p>
W		E

ANEXO IV

Anexo IV. Ficha de cálculo P10 y P21

Punto B1- Basaltos columnares	GPS: 5859520 286705
 	<p>Litología: Roca basáltica, con presencia de fracturas, sin burbujas, evidencia de disyunción columnar.</p> <p>Promedio del ancho de las fracturas: 8.63 mm</p> <p>Promedio largo de fracturas: 82.45 cm</p> <p>Fracturas sin relleno.</p>

Punto B2- Basaltos

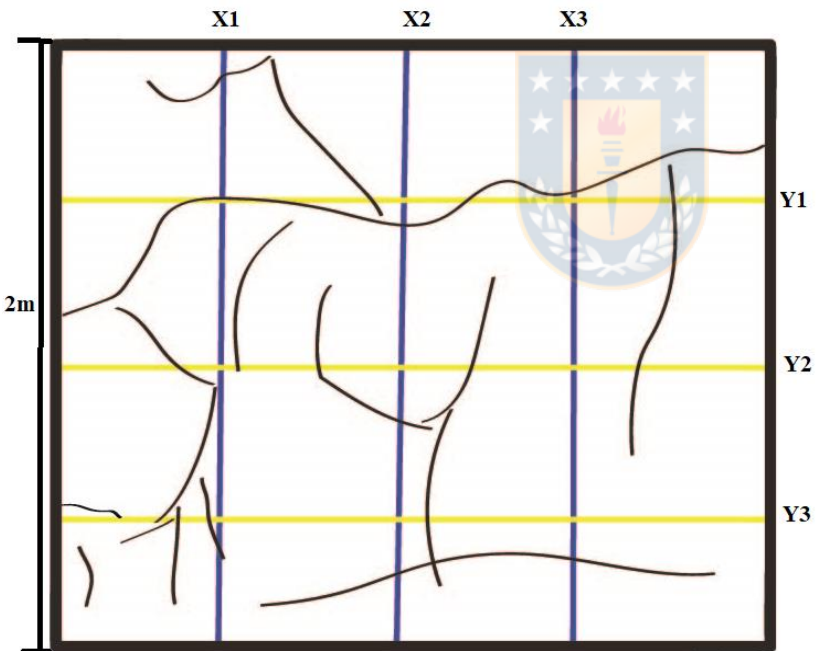
GPS: 5859517
286701



Litología: Roca basáltica, con presencia de fracturas, sin burbujas, evidencia de disyunción columnar.

Promedio del ancho de las fracturas: 13.75 mm

Promedio largo de fracturas: 70 cm
Fracturas sin relleno.



Punto B3- Basaltos

GPS: 5859514
286697

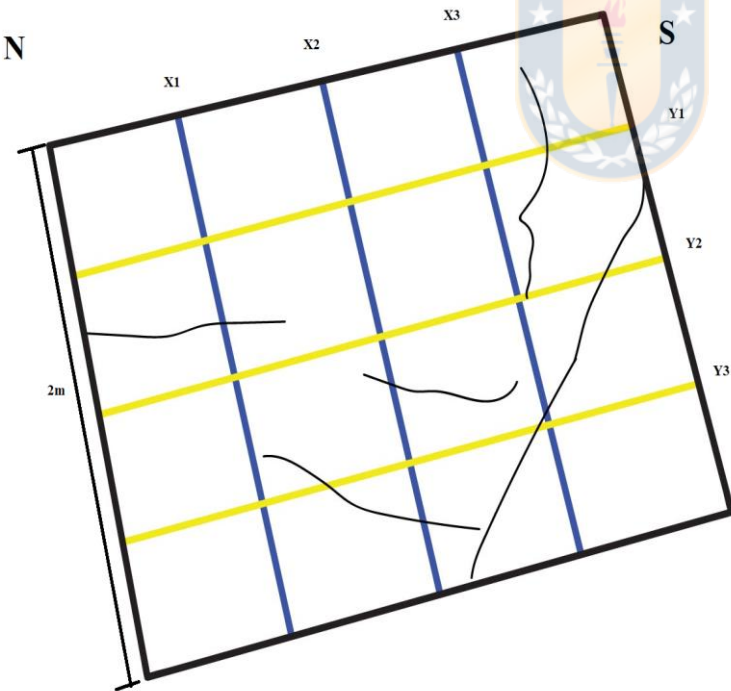


Litología: Roca basáltica, con presencia de fracturas, con presencia de burbujas en forma de cavidades, sin basaltos escoriáceos.

Promedio del ancho de las fracturas: 5.6 mm

Promedio largo de fracturas: 64.8 cm
Fracturas sin relleno.

Tamaño promedio de burbujas
Largo: 3 cm
Alto: 0.5 cm
Ancho: 2 cm



Punto B4- Basaltos

GPS: 5859340
286359



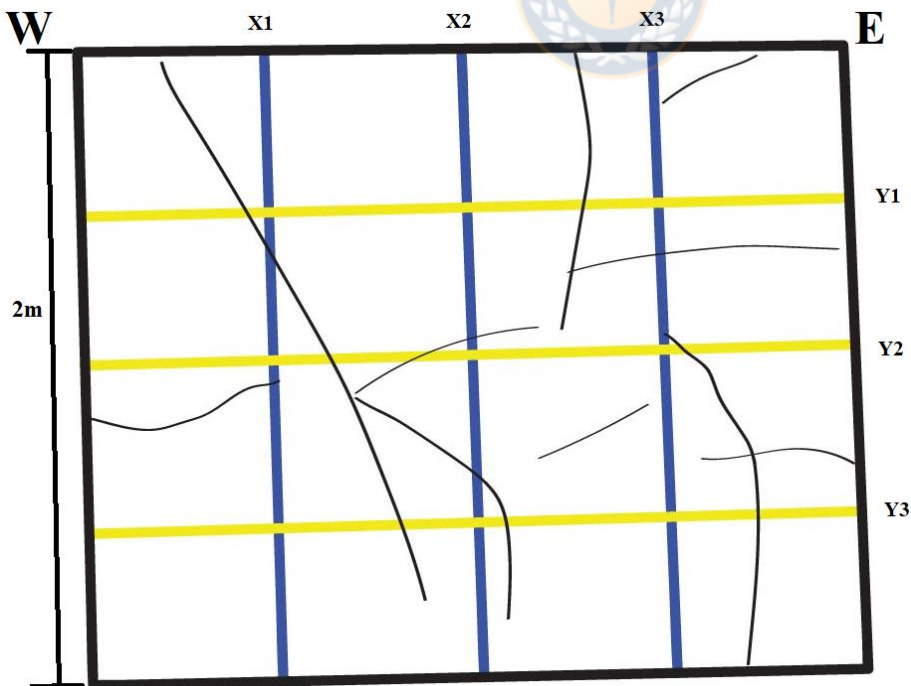
Litología: Roca basáltica, con presencia de fracturas, con presencia de burbujas en forma de cavidades ovaladas.

Promedio del ancho de las fracturas: 11 mm

Promedio largo de fracturas: 83.5cm
Fracturas sin relleno.

Tamaño promedio de burbujas

Largo: 2 cm
Alto: 1 cm
Ancho: 1 cm



Punto B5- Basaltos

GPS: 5859342
286361



Litología: Roca basáltica, con presencia de fracturas, con burbujas, evidencia de disyunción columnar.

Promedio del ancho de las fracturas: 6.83 mm

Promedio largo de fracturas: 88 cm
Fracturas sin relleno.

Tamaño promedio de burbujas
Largo: 0.8 cm
Alto: 1.2 cm
Ancho: 0.4 cm



Punto B6- Basaltos

GPS: 5859346
286363



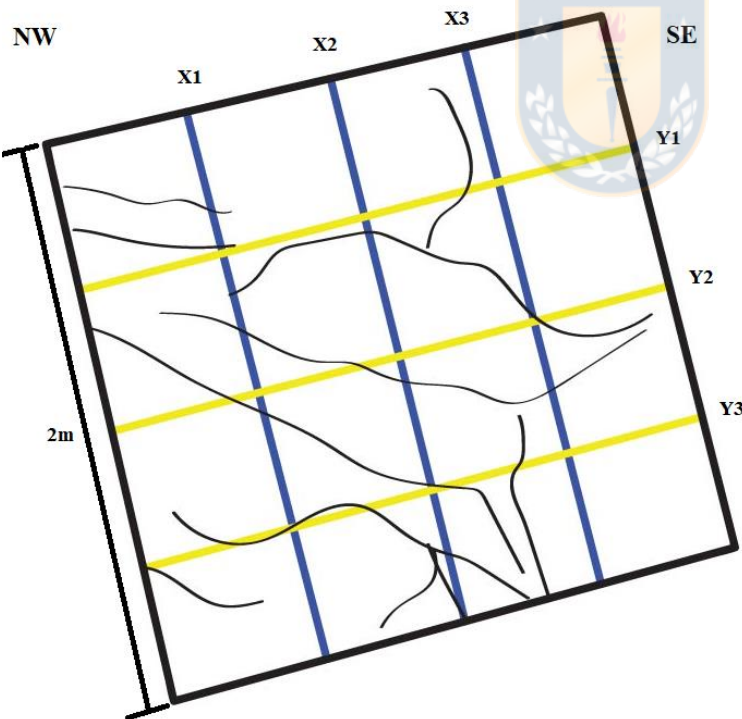
Litología: Roca basáltica, con presencia de fracturas, sin burbujas, evidencia de disyunción columnar.

Con sectores de basalto escoriáceos.

Promedio del ancho de las fracturas: 37 mm

Promedio largo de fracturas: 108.5 cm

Fracturas sin relleno.



Punto B7- Basaltos		GPS: 5859228 286408
W	E	<p>Litología: Roca basáltica principalmente escoriáceos, con presencia de fracturas, sin burbujas.</p> <p>Promedio del ancho de las fracturas: 35.23 mm</p> <p>Promedio largo de fracturas: 144.69 cm</p> <p>Fracturas sin relleno.</p>
W	E	
x1	x2	x3
y1	y2	y3
2 m		

Punto B8- Basaltos

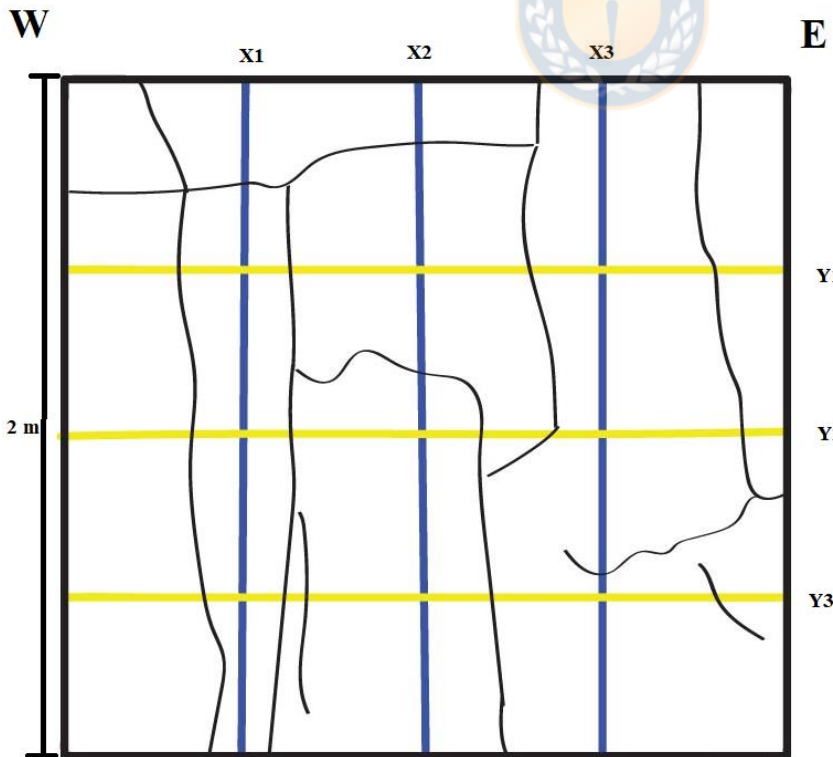
GPS: 5859315
286443


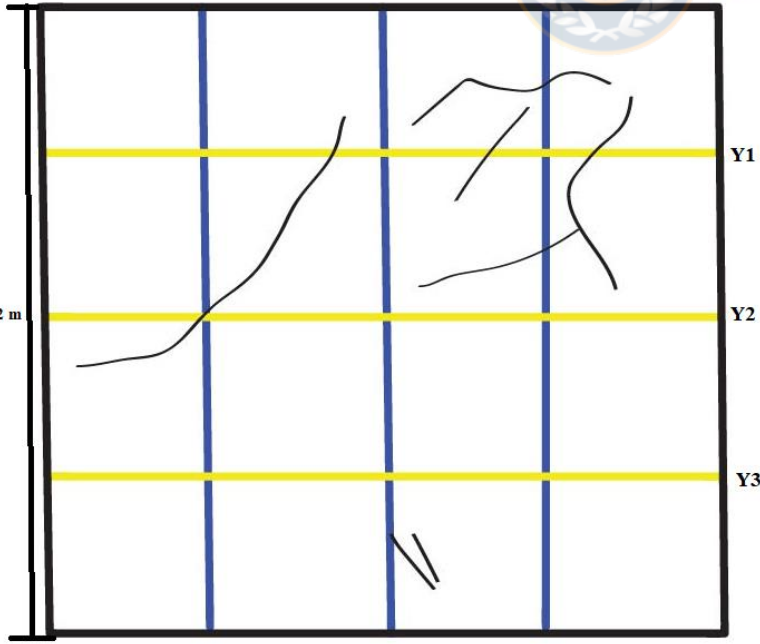


Litología: Roca basáltica, con presencia de fracturas, sin presencia de burbujas, evidencia de disyunción columnar.

Promedio del ancho de las fracturas: 13.53 mm

Promedio largo de fracturas: 109.6 cm
Fracturas sin relleno.



Punto B9- Formación Cura-Mallín		GPS: 5860282 289566
W	E	<p>Litología: Roca aglomerado volcánico, con una baja frecuencia de fracturas.</p> <p>Promedio del ancho de las fracturas: 1.375 mm</p> <p>Promedio largo de fracturas: 71.62cm</p> <p>Fracturas con relleno arcilloso</p>
		
W	<p>X1 X2 X3</p>	E
2 m		

Punto B10- Formación Cura-Mallín

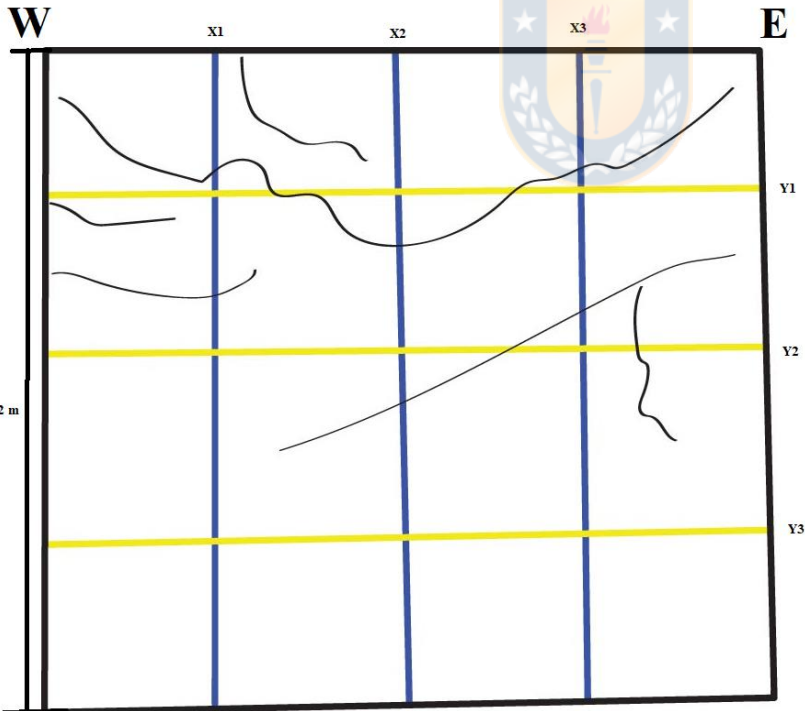
GPS: 5860287
289567



Litología: Roca aglomerado volcánico,

Promedio del ancho de las fracturas: 1.375 mm

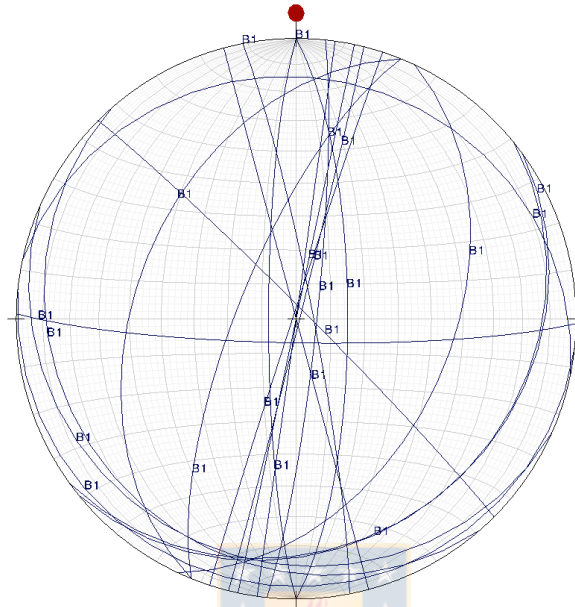
Promedio largo de fracturas: 71.62cm
Fracturas con relleno arcilloso



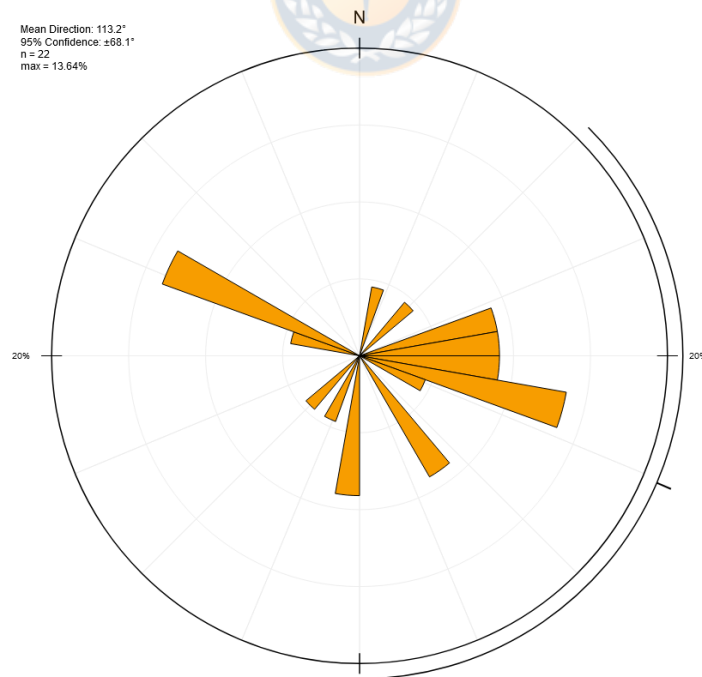
ANEXO V

Anexo V. Diagramas obtenidos a partir de Stereonet y diagrama de roseta de diaclasas.

Punto B1

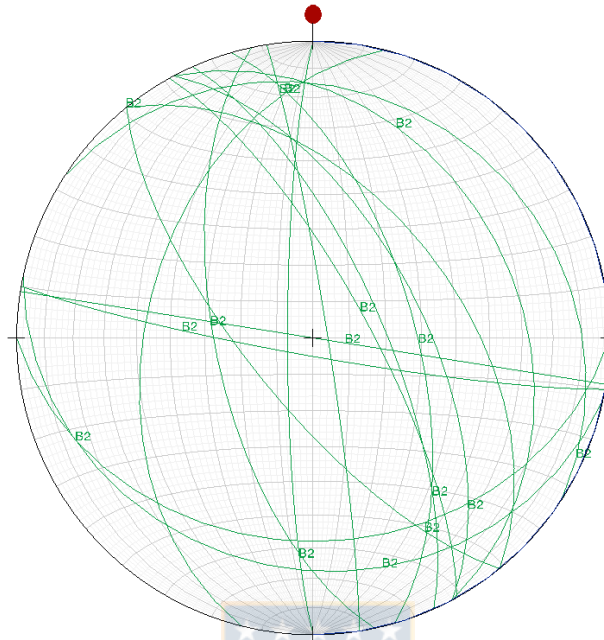


Mean Direction: 113.2°
95% Confidence: ±68.1°
n = 22
max = 13.64%

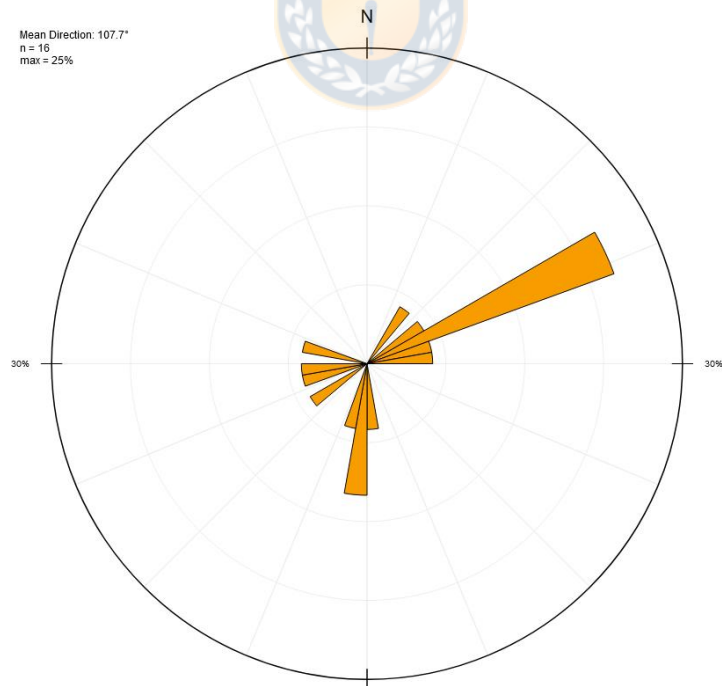


Se observan al menos dos familias de fracturas, lo cual se justifica debido a que este afloramiento se observaba disyunción columnar.

Punto B2

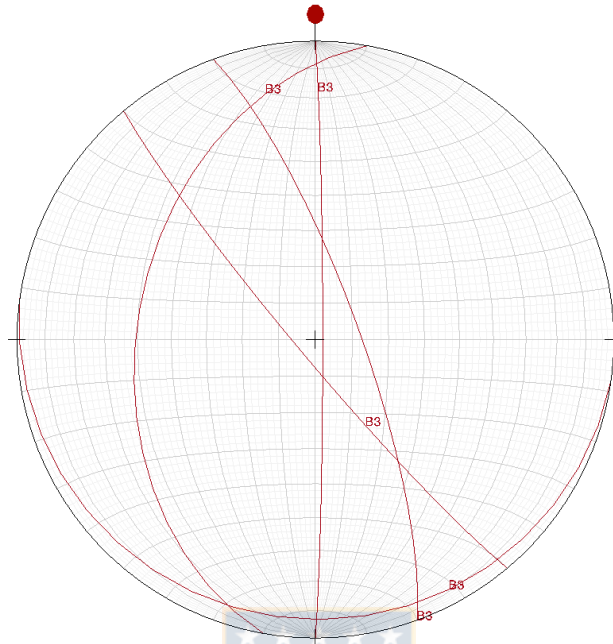


Mean Direction: 107.7°
n = 16
max = 25%

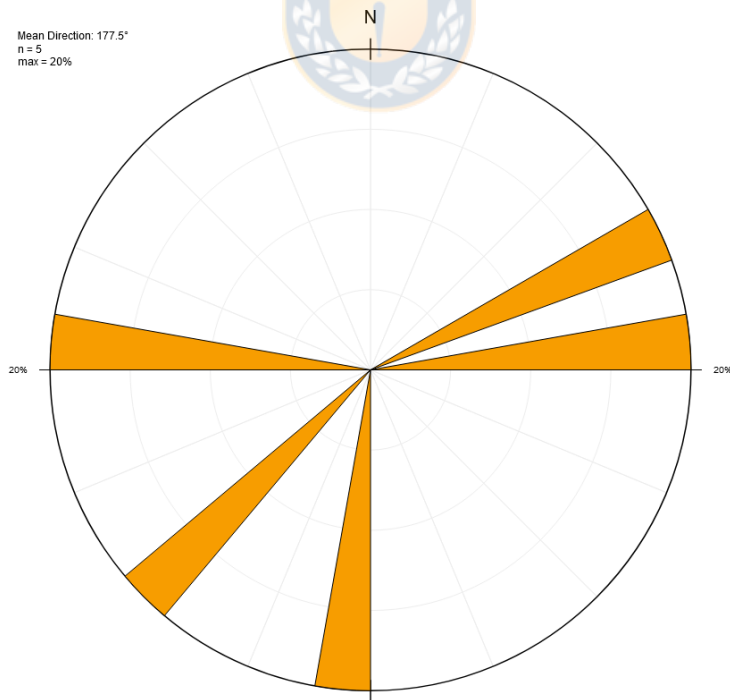


En este afloramiento, no se logra reconocer set de diaclasas.

Punto B3

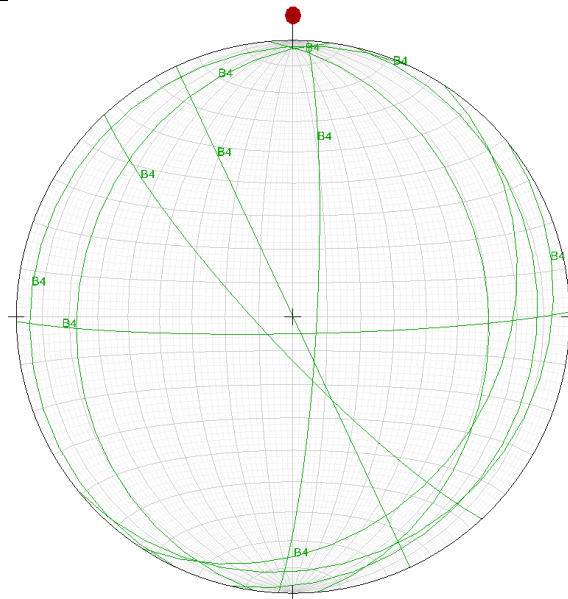


Mean Direction: 177.5°
n = 5
max = 20%

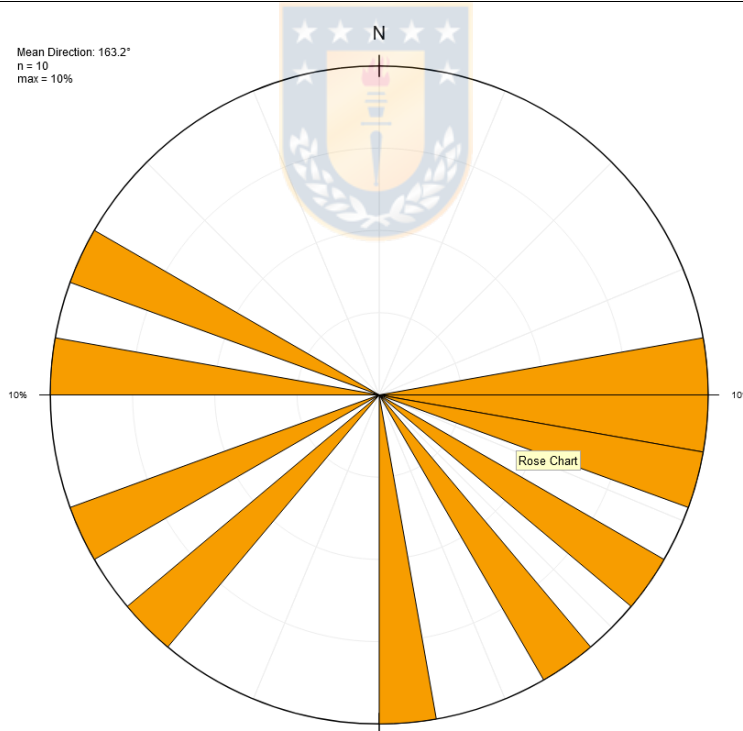


Si bien se reconoce distintos rumbos de diaclasas, debido al bajo número de tomas en este afloramiento no es representativo.

Punto B4

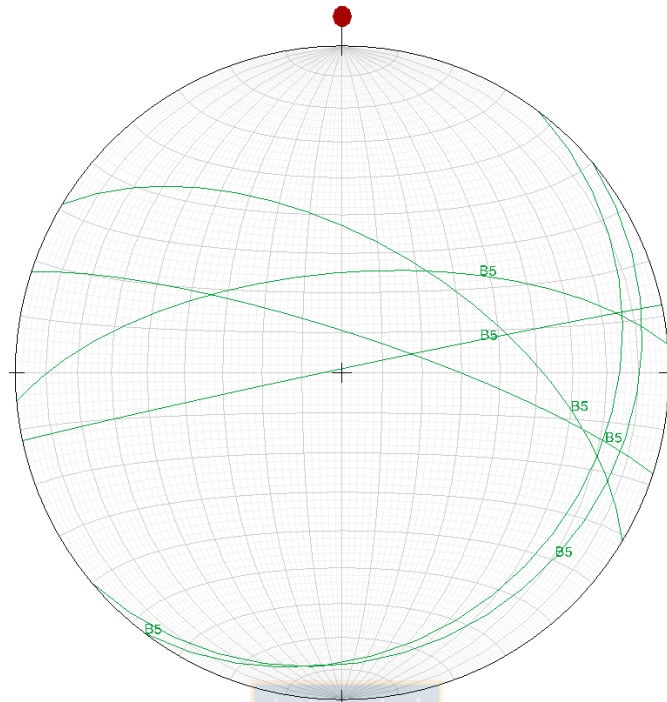


Mean Direction: 163.2°
n = 10
max = 10%

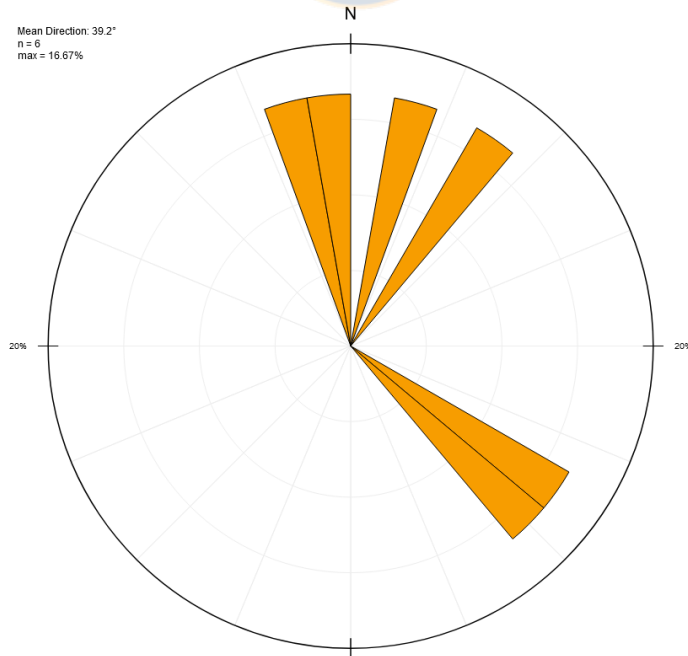


Se reconoce distintas familias de diaclasas.

Punto B5

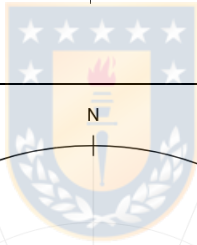
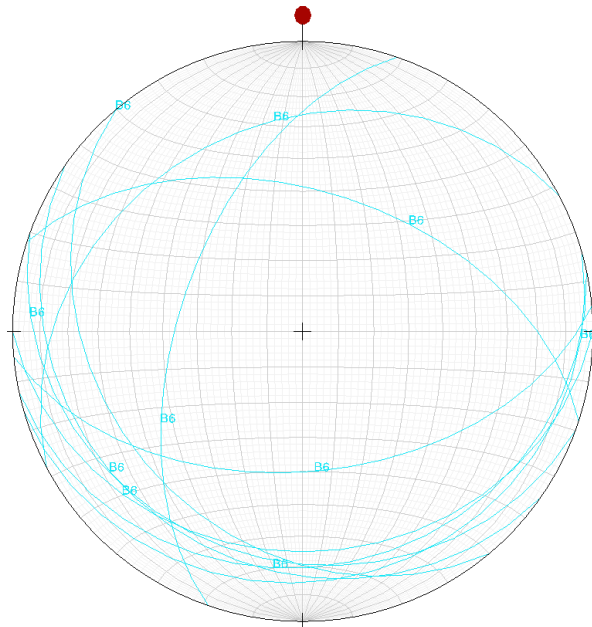


Mean Direction: 39.2°
n = 6
max = 16.67%

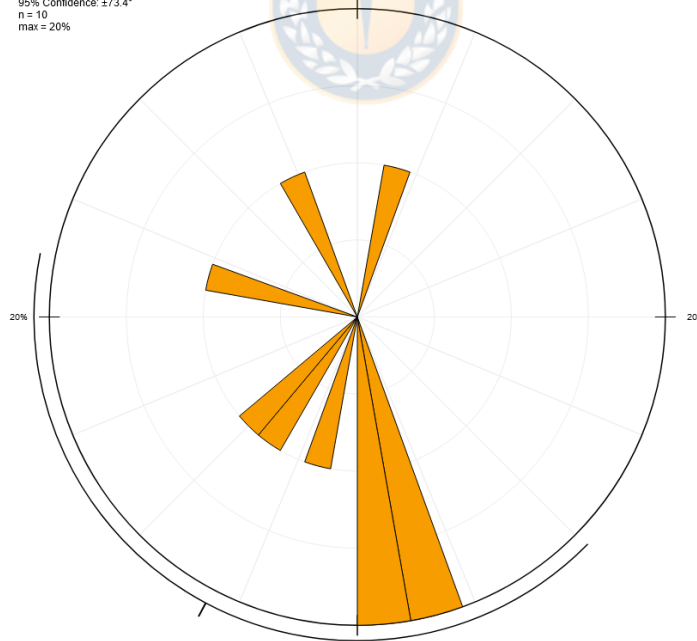


No se reconoce set de diaclasas, puede deberse a baja frecuencia de fracturas.

Punto B6

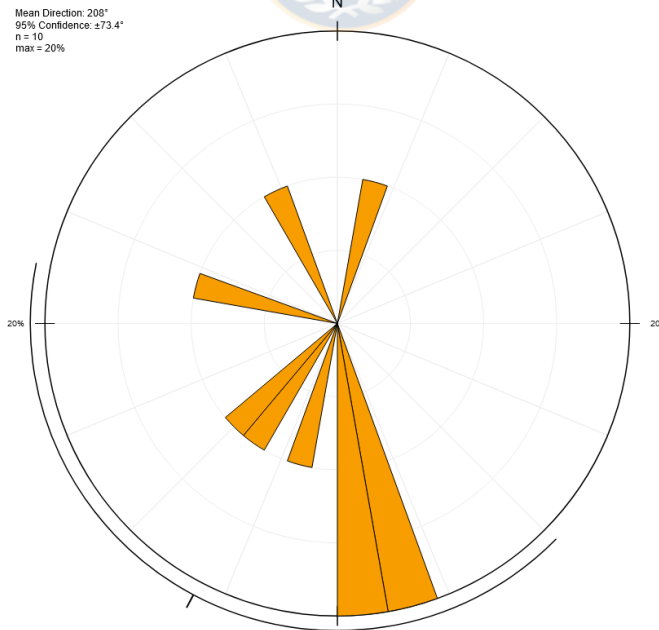
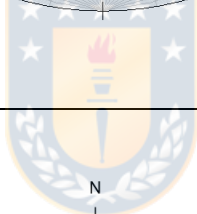
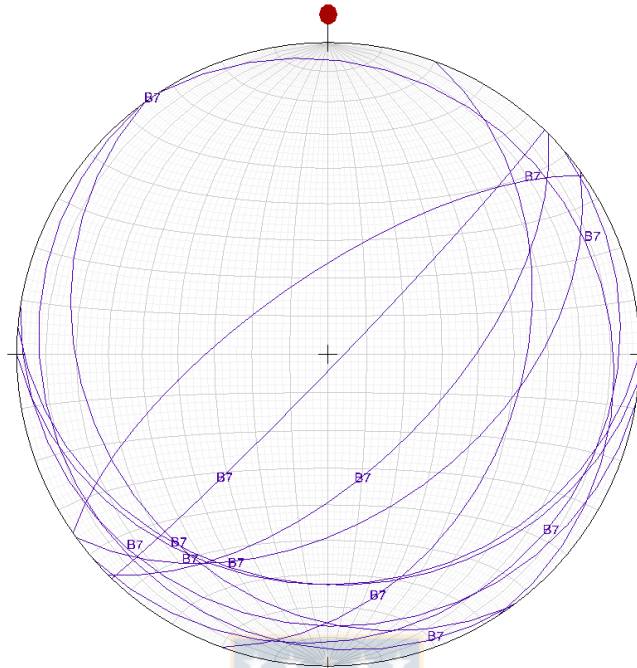


Mean Direction: 208°
95% Confidence: ±73.4°
n = 10
max = 20%



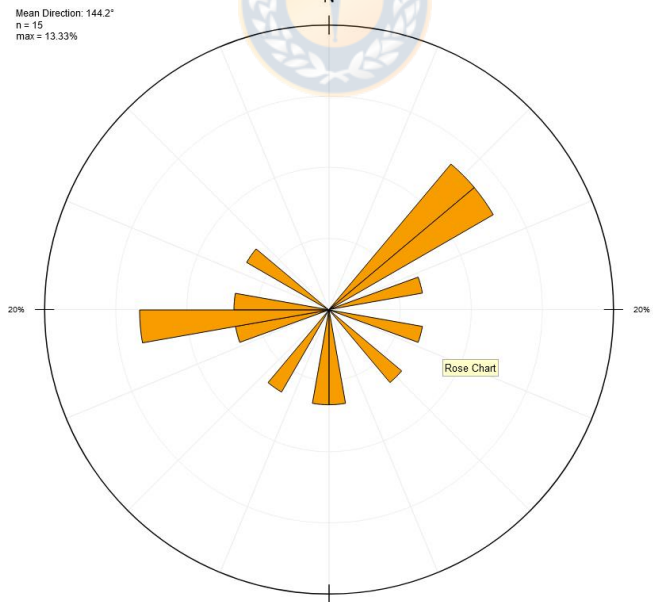
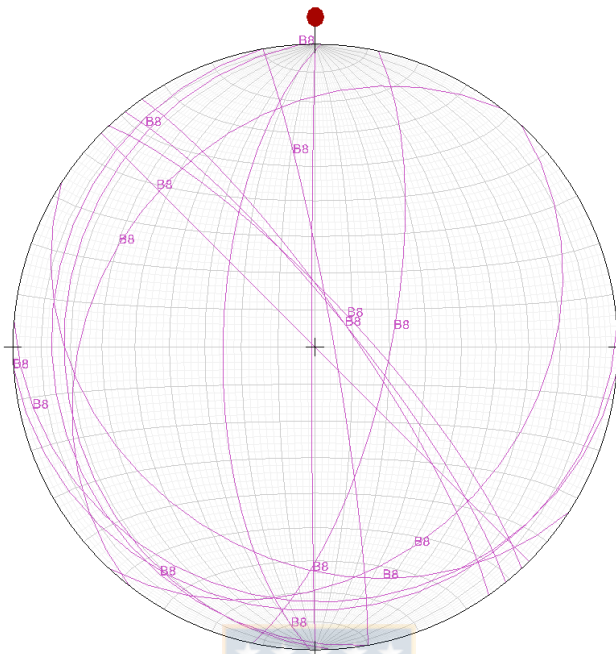
Se reconoce un set de diaclasas principal.

Punto B7



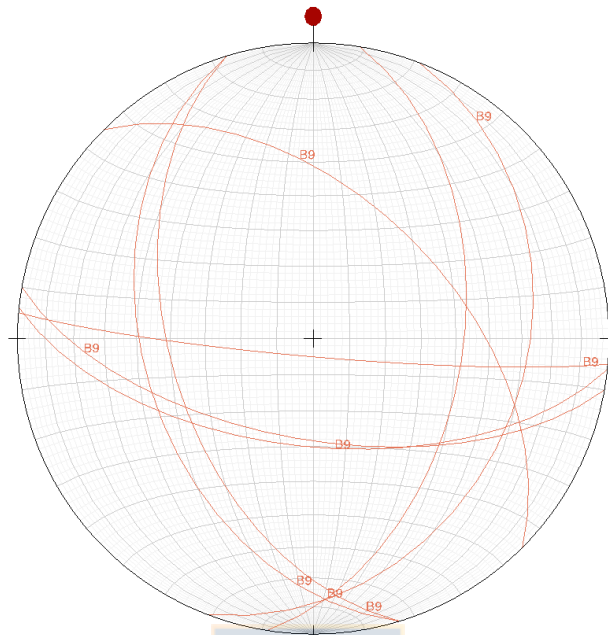
Se identifica un set de diaclasas principal con orientación NS

Punto B8

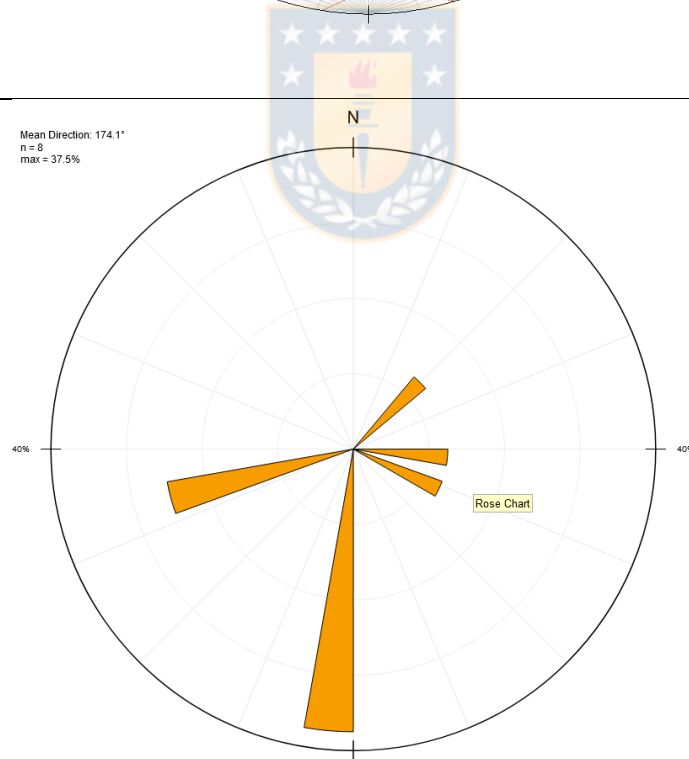


No se reconoce direcciones preferenciales de las fracturas, posiblemente debido a que el afloramiento presentaba disyunción columnar

Punto B9

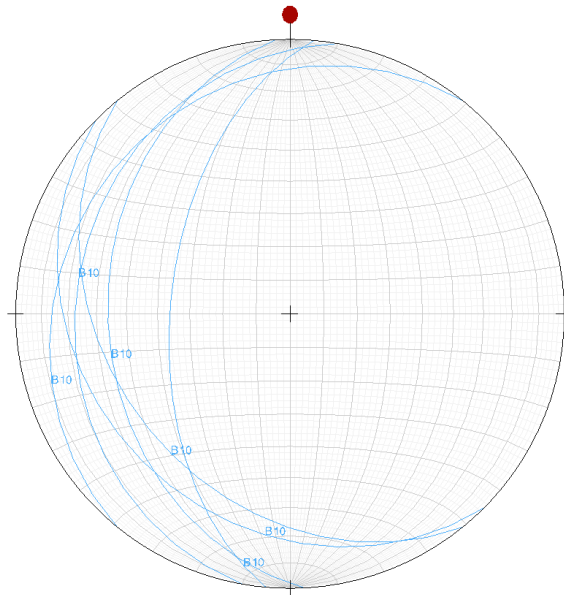


Mean Direction: 174.1°
n = 8
max = 37.5%

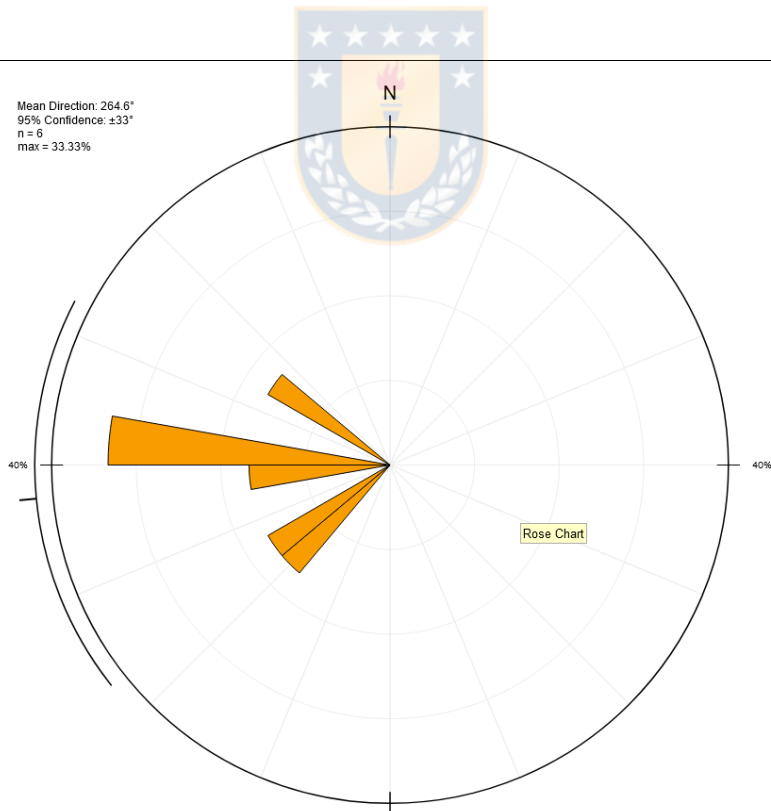


Si bien se reconoce una orientación preferencial NS, la cantidad de datos no lo hace representativo.

Punto B10

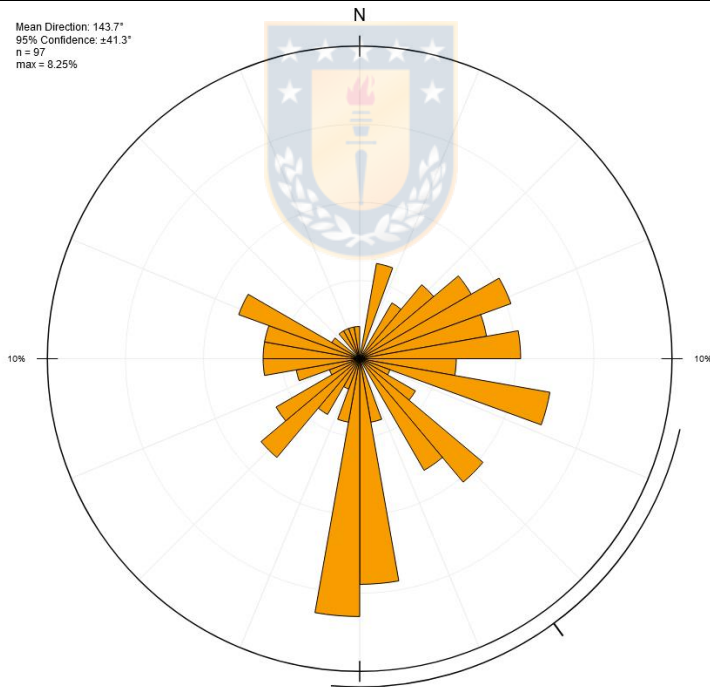
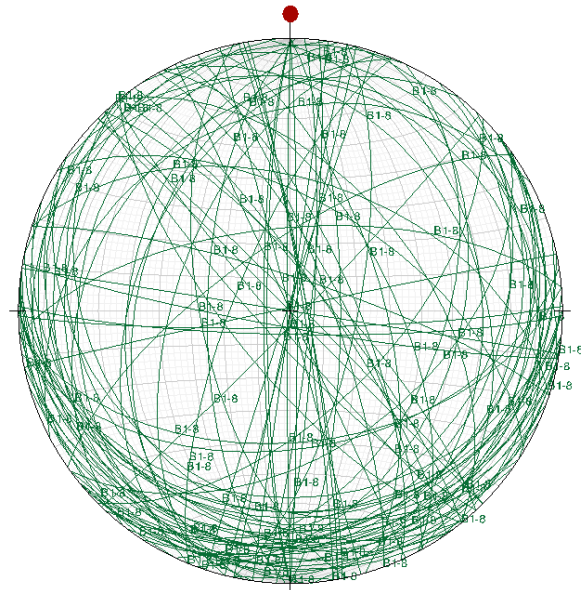


Mean Direction: 264.6°
95% Confidence: ±33°
n = 6
max = 33.33%



Se reconoce una orientación EW, sin embargo, debido a la baja frecuencia de estructuras no es del todo representativo.

Datos de estructuras desde B1-B8 (unidad de barrera de la Laguna de la Laja)



La sumatoria de todos los datos estructurales del punto B1-B8, permiten identificar una dirección preferencial NS, sin embargo, esta no responde a esfuerzos tectónicos, y la ausencia de otra orientación pareciera indicar, que la mayoría de las fracturas se deben más bien a un fenómeno de enfriamiento.