

**ACTUALIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA Y ESTIMACIÓN DE LA
DISPONIBILIDAD DE RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÁNEOS DE
LAS CUENCAS DEL RÍO TENO Y LONTUÉ, REGIÓN DEL MAULE.**

Memoria entregada a la Universidad Mayor en cumplimiento de los requisitos para optar al
Título de Geólogo

MARTÍN MÁRQUEZ GAJARDO

Profesor Guía:

ÁLVARO NAVARRETE CALVO

Miembros de la comisión:

JAVIER ADOLFO ARANCIBIA MORA

JORDI ESCORCIA TORRES

SANTIAGO DE CHILE

2024

ÍNDICE DE CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN	1
1.1	OBJETIVO GENERAL	2
1.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	2
1.3	HIPÓTESIS	3
1.4	METODOLOGÍA	3
1.4.1	Recopilación de antecedentes	3
1.4.2	Caracterización Geológicos e Hidrogeológicos	4
1.4.3	Balance Hídrico	4
1.4.3.1	Balance Hídrico del sistema	4
1.4.3.2	Balance interior en el acuífero	5
1.4.4	Resultado y Análisis	7
1.5	UBICACIÓN Y ACCESOS	8
2	ANTECEDENTES GENERALES	11
2.1	ANTECEDENTES DE TRABAJOS PREVIOS	11
2.2	MARCO GEOLÓGICO	14
2.2.1	Morfoestructuras Regionales	14
2.2.1.1	Cordillera de la Costa	16
2.2.1.2	Depresión Central	16
2.2.1.3	Cordillera Principal	16
2.2.2	Geología Regional	17
2.2.2.1	Rocas Estratificadas	19
2.2.2.2	Rocas Intrusivas	24
2.2.2.3	Depósitos Cuaternarios	24
3	RESULTADOS	28
3.1	HIDROLOGÍA	28
3.1.1	Pluviometría	30
3.1.1.1	Corrección, Relleno de estadísticas y Análisis de Homogeneidad	31
3.1.2	Fluviometría	35
3.1.2.1	Corrección y Relleno de estadísticas	36
3.1.3	Consideraciones Climáticas	37

3.2	GEOFÍSICA APLICADA	42
3.3	HIDROGEOLOGÍA	44
3.3.1	Estratigrafía Cuaternaria.....	44
3.3.2	Unidades Hidrogeológicas (UH)	49
3.3.2.1	Unidad Hidrogeológica 1: Medios intergranulares de bajo contenido de finos (30%)	50
3.3.2.2	Unidad Hidrogeológica 2: Medios intergranulares con abundante contenido de arcillas (>30%)	50
3.3.2.3	Unidad Hidrogeológica 3: medios rocosos de muy baja a nula permeabilidad.....	51
3.3.3	Perfiles Hidrogeológicos	53
3.3.4	Curvas Equipotenciales y Sentido de escurrimiento	58
3.3.5	Profundidad Nivel Estático	60
3.4	BALANCE HÍDRICO	63
3.4.1	BALANCE HÍDRICO DEL SISTEMA.....	66
3.4.1.1	Coefficiente de Escorrentía y Precipitación Neta (PN)	66
3.4.1.2	Evapotranspiración Real (ETR)	72
3.4.2	BALANCE INTERIOR EN EL ACUÍFERO	77
3.4.2.1	Recarga por Infiltración de Precipitaciones	77
3.4.2.2	Recarga por riego.....	80
3.4.2.3	Recarga por Infiltración desde Cauces Superficiales	86
3.4.2.4	Caudal de flujo subterráneo de salida	88
3.4.2.5	Explotación y Uso de las Aguas Subterráneas	91
3.4.3	Resultado Balance Hídrico.....	94
4	DISCUSIÓN	96
4.1	HIDROGEOLOGÍA	96
4.2	BALANCE HÍDRICO	99
5	CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES	105
5.1	CONCLUSIÓN.....	105
5.2	RECOMENDACIONES	107
6	REFERENCIAS	109
7	ANEXO	113

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1-1: MAPA DE UBICACIÓN Y ACCESO DE LA ZONA DE ESTUDIO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	8
FIGURA 1-2: MAPA CUENCA DEL RÍO MATAQUITO CON SU DIVISIÓN EN SUBCUENCAS (IZQUIERDA) Y ACUÍFERO CORRESPONDIENTE (DERECHA). FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA CON DATOS DE LA DGA.....	10
FIGURA 2-1: MAPA DE MORFOESTRUCTURAS EN LA CUENCA DEL RÍO TENO Y LONTUÉ. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	15
FIGURA 2-2: GEOLOGÍA REGIONAL DE LA ZONA DE ESTUDIO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA MODIFICADO DE DATOS DE LA DGA, 2012; SERNAGEOMIN, 2003.....	18
FIGURA 3-1: HIDROGRAFÍA DE LA CUENCA DEL RÍO TENO Y LONTUÉ. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA A PARTIR DE DATOS DE LA DGA.	28
FIGURA 3-2: HIDROGRAFÍA DE LA CUENCA CON LA UBICACIÓN DE LA ESTACIONES PLUVIOMÉTRICAS SELECCIONADAS. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA A PARTIR DE DATOS DE LA DGA.	30
FIGURA 3-3: ISOYETAS DE LA CUENCA DEL TENO Y LONTUÉ A PARTIR DE PRECIPITACIONES MEDIAS ANUALES DE 12 ESTACIONES PLUVIOMÉTRICAS PARA LOS DOS PERIODOS CORRESPONDIENTES. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA A PARTIR DE DATOS DE LA DGA.....	34
FIGURA 3-4: MAPA DE ISOTERMAS. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA A PARTIR DE DATOS DE LA DGA Y DMC.41	
FIGURA 3-5: PLANO ISOBÁTICO DEL ÁREA DEL VALLE CENTRAL. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA A PARTIR DE DATOS DE LA DGA, 2012.	43
FIGURA 3-6: DISTRIBUCIÓN DE PERFILES ESTRATIGRÁFICOS. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	45
FIGURA 3-7: PERFIL GEOLÓGICO A-A' Y B-B'. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	46
FIGURA 3-8: PERFIL GEOLÓGICO C-C' Y D-D'. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	47
FIGURA 3-9: PERFIL GEOLÓGICO E-E' Y F-F'. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	48
FIGURA 3-10: SISTEMA DE CLASIFICACIÓN DE ACUÍFEROS PROPUESTO POR STRUCKMEIER, W. Y MARGAT (1995).....	49
FIGURA 3-11: UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS SUPERFICIALES DE ACUERDO A RANGOS DE PERMEABILIDAD. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA A PARTIR DE DATOS DE CNR, 2006.....	52
FIGURA 3-12: PERFIL HIDROGEOLÓGICO A-A' Y B-B'. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	55
FIGURA 3-13: PERFIL HIDROGEOLÓGICO C-C' Y D-D'. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	56
FIGURA 3-14: PERFIL HIDROGEOLÓGICO E-E' Y F-F'. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	57
FIGURA 3-15: CURVAS EQUIPOTENCIALES CADA 20 METROS. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	59
FIGURA 3-16: MAPA CON RANGO DE PROFUNDIDAD DEL NIVEL ESTÁTICO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA....	62
FIGURA 3-17: MODELO DE ENTRADAS Y SALIDAS PARA EL BALANCE HÍDRICO Y EL BALANCE INTERIOR EN EL ACUÍFERO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	65
FIGURA 3-18: MAPA DE PENDIENTES CLASIFICADOS EN ONDULADOS O INCLINADOS (IZQUIERDA) Y MAPA DE USOS DE SUELO (DERECHA). FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA A PARTIR DE DATOS DE LA CONAF (MAPA USOS DE SUELO).....	68

FIGURA 3-19: MAPA DE COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA POR EL MÉTODO DE RAWS. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	69
FIGURA 3-20: MAPA DE COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA INTEGRANDO LA PLUVIOMETRÍA DEL MAPA DE ISOYETAS. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	71
FIGURA 3-21: MAPA QUE EVIDENCIA EL PORCENTAJE QUE SE EVAPOTRANSPIRA SEGÚN EL SECTOR. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	75
FIGURA 3-22: MAPA DE RECARGA POR PRECIPITACIÓN SECTORIZADO POR LAS ISOYETAS EN AMBOS PERIODOS. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	79
FIGURA 3-23: ZONA DE INFILTRACIÓN DESDE EL RÍO HACIA EL ACUÍFERO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA....	87
FIGURA 3-24: TRAZA Y PERFIL HIDROGEOLÓGICO G-G'. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	90
FIGURA 4-1: SECTOR DONDE COINCIDEN LAS CURVAS EQUIPOTENCIALES Y LAS CURVAS DE NIVEL. REPRESENTAN UN ÁREA DE AFLORAMIENTO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS HACIA LOS CAUCES SUPERFICIALES. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	99
FIGURA 7-1: PLANTA PERFILES GRAVIMÉTRICOS. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	133
FIGURA 7-2: TRAZADO PERFILES ESTRATIGRÁFICOS EFECTUADOS POR LA DGA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA A PARTIR DE DATOS DE LA DGA, 2012.	138
FIGURA 7-3: ÁREA DE LAS ESPECIES FRUTALES PREDOMINANTES EN LA CUENCA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA A PARTIR DE DATOS DE ICET (2022).ESTACIÓN RÍO TENO INFIERNILLO	146

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 3-1: ESTACIONES PLUVIOMÉTRICAS SELECCIONADAS	31
TABLA 3-2: ESTACIONES FLUVIOMÉTRICAS SELECCIONADAS	36
TABLA 3-3: TRAMOS CON RANGOS DE PROFUNDIDAD NIVEL ESTÁTICO.	61
TABLA 3-4: COEFICIENTE MÉTODO DE RAWS.....	67
TABLA 3-5: ESTACIONES HIDROMETEREOLÓGICAS SELECCIONADAS.	73
TABLA 3-6: MONTO TOTAL DE CAUDAL OTORGADO Y NÚMERO DE EXPEDIENTES TOTALES.	92
TABLA 3-7: USO Y CAUDAL OTORGADO HASTA 2008.	93
TABLA 3-8: USO Y CAUDAL OTORGADO HASTA 2022	93
TABLA 3-9: RECARGA POR INFILTRACIÓN DE PRECIPITACIONES PERIODO 1982 - 2007	78
TABLA 3-10: RECARGA POR INFILTRACIÓN DE PRECIPITACIONES PERIODO 2008 - 2020 ... ¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.	
TABLA 3-11: COEFICIENTE DE CULTIVO	82
TABLA 3-12: EFICIENCIA DE RIEGO SEGÚN EL MÉTODO DE APLICACIÓN.	84
TABLA 3-13: RESULTADO RECARGA POR RIEGO.	85
TABLA 3-14: RESULTADO CAUDAL SUBTERRÁNEO DE SALIDA	91
TABLA 3-15: RESULTADO BALANCE HÍDRICO DEL SISTEMA.....	94

TABLA 3-16: RESULTADO BALANCE INTERIOR EN EL ACUÍFERO.	94
TABLA 4-1: PERFIL Y N° DE EXPEDIENTE MODIFICADOS	97
TABLA 7-1: CALCULO DE ESCORRENTÍA SUPERFICIAL 2008 - 2020.....	142
TABLA 7-2: CÁLCULO DE ESCORRENTÍA SUPERFICIAL 1982 - 2007.....	142
TABLA 7-3: PROMEDIO MENSUAL DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL.	147
TABLA 7-4: RESULTADO DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN DE CULTIVO (2008-2020).....	147
TABLA 7-5: SUPERFICIE (HA) SEGÚN ESPECIE FRUTAL-HORTÍCOLA.	147
TABLA 7-6: DEMANDA DE AGUA SEGÚN ESPECIE FRUTAL Y HORTÍCOLA.	148
TABLA 7-7: PÉRDIDA DE AGUA POR RIEGO SEGÚN ESPECIE FRUTAL Y HORTÍCOLA.	148
TABLA 7-8: RESULTADO PERCOLACIÓN PROFUNDA SEGÚN EL MÉTODO DE RIEGO Y LA ESPECIE FRUTAL Y HORTÍCOLA.....	149

ÍNDICE DE GRÁFICOS

GRÁFICO 3-1: PRECIPITACIONES EN ESTACIONES PLUVIOMÉTRICAS SECTOR CORDILLERANO (GRÁFICO A) Y VALLE CENTRAL (GRÁFICO B) ENTRE 1982 Y 2020. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA A PARTIR DE DATOS DE LA DGA.	32
GRÁFICO 3-2: EVOLUCIÓN DECRECIENTE DEL CAUDAL DE LA ESTACIÓN RÍO TENO DESPUÉS DE JUNTA CON CLARO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA A PARTIR DE DATOS DE LA DGA.	37
GRÁFICO 3-3: RÉGIMEN DE ESCORRENTÍA NIVO-PLUVIAL, PRINCIPALMENTE, DE LAS ESTACIONES FLUVIOMÉTRICAS DE LA CUENCA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA A PARTIR DE DATOS DE LA DGA.....	37
GRÁFICO 3-4: GRÁFICO DE PRECIPITACIONES Y CAUDALES DESDE 1959 A 2020 EN LA ESTACIÓN PLUVIOMÉTRICA CURICÓ Y ESTACIÓN FLUVIOMÉTRICA RÍO TENO DESPUÉS DE JUNTA CON CLARO. ELABORACIÓN PROPIA A PARTIR DE DATOS DE CAMELS-CL.	38
GRÁFICO 3-5: TEMPERATURA MEDIA ANUAL DE LA ESTACIÓN CURICÓ. ELABORACIÓN PROPIA A PARTIR DE DATOS DE CAMELS-CL.	39
GRÁFICO 3-6: DISMINUCIÓN GRADUAL DEL NIVEL ESTÁTICO DE LA ESTACIÓN ESTADIO DE MOLINA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA A PARTIR DE DATOS DE LA DGA.	60
GRÁFICO 3-7: AUMENTO GRADUAL EN LA PROPORCIÓN DE ETR A TRAVÉS DEL TIEMPO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	74
GRÁFICO 3-8: ÍNDICE DE HUMEDAD EN AMBOS PERIODOS CORRESPONDIENTES PARA LA ESTACIÓN CONVENTO VIEJO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	77
GRÁFICO 3-9: EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL MEDIA MENSUAL DEL ÁREA DE ESTUDIO ENTRE 2008-2020. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA A PARTIR DE DATOS DE CAMELS-CL.FIGURA 3-22: MAPA DE RECARGA POR PRECIPITACIÓN SECTORIZADO POR LAS ISOYETAS EN AMBOS PERIODOS. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	79

GRÁFICO 3-9: EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL MEDIA MENSUAL DEL ÁREA DE ESTUDIO ENTRE 2008-2020. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA A PARTIR DE DATOS DE CAMELS-CL.	81
GRÁFICO 3-10: CANTIDAD DE POZOS APROBADOS Y CONSTRUIDOS EN LA ZONA DE ESTUDIO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA A PARTIR DE DATOS DE LA DGA.....	92
GRÁFICO 3-11: RESULTADO DEL BALANCE HÍDRICO DEL ACUÍFERO EN AMBOS PERIODOS (1982 – 2007 Y 2008 - 2020). FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA..	95
GRÁFICO 4-1: COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS DEL BALANCE HIDROLÓGICO PARA AMBOS PERIODOS. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	100
GRÁFICO 4-2: COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS DEL BALANCE INTERIOR EN EL ACUÍFERO PARA AMBOS PERIODOS. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	103

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 3.1 - HIDROLOGÍA	114
ANEXO 3.2 – MARCO GEOFÍSICO	128
ANEXO 3.3 – MARCO HIDROGEOLÓGICO	134
ANEXO 3.4 - BALANCE HÍDRICO	142

SOLO USO ACADÉMICO

RESUMEN

El presente trabajo de Memoria de título se enfoca en las subcuencas del río Teno y Lontué, que pertenecen a la cuenca del río Mataquito en la región del Maule. Dado los desafíos que enfrenta esta región en relación con la escasez hídrica, se ha llevado a cabo un estudio hidrogeológico con el propósito de determinar el comportamiento hidráulico del acuífero en el contexto de una megasequía e identificar el potencial hídrico de esta área.

El acuífero Teno-Lontué corresponde a un acuífero libre que se divide en tres unidades hidrogeológicas definidas en función de sus características sedimentológicas y texturales. Se clasifica con un alto potencial hidrogeológico (UH1) a los medios intergranulares con bajo contenido de finos (<30%) con permeabilidades que se presumen del orden de $1-10^2$ m/d. La unidad UH2 corresponde a depósitos de mala selección con abundantes arcillas (>30%), presenta una permeabilidad moderada a baja (10^{-1} a 10^{-4} m/d). Mientras que la unidad UH3 corresponde a medios rocosos con una porosidad primaria muy reducida a nula, las cuales se le asocian permeabilidades inferiores a 10^{-4} m/d. Se observó que ninguno de los sondajes alcanzó el basamento rocoso, lo que generó incertidumbre sobre la profundidad y capacidad de almacenamiento del acuífero.

La dirección del flujo subterráneo mostró una tendencia similar a la cuenca hidrográfica, con curvas equipotenciales perpendiculares al flujo superficial de los cursos de agua. Los mayores gradientes hidráulicos se encontraron en la cabecera del sector pre andino de las subcuencas, especialmente en la cuenca del río Teno. Se sugirió que el sector pre andino del río Teno mostraba un comportamiento influente, con recarga permanente desde el río hacia el acuífero.

Se realiza una evaluación cuantitativa de los recursos hídricos disponibles mediante un balance hídrico de la cuenca del río Teno y Lontué en dos periodos: 1982-2007 y 2008-2020. Los resultados entregan que para el primer periodo existía más entrada de agua al acuífero que salida, lo que da como resultado un aumento del volumen de agua subterránea. Sin embargo, durante el período de 2008-2020, caracterizado por una mega sequía, el balance hídrico mostró un resultado negativo, indicando que las extracciones de agua subterránea superaron las recargas naturales al acuífero debido a los cambios hidrometeorológicos (como el aumento de las temperaturas y disminución de las precipitaciones) y el incremento de los derechos de agua otorgados.

En resumen, el acuífero Teno-Lontué se encuentra en una situación de sobreexplotación, con una extracción de agua que supera la recarga natural, lo que ha llevado a una disminución del nivel del agua subterránea y una reducción en la capacidad de almacenamiento del acuífero.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, me gustaría expresar mi agradecimiento a todos los profesores (as) de la Universidad Mayor, quienes desempeñaron un papel fundamental en mi formación como geólogo. Cada uno contribuyó a mi crecimiento académico y profesional, brindándome los conocimientos necesarios para enfrentar los desafíos que este campo conlleva.

Quiero agradecer profundamente a mi profesor guía Álvaro Navarrete, quien se integró a mitad de camino de este estudio. Su ayuda y orientación fueron vitales para mi progreso en este proyecto.

Además, deseo expresar mi agradecimiento a Javier Arancibia y Jordi Escorcía, quienes formaron parte del comité evaluador de mi memoria. Su orientación y consejos fueron fundamentales en el desarrollo de mi investigación. En particular, quiero destacar la inmensa contribución de Jordi, quien se convirtió en un pilar fundamental en mi estudio. Siempre estuvo dispuesto a brindarme su apoyo, compartir sus conocimientos de la manera más efectiva y ser paciente en todo momento. No tengo dudas de que este estudio no habría sido posible sin su inestimable guía.

Quiero hacer una mención especial a Félix Pérez, mi maestro y guía espiritual. Durante estos años, su invaluable apoyo y sabios consejos fueron cruciales para mi formación en este campo que tanto me gusta y apasiona. Sin su guía, nada de esto habría sido posible.

Además, quiero expresar mi agradecimiento a todos mis amigos de la vida y a aquellos que hice durante la Universidad. Su constante respaldo y compañía hicieron que mi experiencia universitaria fuese más entretenida y memorable.

Por último, quiero expresar mi profundo agradecimiento a mi familia por su apoyo a lo largo de mi vida y mi formación profesional. Agradezco de manera especial a mis padres, Claudia y Hernán, cuyo inagotable ánimo, su respaldo incondicional y su amor han sido pilares fundamentales en mi camino, guiándome en cada paso y alentándome a alcanzar mis metas. A ellos les estoy eternamente agradecido.

1 INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas, las regiones de Chile continental han experimentado los efectos de una mega-sequía que ha provocado una clara disminución de las precipitaciones en torno al 40% según los estudios llevados a cabo por Garreaud y colaboradores (2020). La gravedad de esta situación ha sido confirmada por la Dirección General de Aguas, que catalogó el año 2021 como el cuarto año más seco registrado en la historia del país. Esta falta de precipitaciones continuas ha llevado a una disminución constante en los caudales de los ríos entre las regiones de Atacama y Aysén.

Una de las consecuencias más directas de esta prolongada sequía es la reducción en la recarga natural de los acuíferos, lo que ha agravado aún más la disponibilidad de agua para diversos usos en el país, ya sea para el consumo humano, la agricultura y otros sectores claves para la economía (ODEPA, 2018).

Un ejemplo notable de los impactos de esta sequía se observa en la cuenca del río Mataquito, ubicada en la región del Maule. Esta zona ha experimentado un creciente déficit hídrico que ha llevado a declaraciones recurrentes de escasez hídrica desde 2008 hasta la actualidad (DGA, 2022a), incluso declarada el 2015 como área de restricción en el sector acuífero Teno-Lontué. Esta situación se atribuye a una combinación de factores climáticos, normativos y de gestión, lo que ha dado como resultado una sobreexplotación de las aguas superficiales y subterráneas más allá de los límites sostenibles (DGA, 2015; UNESCO, 2021). Es importante destacar que esta área es de gran importancia agrícola a nivel nacional, lo que agrava aún más los desafíos que enfrenta la región del Maule en términos de desarrollo agrícola (DGA, 2018).

La disminución en las precipitaciones y los caudales de los ríos ha llevado a muchos agricultores a depender cada vez más de la extracción de agua subterránea para el riego de sus cultivos. En el área de estudio, se han otorgado un total de 1.334 derechos de aprovechamiento de agua subterránea y 629 derechos de aprovechamiento de agua superficial, siendo el sector agrícola el que posee el 66% del total de derechos otorgados (DGA, 2022b). Sin embargo, la creciente concesión de estos derechos de aprovechamiento

de agua se está llevando a cabo sin considerar adecuadamente la disponibilidad hídrica, lo que amenaza la sostenibilidad de los acuíferos a largo plazo (DGA, 2015).

Frente a esta situación y la incertidumbre ante la real disponibilidad del recurso hídrico subterráneo, resulta fundamental conocer el potencial hídrico que tiene el acuífero en el área de estudio. Es por esto que se espera contribuir a un mayor conocimiento del funcionamiento del acuífero y establecer la productividad de la cuenca mediante una actualización hidrogeológica, que permita mejorar la gestión del recurso y proyectar su uso de tal forma de ir avanzando hacia un uso sostenible del recurso hídrico.

1.1 Objetivo General

Generar una actualización hidrogeológica de la cuenca del río Teno y Lontué, que permita determinar el comportamiento hidráulico del acuífero y su productividad en tiempos de escasez.

1.2 Objetivos Específicos

Para alcanzar el objetivo general, se plantea los siguientes objetivos específicos:

- Actualizar las estadísticas pluviométricas y fluviométricas existentes; se analiza la calidad y extensión de los registros, rellenando y correlacionando aquellas estadísticas que presentan datos incompletos.
- Mejorar la geología de subsuperficie a partir de estratigrafía de sondaje ubicados en la cuenca.
- Construcción de perfiles geológicos e hidrogeológicos.
- Definir la superficie piezométrica y determinar direcciones de flujo del agua subterránea del acuífero en base a información de niveles estáticos.
- Generar un balance hídrico para dos periodos, 1982-1007 y 2008-2020 respectivamente, que permita calcular el volumen de agua almacenada en el acuífero y su variación a través del tiempo.

1.3 Hipótesis

La hipótesis de esta investigación plantea que, al llevar a cabo una actualización hidrogeológica en el contexto de una mega sequía, que incluya la actualización de datos de precipitaciones y recarga por infiltración, se logrará obtener un mayor conocimiento del balance hídrico del acuífero en la cuenca del río Teno y Lontué. Este enfoque conducirá a una mejora en la gestión del recurso y en la proyección de su disponibilidad futura, contrarrestando así la creciente escasez hídrica observada en las comunas de la zona.

1.4 Metodología

1.4.1 Recopilación de antecedentes

La metodología utilizada para llevar a cabo la investigación se centró en la recopilación de información de interés de diversas fuentes, con el fin de obtener una comprensión completa de la zona de estudio en términos de su geología, hidrología e hidrogeología.

Para ello, se llevó a cabo una búsqueda exhaustiva de literatura científica y técnica relacionada con el área de interés, con el objetivo de recopilar información geológica e hidrogeológica relevante, como por ejemplo la geología de la zona, la distribución y características del acuífero, las características de los ríos y cursos de agua en la zona.

Además, se recolectaron datos hidrometeorológicos históricos a partir de los expedientes del portal web de la Dirección General de Aguas (DGA), con el fin de obtener información sobre las precipitaciones y temperaturas en la zona de estudio. Esta información es de gran importancia para comprender el ciclo hidrológico de la zona y sus posibles variaciones en el tiempo.

Asimismo, se llevó a cabo una búsqueda de información hidrogeológica de captaciones existentes en la zona, con datos relacionados a sondajes, pruebas de bombeo y derecho de aprovechamiento de aguas. Esta información permitió obtener un catastro de captaciones de aguas subterráneas con su localización geográfica.

Por último, se recopiló información geofísica de la zona relacionada gravimetría principalmente. Este método geofísico permite obtener información detallada sobre las características del subsuelo, como la distribución y espesor del relleno sedimentario que pueden afectar el flujo de agua subterránea.

1.4.2 Caracterización Geológicos e Hidrogeológicos

Se llevaron a cabo 6 perfiles estratigráficos a partir de la información recolectada en los expedientes administrativos de la Dirección General de Aguas y geofísica de gravimetría para la profundidad del basamento. El software Strater fue utilizado para la elaboración de estos perfiles, los cuales permiten crear mapas transversales 2D mediante la visualización de datos de perforación. Estos perfiles se elaboraron a partir del análisis de las características sedimentológicas y texturales de los sondajes, lo que permitió agrupar la cuenca en seis unidades geológicas. Esta clasificación se basó en la granulometría de los depósitos y en el contenido de finos, con un umbral del 30% de arcilla. Luego, se confeccionaron los mapas geológicos utilizando Adobe Illustrator.

Los perfiles estratigráficos obtenidos sirvieron como base para la elaboración de perfiles hidrogeológicos. Estos perfiles, de acuerdo con la definición de la DGA (2012) y CNR-GCF (2006), definen 3 unidades hidrogeológicas en función de sus características sedimentológicas de las unidades geológicas existentes, las cuales, a su vez, determinan rangos estimativos de permeabilidad. De esta manera, varias unidades geológicas se agrupan para conformar unidades hidrogeológicas únicas.

1.4.3 Balance Hídrico

Se determina el balance hídrico de la cuenca de estudio, a través del cálculo de la recarga total y descarga total, analizando tanto los componentes hidrológicos como hidrogeológicos del balance.

1.4.3.1 Balance Hídrico del sistema

En el cálculo de la recarga dentro del balance hídrico del sistema, el primer paso consiste en determinar la precipitación media anual de la zona utilizando el método de las

isoyetas. Para llevar a cabo este cálculo, se utilizó información proveniente de series estadísticas de precipitaciones mensuales recopiladas durante un periodo de 38 años, comprendido entre abril de 1982 y marzo de 2020. Estas series estadísticas se obtuvieron a partir de datos recolectados en 12 estaciones pluviométricas pertenecientes a la Dirección General de Aguas (DGA).

Para el cálculo de la evapotranspiración real (ETR) se emplea el método de Turc, utilizando valores mensuales promedio de precipitaciones y temperatura para un periodo comprendido entre 1982 y 2020, calculando la evapotranspiración real para cada mes del periodo estudiado. Estos datos se obtienen de la Dirección General de aguas (DGA) y la Dirección Meteorológica de Chile (DMC), utilizando registros de 8 estaciones hidrometeorológicas bien distribuidas y con un amplio registro temporal en la zona de estudio.

La escorrentía superficial se calcula multiplicando la precipitación total del área por el coeficiente de escorrentía. El cálculo del coeficiente se realiza utilizando el método de Raws, el cual tiene en cuenta el relieve y el uso de suelo como factores determinantes. La información respecto al uso de suelo se obtiene desde un archivo ESRI Shapefile proporcionado por la CONAF y actualizada al año 2016.

1.4.3.2 Balance interior en el acuífero

Se genera un balance de aguas considerando las distintas entradas y salidas que tiene el acuífero. Entre las entradas del balance se tiene 3 tipos de recarga:

- Recarga por infiltración de precipitaciones, el cual se determina multiplicando la precipitación media anual, obtenido en el método de las isoyetas, por el área del relleno de la cuenca por un coeficiente de infiltración asociado al medio permeable obtenido de la DGA (2006), el cual corresponde entre un 20 y 25% ponderado.
- Recarga por riego, que se obtiene siguiendo la siguiente metodología:
 1. Calcular la Evapotranspiración Potencial (ET_o) utilizando la herramienta CAMELS-CL.

2. Obtener los coeficientes de cultivo (K_c) para los diferentes cultivos de la zona de estudio. Estos valores se encuentran en la Tabla 3-11.
 3. Calcular la Evapotranspiración de Cultivo (ET_c) multiplicando la ET_o por el K_c correspondiente.
 4. Determinar la Demanda bruta de riego (Db) multiplicando la ET_c por el área de cultivo y dividiendo por la Eficiencia de riego (Er), que varía según el método de riego empleado. Los coeficientes de eficiencia se encuentran en la Tabla 3-12.
 5. Calcular las Pérdidas por riego (Pr) restando la Demanda bruta (Db) a la Eficiencia de riego (Er).
 6. Calcular la infiltración por Percolación profunda (Pp) multiplicando las Pérdidas por riego (Pr) por el Coeficiente de percolación (Cp), que se determinó mediante la ponderación de valores de coeficiente de percolación del estudio realizado por CNR (2006), siendo un coeficiente entre 20 y 22% ponderado para toda la cuenca.
 7. Obtener los resultados de la recarga por Percolación profunda (Pp) para cada cultivo considerado en el periodo de estudio. Los valores se encuentran en la Tabla 3-13.
- En relación con la recarga por infiltración de cauces superficiales, se identifican zonas de infiltración desde el cauce mediante el análisis de las curvas equipotenciales. El valor de infiltración se estima calculando el porcentaje de infiltración desde el lecho, utilizando los resultados del estudio realizado por la DGA (2006), dicho valor se multiplica por la longitud del lecho del río que presenta infiltración y por el caudal medio anual del cauce superficial.
 - En el contexto de la explotación y uso de las aguas subterráneas en las cuencas Teno y Lontué, se realizó una solicitud a la DGA (Dirección General de Aguas) para obtener información sobre los derechos de agua subterránea existentes en la Región del Maule VII. Esta información se encuentra disponible en el Catastro Público de Aguas (CPA). Se llevó a cabo un proceso de filtrado y depuración de la base de datos para identificar los expedientes pertinentes, centrándose en las comunas incluidas en la cuenca de estudio, que son Curicó, Molina, Rauco, Romeral, Sagrada Familia y Teno. De los expedientes resultantes, se realizó un nuevo filtro por cuenca para

identificar aquellos expedientes que corresponden a la cuenca del Río Teno y Lontué y no considerar los expedientes presentes en comunas parcialmente contenidas en la cuenca, pero que por su ubicación corresponden a otra cuenca. Posteriormente, se aplicó un filtro adicional para clasificar los expedientes según el tipo de solicitud relacionada con el agua subterránea (ND, NR, VPC, AU). Como resultado, se obtuvo una base de datos que muestra el número total de expedientes (con y sin coordenadas) con derechos de agua subterránea otorgados, el caudal total asignado y el uso del agua correspondiente a cada expediente.

- Para determinar el flujo de agua subterránea de salida, se aplica la Ley de Darcy, que relaciona el gradiente hidráulico, la conductividad hidráulica del medio y la sección transversal por donde fluye el agua. Para ello, se realiza una estratigrafía de sondaje con el fin de identificar y caracterizar las unidades hidrogeológicas presentes en el subsuelo. Se determina la permeabilidad de estas unidades y se calcula el área transversal que abarcan en el perfil hidrogeológico utilizando el software AutoCAD. Asimismo, se obtiene el gradiente hidráulico promedio mediante la relación $\Delta h/\Delta l$ en el mapa de curvas equipotenciales. Estos parámetros son fundamentales para aplicar la Ley de Darcy y calcular el flujo de agua subterránea de salida.

1.4.4 Resultado y Análisis

En esta etapa, se lleva a cabo el análisis e interpretación de los datos adquiridos en los capítulos anteriores, con el objetivo de generar una caracterización que permita comprender la hidrogeología de la zona de estudio. Para ello, se analizan detalladamente las unidades hidrogeológicas descritas a partir de los perfiles estratigráficos y la geofísica.

Además, se emplea la información obtenida en el capítulo 1.4.1 para la generación de diversas figuras, tales como mapas geológicos, topográficos, hidrológicos e hidrogeológicos, utilizando el software ArcGIS 10.6. Estos mapas son esenciales para la visualización de la distribución espacial de las diferentes características hidrológicas e hidrogeológicas de la zona de estudio.

1.5 Ubicación y Accesos

El área de estudio se localiza en la cuenca del río Mataquito, al norte de la región del Maule, con una extensión de la cuenca de 6.190 km² (Figura 1.1). Esta cuenca se subdivide en tres subcuencas: subcuenca del río Mataquito, subcuenca del río Teno y subcuenca del río Lontué (Figura 2.2). El sistema de acuíferos de la cuenca del río Mataquito se subdivide en dos: acuífero Mataquito y acuífero Teno – Lontué, con una superficie de 435 y 1.024 km² respectivamente.

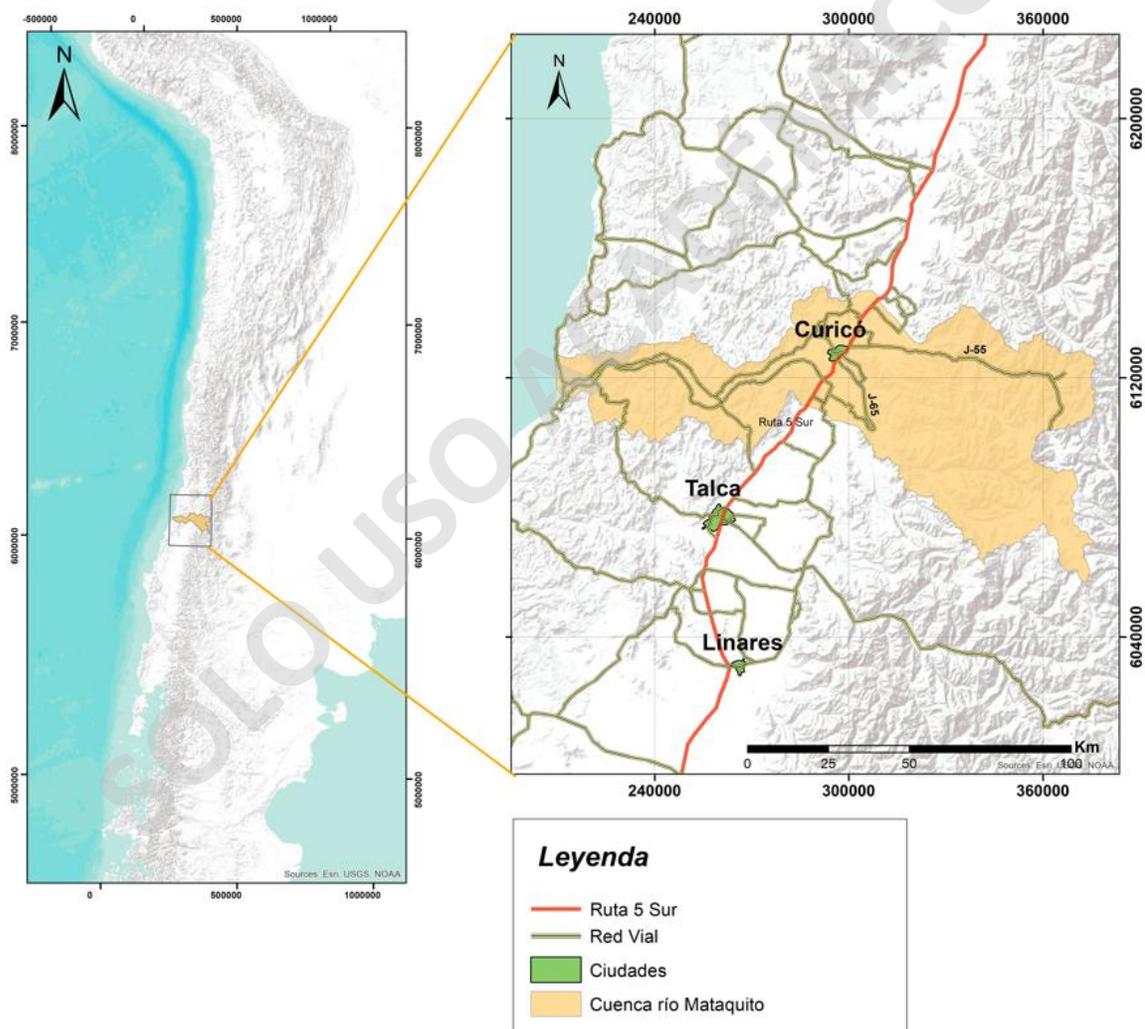


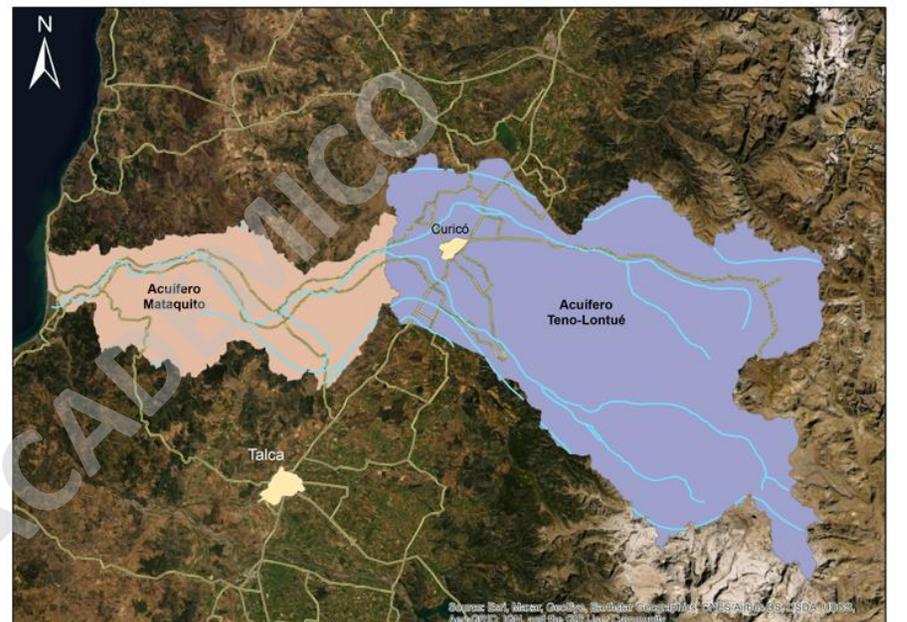
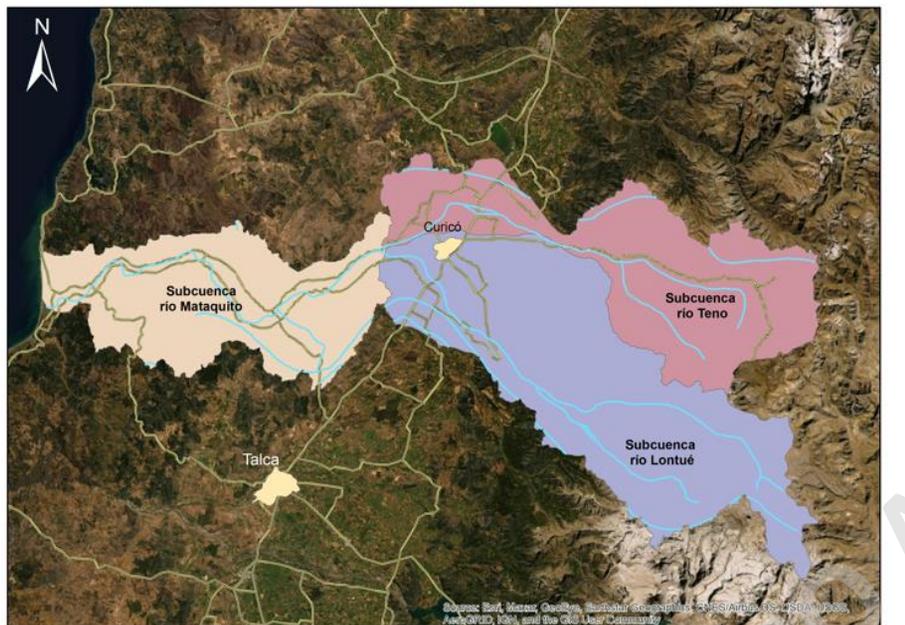
Figura 1-1: Mapa de ubicación y acceso de la zona de estudio. Fuente: Elaboración propia.

El área de análisis corresponde a la subcuenca del río Teno y Lontué como se representada en la Figura 1.2, con su acuífero correspondiente denominado Teno-Lontué. Se sitúa en la provincia de Curicó, en las comunas de Molina, Curicó, Rauco, Sagrada Familia, Romeral, Teno y San Clemente. A esta zona se puede acceder desde el norte o del sur a través de la Carretera Ruta 5 Sur, el cual conecta hacia el oriente a la zona de estudio con la ruta J-55 y J-65 como indica la Figura 1.1.

SOLO USO ACADÉMICO

Subcuencas del río Mataquito

Acuíferos cuenca del río Mataquito



Leyenda

- | | |
|---|---|
|  Hidrografía | Subcuenca |
|  Red Vial |  Río Lontue |
|  Ciudades |  Río Mataquito |
| |  Río Teno |

Leyenda

- | | |
|---|---|
|  Hidrografía | Acuíferos |
|  Red Vial |  Mataquito |
|  Ciudades |  Teno - Lontue |

Figura 1-2: Mapa cuenca del río Mataquito con su división en subcuencas (izquierda) y acuífero correspondiente (derecha). Fuente: Elaboración propia con datos de la DGA.

2 ANTECEDENTES GENERALES

2.1 Antecedentes de trabajos previos

A continuación, se presentan los trabajos previos que se han empleado en este informe debido a su relevancia en el campo de la hidrogeología:

- *Estudio de Calidad de Aguas Subterráneas en las cuencas de Huasco-Mataquito. CNR-GCF Ingenieros Consultores Ltda. Febrero 2006.*

Este estudio generó un levantamiento geológico de superficie a partir del cual fue posible caracterizar las unidades hidrogeológicas principales mediante rangos estimativos de permeabilidad. De esto se definen tres unidades:

- Unidad 1: Medios intergranulares de permeabilidad moderada a alta.
- Unidad 2: Medios intergranulares y fracturados de permeabilidad moderada a baja.
- Unidad 3: Medios rocosos de permeabilidad muy baja a nula.

Además, se efectuó una exploración geofísica, específicamente orientada a determinar el espesor del relleno sedimentario y consecuentemente la profundidad de la roca basal. La exploración fue mediante Gravimetría.

Según el estudio geofísico, los mayores espesores del relleno sedimentario se alcanzan en el sector del valle central de la cuenca del río Mataquito, donde además los depósitos logran su mayor amplitud en superficie, llegando incluso a cubrir una zona de hasta 30 Km. de ancho. Además, existe un angostamiento en la zona de confluencia de sus principales afluentes (Teno y Lontué), lo cual provoca además una notable disminución del espesor de los rellenos sedimentarios, el que, sin embargo, no deja de ser importante, pudiendo encontrarse espesores de hasta 100 m principalmente entre la confluencia de ambos ríos.

La información geofísica proporcionada en este estudio desempeña un papel fundamental al ofrecer los primeros resultados obtenidos en la región, contribuyendo significativamente al avance del conocimiento sobre las unidades acuíferas presentes. Este análisis permite la determinación de la interfaz sedimento-basamento, lo cual resulta crucial para la caracterización del subsuelo. A pesar de estos logros, es necesario señalar que la información

gravimétrica recopilada en campo es limitada, ya que se llevaron a cabo únicamente tres perfiles gravimétricos, los cuales abarcaron una distancia reducida en un área de estudio tan extensa, como se evidencia en la Figura 7-1 del Anexo 3.2. Esta escasez de datos gravimétricos impide una representación completa de la variabilidad en la profundidad de la roca basal. En consecuencia, la capacidad del estudio geofísico para caracterizar las formaciones hidrogeológicas presentes en el área de estudio se ve comprometida.

- *Mejoramiento y Ampliación de Red de Aguas Subterráneas, Regiones VII a X. (Conic BF Ingenieros Civiles. - DGA. Diciembre 2010)*

El objetivo central del trabajo fue la formulación y/o proposición de una red de medición de aguas subterráneas para la zona comprendida entre el río Mataquito (VII Región) y el río Maullín (X Región de Los Lagos).

Dentro de las labores desarrolladas se efectuó una descripción Geológica e Hidrogeológica, incluyendo esta última, aspectos tales como: catastro de captaciones, definición de acuíferos, profundidad de niveles estáticos, y dirección de escurrimiento, el cual es similar al escurrimiento superficial del río Mataquito, es decir, de Este a Oeste.

La información que será de utilidad será los registros de niveles estáticos medidos en diciembre del año 2010 en los pozos seleccionados como parte de la red y que están dentro del área en estudio. Esta última información permitirá visualizar el comportamiento de esta variable en el tiempo, ya que se cuenta con registro de niveles en otros períodos.

En el marco de este estudio, es importante señalar que la información estratigráfica proveniente de los pozos en el área, combinada con las prospecciones geofísicas disponibles (proporcionadas por antecedentes previos), presenta limitaciones significativas. Se observa un vacío considerable en los perfiles construidos, lo que impacta directamente en la comprensión detallada de la estratigrafía subsuperficial. Asimismo, destacar que los esfuerzos destinados a la caracterización estratigráfica se concentraron principalmente en el sector occidental de la cuenca. Este enfoque ha llevado a una carencia significativa de información y, consecuentemente, a una falta de caracterización en el sector oriental.

- *Estudio Hidrogeológico Cuenca del río Mataquito. Aquaterra Ingenieros Limitada. –DGA. Diciembre 2012.*

Este estudio llevó a cabo un levantamiento de la información hidrogeológica y, a partir de ello, el desarrollo de un modelo conceptual y numérico (de flujo) del acuífero de la cuenca del río Mataquito. Además, realizó un balance hídrico cuantificando la disponibilidad del recurso hídrico y la interpretación de pruebas de bombeo de pozos, obteniendo valores de permeabilidad, profundidad del relleno de la cuenca, entre otros. Se concluye que, si no se considera factores de uso, el caudal teóricamente explotable sería de 9,9 m³/s.

Adicionalmente, se llevó a cabo un levantamiento gravimétrico que abarcó 12 perfiles distribuidos estratégicamente en el Valle Central. Este levantamiento no solo incluyó la toma de datos gravimétricos, sino también la ubicación e identificación de cada punto gravimétrico. Proporcionando antecedentes generales de la morfología del basamento rocoso en el área de estudio, información que estaba ausente en los estudios anteriores.

También, se llevó a cabo una caracterización de subsuperficie mediante estratigrafía de sondaje, permitiendo la definición de unidades hidrogeológicas en la cuenca. Este enfoque tuvo en cuenta las características sedimentológicas de los depósitos y consecuentemente su permeabilidad. Sin embargo, al analizar los perfiles realizados por el consultor, se evidencia que en algunos casos existe un espaciamiento de hasta 12 km entre ellos, lo que indica la existencia de un vacío significativo de información sin caracterizar.

La identificación de esta falta de información resalta la necesidad de corregir las diferencias en el espaciamiento para obtener una representación mas completa y equitativa de la información geológica e hidrogeológica de el área de estudio. De esta manera, se contribuye a una evaluación mas precisa de las condiciones subsuperficiales.

- *Evaluación de la Disponibilidad de Recursos Hídricos Subterráneos en el sector Acuífero Teno-Lontué. Informe Técnico DARH N°44. Marzo 2015*

Evalúa la disponibilidad de recursos hídricos subterráneos para la constitución de nuevos derechos de aprovechamiento en el sector acuífero Teno-Lontué. El análisis concluye que en el acuífero la demanda de agua subterránea comprometida supera el volumen sustentable,

estimándose que existe riesgos de grave disminución del acuífero. La Dirección General de Agua declara al acuífero Teno-Lontué como área de restricción.

2.2 Marco Geológico

En este contexto, en el primer capítulo se detallan y describen las unidades morfoestructurales más significativas de la región de estudio, mientras que en el segundo capítulo se elabora un mapa geológico (Figura 2.2) utilizando como referencia el mapa geológico propuesto por la DGA (2012) y el mapa geológico de Chile a escala 1:1.000.000 elaborado por SERNAGEOMIN (2002).

2.2.1 Morfoestructuras Regionales

La región del Maule presenta 4 unidades morfoestructurales principales, dispuestas en franjas de orientación NNE-SSW, las que de oeste a este son: planicies litorales, cordillera de la costa, depresión central y cordillera principal. En el área de estudio, los principales rasgos geomorfológicos corresponden a la cordillera principal y depresión central, y en menor medida la cordillera de la costa (Figura 2.1).

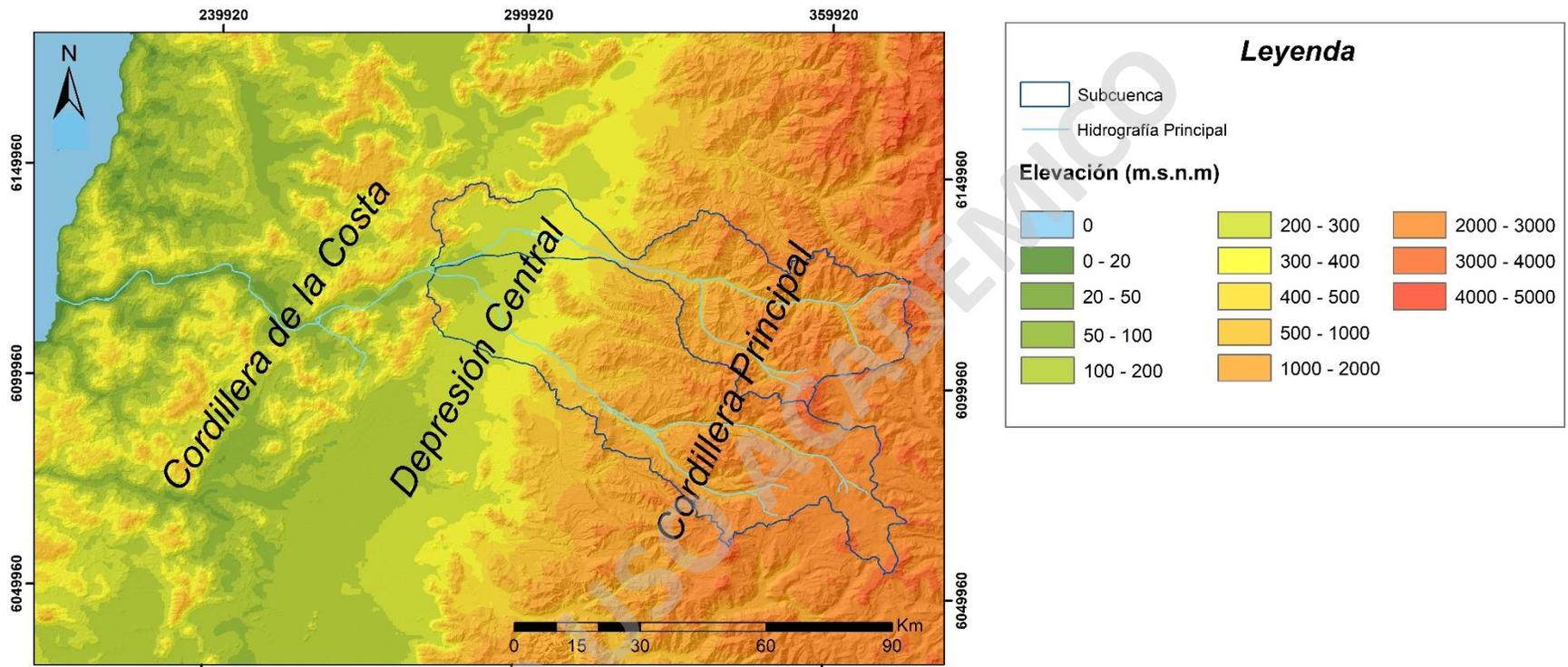


Figura 2-1: Mapa de morfoestructuras en la cuenca del río Teno y Lontué.
Fuente: Elaboración propia.

2.2.1.1 Cordillera de la Costa

Se presenta como un cordón montañoso accidentado de orientación NNE-SSW, con cerros que en el área de estudio no sobrepasan los 650 metros de altura. Presentando un relieve suave y ondulado, de lomajes bajos y formas amesetadas, que descienden suavemente hacia la costa (DGA, 2004) y en el que se configura una sucesión de quebradas y valles con la presencia de abanicos aluviales de forma lobular y de baja pendiente (MINVU, 2019). Conformada en su parte occidental por un basamento metamórfico e intrusivo Paleozoico - Jurásico cubierto por depósitos marinos del Mioceno tardío al reciente, mientras que el sector oriental está formado por secuencias estratificadas del jurásico superior con buzamiento al este y granitos del cretácico (Farías et al. 2008).

2.2.1.2 Depresión Central

La Depresión Central se extiende desde los 33°S por más de 1000 km, hasta los 40°S. Corresponde a un valle que contiene depósitos aluviales y volcánicos principalmente pleistocenos a holocenos (Tapia, 2010), con relleno sedimentario producto de la erosión originada por la acción de los glaciares, ríos y el viento (DGA, 2004). En general, la depresión central presenta pendientes muy bajas, que aumentan levemente al acercarse hacia los cerros de la cordillera de la costa y cordillera principal, debido a la influencia de los abanicos aluviales que se generan a la salida de quebradas y valles de ambas cordilleras. Finalmente, asociado a los cursos de agua que cruzan la depresión central, se forman pequeñas terrazas fluviales con muy poca profundización, generando pequeños escarpes relacionados a la erosión causada por estos cursos (MINVU, 2019).

2.2.1.3 Cordillera Principal

Está compuesta por cerros que en promedio alcanzan alturas por sobre los 2.000 m.s.n.m., con una suave pendiente hacia el oeste, donde las mayores cumbres se asocian a los principales volcanes del área de estudio (hasta los 4.090 m.s.n.m., volcán Planchón).

Formada por rocas cenozoicas deformadas de la Formación Abanico, intrusivos pleistocenos y rocas volcánicas cuaternarias (Farias et al. 2008; SERNAGEOMIN, 2003).

Las mayores pendientes del área se ubican en cursos de agua de valles profundos y abruptos, producto de la erosión glacial cuaternaria (DCPRH, 2018).

2.2.2 Geología Regional

En el área de estudio afloran unidades sedimentarias, volcano sedimentarias e intrusivas, siendo de estas la Formación Nacientes del Teno la unidad estratificada más antigua del sector, con una edad correspondiente al Jurásico Superior. Mientras que la unidad más reciente corresponde a depósitos fluviales de cauce activos, junto con la depositación de varias unidades de edad Cuaternaria. El resultado de lo anterior se observa en la Figura 2.2.

GEOLOGÍA CUENCA DEL RÍO TENO Y LONTUÉ

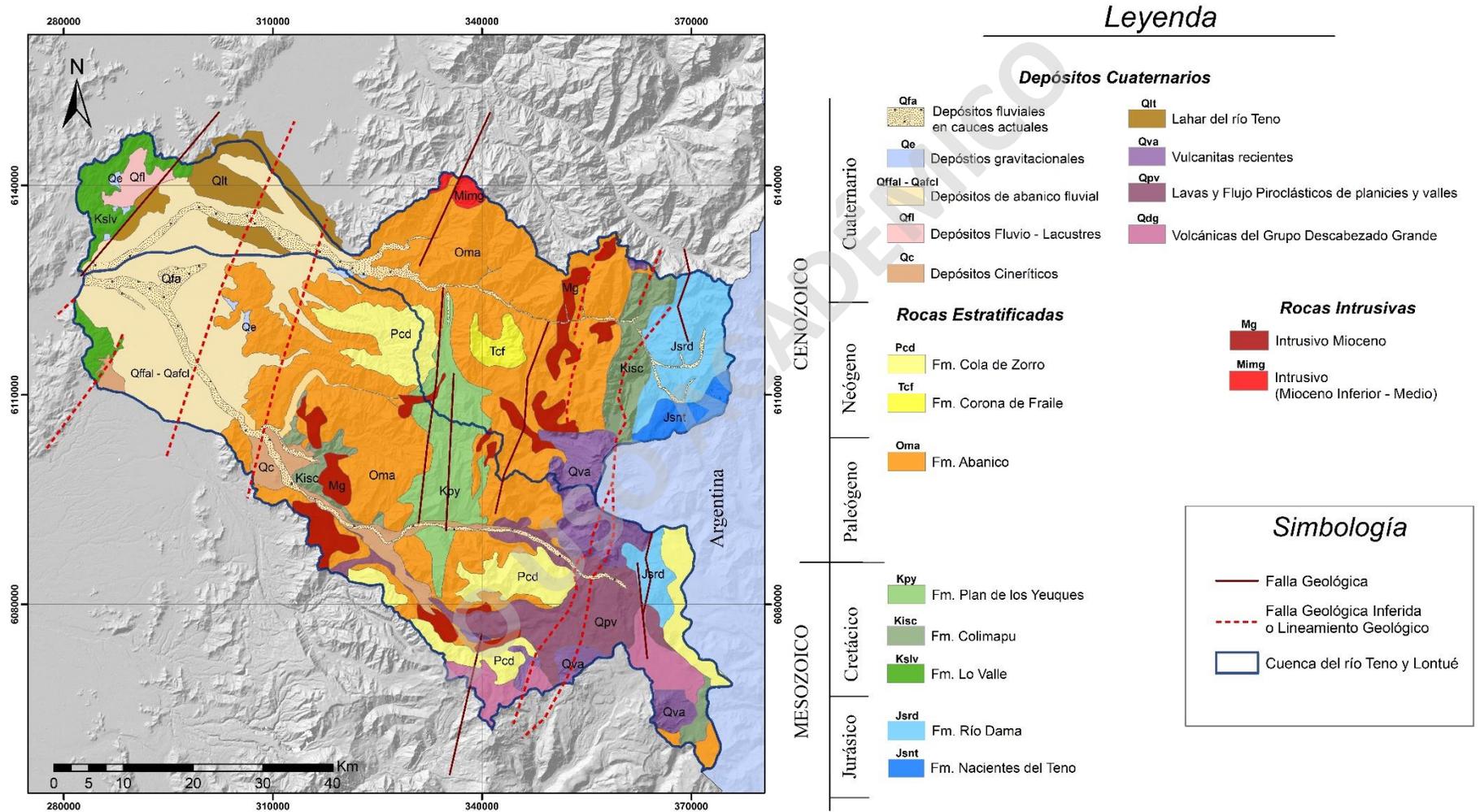


Figura 2-2: Geología regional de la zona de estudio. Fuente: Elaboración propia modificado de datos de la DGA, 2012; SERNAGEOMIN, 2003.

2.2.2.1 Rocas Estratificadas

2.2.2.1.1 Formación Nacientes del Teno (Jsnt, Bajociano-Oxfordiano)

Propuesto por Klohn (1960). Corresponde a la unidad estratigráfica más antigua que tiene la zona, con una edad Bajociano Temprano-Oxfordiano Tardío (Piquer et al 2010; Davidson, 1971). La localidad tipo se encuentra precisamente en la hoya del río Teno superior.

Klohn (1960) subdividió la Formación en tres miembros, de base a techo se tiene: Estratos Inferiores, Rinconada y Santa Helena. El primero corresponde a conglomerados con clastos de andesita y riolita, areniscas, areniscas calcáreas y lutitas. El miembro Rinconada está compuesto por calizas, lutitas y areniscas y el último miembro, Santa Elena, corresponde principalmente a niveles de anhidrita y/o yeso (yeso Oxfordiano). Este último ha sido intensamente deformado y representa el nivel de transporte tectónico para los eventos deformativos posteriores (Klohn, 1960; González, 2008).

La Formación Nacientes del Teno subyace concordantemente a la Formación Río Damas (Piquer, 2005, citado en González, 2008) y se correlaciona con los miembros inferior y medio de la Formación Lagunillas de Aguirre 1960, con la Formación Río Colina de González, 1963 y con la Formación Valle Grande de González y Vergara 1962 (Charrier & Lillo, 1973).

Formación Río Damas (Jsrd, Kimmeridgiano - Titoniano)

Unidad sedimentaria definida por Klohn (1960). Corresponde a una secuencia de sedimentos clásticos, finos y gruesos, con intercalaciones de potentes series de rocas volcánicas, efusivas y piroclásticas, alcanzando en promedio una potencia de 3.000 m. Las rocas predominantes en la sucesión de estratos son areniscas rojas con facies arcillosas y tobíferas, conglomerados y brechas de andesitas con matriz arenosa con intercalaciones de andesita porfídica con fenocristales de plagioclasa. Infrayace en conformidad con el Miembro Santa Elena de la Fm. Nacientes del Teno y en contacto transicional a la Formación Baños del Flaco.

Se observan, ocasionalmente, estructuras primarias reconocidas como grietas de secamiento, gotas de lluvias y ondulitas encontrados en los estratos de areniscas rojas y lutitas, siendo componentes que indican que han sido depositadas en un ambiente terrestre subaéreo y lagunar (Klohn, 1960; Gonzales & Vergara, 1962)

Klohn, 1960 define a esta Formación con una edad Kimmeridgiano, sin embargo, se extiende a una edad Titoniana debido a geocronología U-Pb de circones detríticos en brechas sedimentarias (Rossel et al., 2014).

2.2.2.1.2 Formación Lo Valle (Kslv, Cretácico superior)

Reconocida en el borde oriental de la Cordillera de la Costa y depresión central por Thomas, 1958. Constituida por una sección basal de conglomerados y areniscas, seguida de unidades compuestas por lavas andesíticas a riolíticas, ignimbritas y brechas, con intercalaciones de tufitas y areniscas epiclásticas continentales (Thomas, 1958).

En base a sus relaciones estratigráficas, se le asigna una edad Cretácica Superior, siendo una formación cronológicamente equivalente a la Formación las Chilcas definidas más al norte, pero litológicamente distinta (Naci & Thiele, 1982). La Fm. Lo Valle se encuentra suprayacente a la Fm. Las Chilcas en contacto que se ha reportado como concordante, discordante e interdigitado (Charrier et al., 2007).

En el área de estudio, se reconoce andesitas porfídicas, tobas líticas y cristalinas grisáceas y areniscas finas, que corresponden a esta formación. La relación de contacto es concordante sobre las brechas volcánicas pertenecientes a los Estratos de El Culenar y su techo a una superficie de erosión actual (Bravo, 2001; citado en DGA, 2012).

2.2.2.1.3 Formación Colimapu (Kisc, Albiano – Cenomiano)

Descrita por Klohn (1960), siendo la localidad tipo en la quebrada del mismo nombre en la hoya superior del río Maipo. Constituida por una sucesión estimada en 3000 m. De base a techo, la Formación se dividen en tres miembros: Colimapu inferior, Colimapu medio y Colimapu superior. La primera presenta areniscas arcillosas y tobíferas rojas, tufitas y conglomerados, con lavas y brechas andesíticas intercaladas; algunas capas de areniscas muestran grietas de secamiento. Colimapu del medio presenta areniscas con lentes de yeso e

intercalaciones de caliza, margas y lutitas calcáreas. El último miembro presenta lutitas y areniscas tobíferas rojizas, con escasas capas de lavas y brechas andesíticas intercaladas (Klohn, 1960). La presencia de grietas de desecación, indican un ambiente terrígeno, subaéreo y lagunar, con una fuerte oxidación (Gonzales & Vergara, 1962).

La Formación subyace discordantemente a la Formación Abanico (Charrier et al, 1996), con una edad mínima asignada al Albiano debido al reconocimiento de Carófitas fósiles en las areniscas calcáreas rojizas (Martínez y Osorio, 1963). Sin embargo, estudios más recientes a través de análisis U-Pb en circones de arenisca aflorante en el valle del río Volcán, proporcionaron edades localizadas mayormente entre los 80 y los 120 Ma. Dataciones de circones en areniscas rojas en la localidad de Baños del Flaco, valle del río Tinguiririca indicaron una edad media de 90 Ma (Aguirre et al, 2009).

Dataciones descritas por Tapia (2015) en circones detríticos en la parte superior de la Fm. Colimapu, también recolectadas en el sector del río Volcán, entrega una edad máxima de $73.8 \pm 4,2$ Ma.

2.2.2.1.4 Formación Plan de los Yeuques (Kpy, Campaniense – Daniense)

Reconocida por González y Vergara (1962) en la zona Plan de los Yeuques, situada al oriente del valle del río Ñuble. Constituida por un conjunto de rocas volcánicas continentales, efusivas y piroclásticas de carácter ácido (Escobar et al, 1977) con una potencia aproximada de 1.200 m (González y Vergara, 1962). Presenta una secuencia de tobas y brechas de queratófidos, tobas soldadas de matriz con distintas tonalidades, y escasos niveles de conglomerados y conglomerados brechosos. La depositación de esta formación tuvo lugar durante la iniciación de un periodo de intensa actividad volcánica, acumulando potentes niveles de lavas y piroclastos (González y Vergara, 1962).

La Fm Plan de los Yeuques aparece en contacto concordante sobre la Fm clásica continental Colimapu y subyace a la Fm Abanico en contacto concordante (González y Vergara, 1962) pero descrita como contacto discordante con la Fm Abanico, al norte de la zona de estudio en el valle del río Tinguiririca (Tapia, 2015; Muñoz et al, 2018).

Análisis radiométricos U-Pb de circón generados estratos de tobas del valle de Teno, asignan un rango de edad entre el Campaniense – Daniense temprano (Muñoz et al, 2018).

2.2.2.1.5 Formación Abanico (Oma, Eoceno superior – Mioceno inferior)

Descrita por Aguirre (1960). Aflora en gran parte de la zona de estudio de norte a sur. Corresponde a una secuencia volcanosedimentaria de 2700 m de potencia, compuesta por lavas, brechas y tobas de carácter andesítico a riolítico, con intercalaciones fluviales, aluviales y lagunares de areniscas finas y medias, conglomerados y lutitas (Klohn, 1960; González y Vergara, 1962; Charrier et al, 2002).

En base a dataciones radiométricas y determinaciones de la fauna fósil de mamíferos, se le asigna una edad Eoceno superior – Mioceno inferior (Charrier et al, 2002)

La Fm Abanico se presenta en discordancia angular sobre formaciones mesozoicas como Plan de los Yeuques y Colimapu, y subyace a la Fm Corona de Fraile y Fm Cola de Zorro en contacto discordante (Klohn, 1960, Gonzalez y Vergara, 1962; Charrier y Lillo, 1973; Charrier et al, 2002).

2.2.2.1.6 Formación Corona de Fraile (Tcf, Mioceno Temprano)

Definida por González y Vergara (1962). Corresponde una secuencia rocas volcanosedimentarias que posee su mayor desarrollo en el área de los cerros situados al oriente de los Queñes, entre río Claro y Teno, en el cerro del mismo nombre de la formación. Litológicamente presenta una secuencia de depósitos piroclásticos compuesta de tobas, tobas de lapilli y brechas, intercaladas por conglomerados, areniscas y brechas sedimentarias, con escasos niveles de andesitas porfídicas (González y Vergara, 1962). De base a techo aumenta progresivamente la cantidad y el tamaño de los clastos, pasando de una predominancia de toba cristalina y vítrea en la base, a toba lítica y brecha volcánica hacia el techo de la columna (Hevia, 2014).

Esta formación se dispone sobre la Fm Abanico mediante una discordancia angular, y el techo de la Fm Corona de Fraile corresponde a la actual superficie de erosión (González y Vergara, 1962; Escobar et al, 1977; Hevia, 2014).

Charrier y Lillo (1973) estiman que por disposición tectónica y dataciones en la Fm Colimapu, la Fm Corona de Fraile tendría una edad terciaria inferior. Sin embargo, dataciones de U-Pb en circones detríticos de tobas cristalinas y areniscas finas, confirman

una edad correspondiente al Mioceno temprano (Hevia, 2014), correlacionada estratigráficamente con la Formación Farellones (Klohn, 1960; Aguirre, 1960; Charrier y Lillo, 1973; Escobar et al, 1977) siendo asignado por Hevia (2014) como al miembro inferior de la Formación Farellones.

2.2.2.1.7 Formación Cola de Zorro (Pcd, Plioceno – Pleistoceno)

Descrita por González y Vergara (1962). La localidad tipo se encuentra en la quebrada del río Cola de Zorro afluente del río Los Sauces. Se distribuyen, principalmente, en la región limítrofe chileno-argentina entre los 36°-39 latitud sur (Vergara y Muñoz, 1982). Corresponde a una secuencia de rocas volcánicas de potencia máxima 800 m, compuesta de andesitas basálticas, brechas andesítica-basáltica, aglomerados volcánicos y tobas líticas (González y Vergara, 1962)

Según Vergara y Muñoz (1982), la Fm Cola de Zorro está constituido, en general, por un miembro basal de tobas, brechas, aglomerados volcánicos, localmente de origen lahárico, areniscas y conglomerados de origen continental. En el miembro superior, predominan las coladas de lavas: andesitas, andesitas basálticas y escasos basaltos y dacitas, todos de naturaleza calcoalcalina.

Presentan rasgos morfológicos característicos, desarrollando extensas planicies, originada por la acumulación de estratos subhorizontales, que nivelan antiguas superficies de erosión (Vergara y Muñoz, 1982) como también, formada después de un largo periodo de peneplanización (Escobar et al, 1977). Asimismo, sus afloramientos tienen bordes abruptos, con estratos truncados por una profunda erosión glacial y fluvial (Vergara y Muñoz, 1982).

Mediante determinaciones radiométricas K-Ar en varias localidades correlacionadas con la Fm Cola de Zorro, han entregado un rango de edad Plioceno – Pleistoceno (Vergara, 1978; Vergara y Muñoz, 1982)

Se dispone sobre diversas formaciones cenozoicas y mesozoicas en discordancia angular: Fm Abanico, Plan de los Yeuques, Colimapu y posiblemente Río Damas. En general, la Fm Cola de Zorro termina en la actual superficie de erosión y de techo indefinido (González y Vergara, 1962). En la cercanía de los volcanes actuales, la Fm Cola de Zorro es cubierta, con discordancia de erosión, por flujos de lava de esos volcanes, y en ocasiones,

intruida por diques y cuellos volcánicos, como también cubierta, en discordancia de erosión, por morrenas (Vergara y Muñoz, 1982).

2.2.2.2 Rocas Intrusivas

2.2.2.2.1 Intrusivo Mioceno - Pleistoceno (Mg)

En la zona de estudio la actividad plutónica aparece como stock y diques que intruyen a las unidades más antiguas como la Fm Abanico y Formaciones Cretácicas como Colimapu y Plan de los Yeuques, con una edad decreciente hacia el este (González y Vergara, 1962) correspondiente al Mioceno según Muñoz et al, 2018. En el área de estudio, Piquer (2005) describe intrusivos, que de acuerdo al orden relativo en que han intruido, corresponde a: diorita, granodiorita/cuarzo monzonita, de edad $7,8 \pm 0,4$ Ma y pórfidos dacíticos y riódacíticos de edad $7,9 \pm 0,4$ Ma. (Piquer, 2005; González, 2008). Por tanto, dado lo anterior, la formación de estos intrusivos se asigna una edad Mioceno – Pleistoceno.

2.2.2.2.2 Intrusivo Mioceno Inferior – Medio (Minmg)

En la zona de estudio se encuentra en una pequeña dimensión al norte de la localidad de los Queñes. Intruye la Fm Abanico y corresponde esencialmente a granodioritas. Su rango de edad varía entre los 20 y 18 Ma (Vergara y Drake, 1978; Kurtz et al, 1997).

2.2.2.3 Depósitos Cuaternarios

Los depósitos cuaternarios alcanzan una presencia predominante hacia el borde occidental del macizo andino y más propiamente dentro del valle longitudinal.

Se incluyen dentro de este conjunto a los depósitos de génesis volcánica, relleno de valles fluviales y glaciares y se ubican principalmente en la Cordillera Principal, vinculada con erupciones y actividad volcánicas, actividades glaciares y en la Depresión Central se presentan como rellenos de cuencas por flujos fluviales, aluviales, de cenizas y causes actuales.

Es importante destacar la presencia de materiales fluvioglaciales en los valles cordilleranos, los cuales, hacia la cabecera de estos valles, continúan en sedimentos morreicos relacionada con los relictos glaciares del Pleistoceno.

2.2.2.3.1 Vulcanitas del Grupo Descabezado Grande (Qdg, Pleistoceno)

Presenta un conjunto de basaltos gris oscuro a negro, afaníticos y vesiculosos con brechas del mismo material intercaladas, formados sobre una base de sedimentos aluviales y glaciofluviales del valle del río Claro.

Esta unidad se extiende desde el volcán Descabezado Grande hacia el río Claro, sobre las lavas y flujos piroclásticos de planicies y valle, cubriendo una superficie de 184 km². La edad pleistocena se asigna por su relación con el cono volcánico del Descabezado y la morfología del sector.

2.2.2.3.2 Lavas y flujos piroclásticos de planicies y valles (Qpv, Pleistoceno – Holoceno)

En esta denominación se incluyen los piroclásticos y lavas que preferentemente rellenan antiguos valles glaciales y aluviales configurando, además, terrazas ubicadas hasta unos 300 metros sobre el nivel de dichos valles y que a veces cubren áreas extensas. Las lavas y flujos de valles generalmente descansan sobre depósitos morreicos o bien aluviales; mientras, aquellas de planicies lo hacen sobre la antigua superficie de peniplanización de las formaciones pre terciarias (Gonzales y Vergara, 1962).

2.2.2.3.3 Vulcanitas recientes (Qva, Pleistoceno – Holoceno)

Incluye esta denominación a coladas de lavas cordadas, conos volcánicos actuales y de escoria, además de los originados por actividad volcánica reciente, escorias y piroclastos de composición basáltica, andesítica y riolítica. Afloran en la zona de la Cordillera Principal, específicamente en la parte sur oriental del área de estudio y tiene relación con los conos volcánicos actuales o fisuras por donde las coladas han extruido.

Los centros volcánicos que se observan en la zona son Complejo Volcánico Planchón – Peteroa y Complejo Volcánico Descabezado Grande – Quizapu – Cerro Azul (González y Vergara; DGA, 2012).

2.2.2.3.4 Lahar del río Teno (Qlt, Pleistoceno superior – Holoceno)

Ubicado en torno a los actuales márgenes del río Teno correspondiente a lahares provenientes del grupo volcánico Planchón – Peteroa producto de erupciones asociadas al colapso del flanco occidental de la caldera del Planchón, causando la fusión de nieve y hielo, originando una avalancha caliente de agua arcillosa (Naranjo et al, 1999). El Lahar del río Teno se separa, al menos, en dos depósitos laháricos según el grado de consolidación, posición estratigráfica y expresión topográfica, estos son: Teno I y Teno II, siendo el primero el más antiguo (Marangunic et al, 1979; Moreno y Varela, 1985).

El depósito Lahar de Teno I, de 20 metros de espesor, se caracteriza por presentar una buena consolidación y compactación, clastos anguloso y subredondeados de basaltos, dacitas, andesitas y granodioritas, en una matriz arenosa – cinerítica.

El depósito lahárico Teno II cubre en gran parte el depósito Teno I y subyace a depósitos fluviales recientes. Entre sus características, presenta una mala consolidación, clastos angulosos a subangulosos, casi exclusivamente de basaltos, con abundante matriz cinerítica basáltica. Con un espesor aproximado de 4 metros, con una morfología de relleno de cerrillos.

2.2.2.3.5 Depósitos Cineríticos (Qc, Pleistoceno – Holoceno)

Localizados en el valle del Lontué provenientes en gran parte del Complejo Volcánico Descabezado Grande y en menor proporción del Complejo Volcánico Planchón - Peteroa. Hauser (1990, 1995) define esta unidad como una extensa secuencia de sedimentos con mala selección, compacta, integrada en su mayor parte por fracciones arena a arcilla-limo que corresponden principalmente a ceniza volcánica, con escasos niveles de gravas y arenas. Presenta abundantes cristales de plagioclasa en una matriz fina de fragmentos vítreos, su composición es dacítica. Localmente, estos flujos están cubiertos por depósitos fluviales recientes (Marangunic et al, 1979).

2.2.2.3.6 Depósitos Fluvio – Lacustre (Qfl, Pleistoceno Inferior)

Esta unidad tiene una restringida ocupación en el área de estudio, de morfología llana y encontrándose específicamente en las zonas de La palmilla y Comalle. Compuesta por una alternancia de depósitos de gravas, arenas y arcillas. Estos sedimentos se presentan, principalmente en sectores locales con morfología de “Rinconadas” y/o terrenos donde ríos y esteros desarrollan complicadas trayectorias, donde la sedimentación es intermitente. (Hauser, 1990).

2.2.2.3.7 Depósitos de Abanico Fluvial (Qffal-Qafcl, Pleistoceno – Holoceno)

Descrita por Hauser (1990, 1995). Abarca gran parte del valle central y se compone de depósitos fluviales y fluvio-aluvionales desarrollado en cursos actuales de los ríos como también en cursos antiguos (Marangunic et al, 1979). Litológicamente está compuesta por gravas, gravas arenosas y arenas, y en menor proporción, niveles y lentes limo-arcilloso.

2.2.2.3.8 Depósitos Gravitacionales (Qe, Pleistoceno – Holoceno)

La unidad incluye aquellos depósitos detríticos que, normalmente reciben denominaciones de escombros de falda, coluvio, conos de eyección, etc. Morfológicamente, la unidad se encuentra asociada al relleno de quebradas provista de fuerte empinamiento. Litológicamente, estos depósitos están constituidos por una mezcla caótica de fragmentos polimícticos y de variado tamaño, englobado en escasa matriz de gravilla, limo y arcilla. (Hauser, 1990, 1995).

2.2.2.3.9 Depósitos fluviales en cauces actuales (Qfa, Actual)

Estos depósitos incluyen materiales clásticos que conforman los actuales cauces de los ríos mayores y afluentes más significativos, enmarcados en sus activas llanuras de inundación. Alcanzan su mayor desarrollo en torno al cauce actual de los ríos Teno y Lontué. Consisten en sedimentos sueltos compuesto en ripios, gravas y gravas arenosas, las cuales se disponen una escasa matriz de arena a gravilla. Localmente, en las vecindades del borde precordillerano estos depósitos incorporan abundantes bolones (Hauser, 1990, 1995).

3 RESULTADOS

3.1 HIDROLOGÍA

Las subcuencas de los ríos Teno y Lontué se encuentran en la cuenca del río Mataquito, y poseen una extensión de 4730 km² según DGA, 2017. El río Mataquito se origina de la confluencia del río Teno, que drena la porción norte del área, y del Lontué, que drena la porción sur (Figura 3.1). Dicha conjunción se produce a 12 km al oeste de Curicó hasta desembocar a mar abierto al sur de la laguna de Vichuquén.

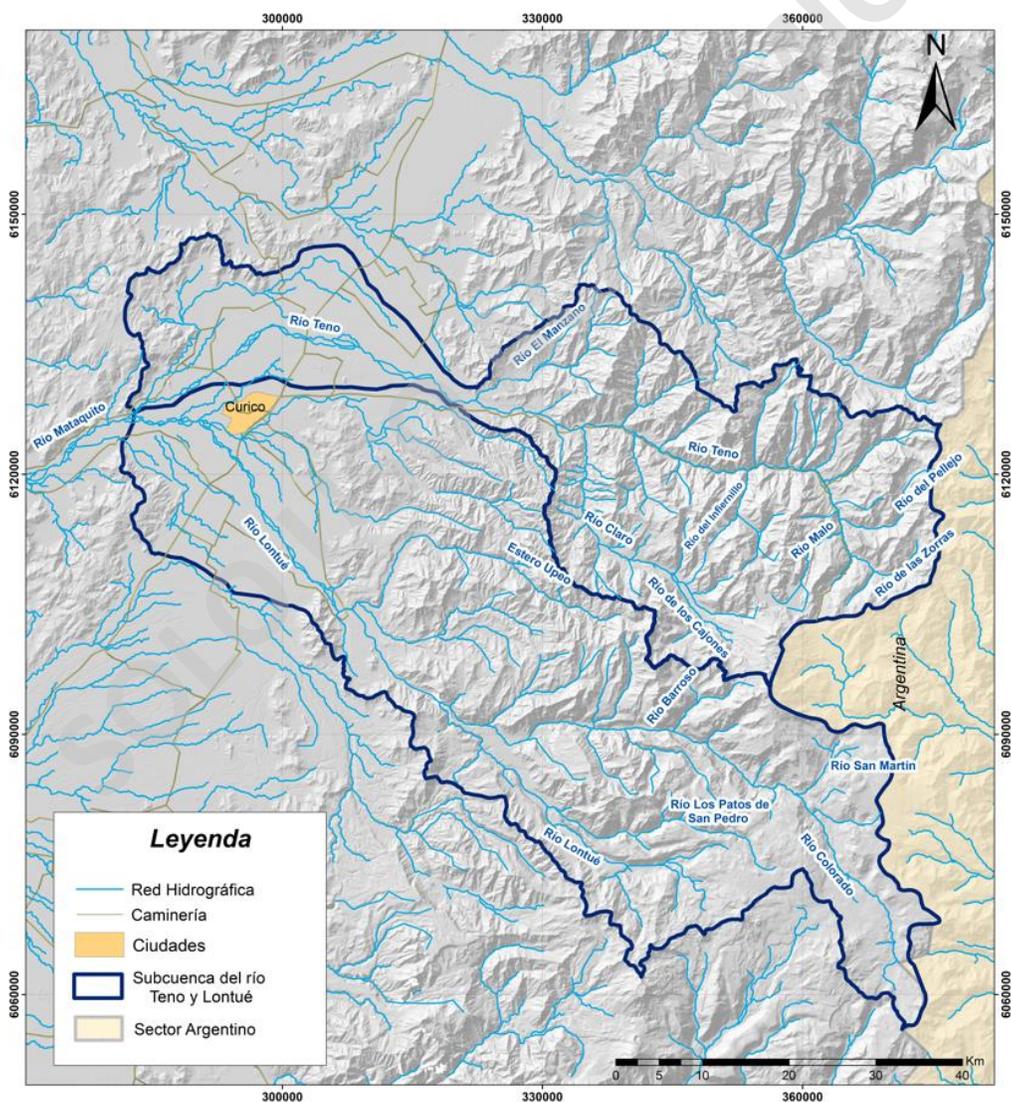


Figura 3-1: Hidrografía de la cuenca del río Teno y Lontué. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la DGA.

Según autores como Astaburuaga, 2014; Puratich, 2010; Henry, 2019, los valles que se desarrollan en la zona de estudio por donde fluyen los principales cauces, fueron modelados por la erosión glaciaria durante el Cuaternario tardío, durante la penúltima y última glaciación. Formando así valles en “U” junto con otras formas erosivas y depositacionales, tal que durante el periodo de desglaciación comenzaron a desarrollarse redes de drenaje que fueron formando valles en “V” por sobre las excavaciones glaciales.

Como se observa en la Figura 3.1, el río Teno, que es el principal afluente del sistema de la subcuenca del río Teno, tiene las cabeceras de sus formativos en las lagunas del Teno. Estas lagunas están situadas en serie inmediatamente al norte del volcán Planchón comprendiendo una superficie de 9 km² a 2.567 m.s.n.m. El río Teno se forma de la confluencia de los ríos del Nacimiento y Malo, y drena un área de 1.590 km², con un recorrido de 102 km. El río Malo es el emisario de las lagunas de Teno. El más importante tributario por el sur es el Claro, que se le une en Los Queñes, a unos 30 km del nacimiento, el cual ocurre en la zona englaciada del volcán Planchón. Un afluente de escasa importancia en la ribera derecha del Teno es río El Manzano, en el sector de La Montaña (DGA, 2004).

El río Lontué posee una hoya de 2.510 km² y un franco rumbo al NW en todo su curso. Se forma en la cordillera andina de la reunión de los ríos Colorado y Patos de San Pedro a 48 km al SE de su junta al Teno. Tomando en cuenta el Colorado, que es el más importante de sus afluentes, la longitud total del Lontué asciende a 126 km. El río Patos de San Pedro es el que drena la porción más suroriental de toda la hoya, nace entre los cerros Negro (2960 m) y Troncos (2822 m) y corre con rumbo prácticamente paralelo al del Colorado, con una longitud total de 55 km. El Lontué recibe por su flanco derecho dos tributarios de cierta importancia, los esteros Upeo y Chequenlemillo, que afluyen en pleno Valle Central (DGA, 2004).

En el área de estudio, la morfometría fluvial de los valles de mayor jerarquía de drenaje y los tributarios que lo alimentan, constituyen una red hídrica de tipo dendrítica, con algunos sectores menores que desarrollan un patrón de drenaje paralelo.

3.1.1 Pluviometría

El análisis de precipitaciones se generó en base a información de series estadísticas de precipitaciones mensuales, las cuales fueron obtenidas de estaciones pluviométricas de la Dirección General de Aguas (DGA).

Se seleccionaron un total de 12 estaciones pluviométricas ubicadas tanto en la cuenca de estudio como fuera de esta (Figura 3.2), considerando aquellas que tuvieran registros suficientes y bien distribuidas en la zona, para el periodo 1982/1983 – 2019/2020. Sus antecedentes básicos y ubicación de estas se encuentran en la Tabla 3-1.

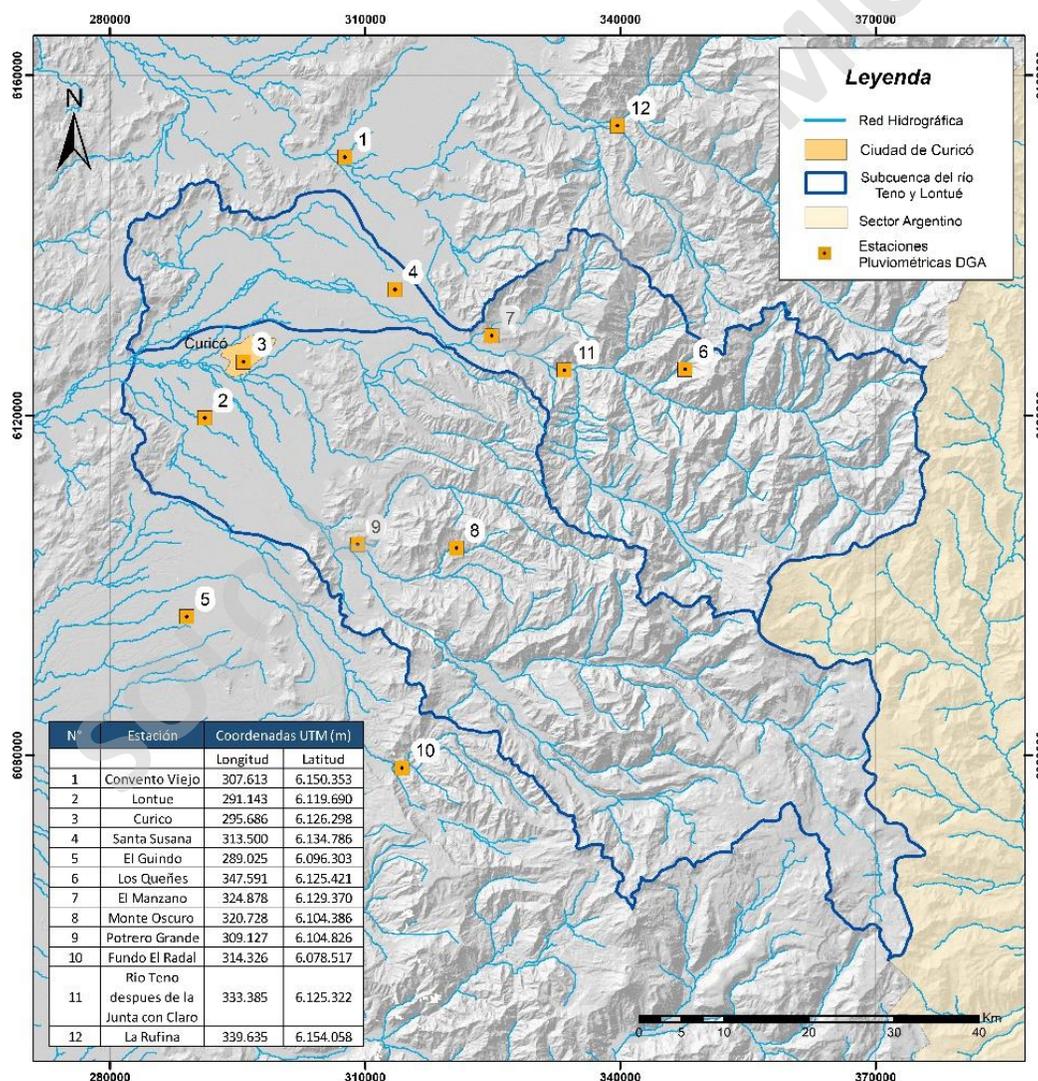


Figura 3-2: Hidrografía de la cuenca con la ubicación de la estaciones pluviométricas seleccionadas. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la DGA.

Tabla 3-1: Estaciones pluviométricas seleccionadas

Número	Estación	Coordenadas UTM (m)		Altitud (m)	Periodo
		Este	Norte		
1	Convento Viejo	307613	6150353	245	1982-2020
2	Lontué	291143	6119690	215	1982-2020
3	Curicó	295686	6126298	215	1982-2020
4	Santa Susana	313500	6134786	420	1985-2020
5	El Guindo	289025	6096303	170	1982-2020
6	Los Queñes	347591	6125421	723	1982-2020
7	El Manzano	324878	6129370	595	1982-2020
8	Monte Oscuro	320728	6104386	645	1994-2020
9	Potrero Grande	309127	6104826	450	1982-2020
10	Fundo El Radal	314326	6078517	663	1992-2020
11	Río Teno después de la Junta con Claro	333385	6125322	647	1999-2020
12	La Rufina	339635	6154058	743	1982-2020

3.1.1.1 Corrección, Relleno de estadísticas y Análisis de Homogeneidad

Se generaron una serie de correlaciones de precipitaciones medios mensuales entre las estaciones seleccionadas, entregando resultados que permiten separar geográficamente en dos grupos con una estación patrón para cada uno: los que se ubican en el Valle Central y los que se ubican en la Cordillera principal. En base a los mejores coeficientes de correlación e información más extensa, se define la estación Convento Viejo como estación patrón para el relleno y extensión de las series estadísticas en el Valle Central, y la estación Los Queñes como estación patrón para el relleno y extensión en el sector cordillerano. Para ello, se generan una serie de regresiones lineales entre la estación patrón y las estaciones con series incompletas, los cuales con su respectivo cálculo se generan el relleno de datos faltantes.

Obtenida la corrección y relleno de las series estadísticas de precipitaciones mensuales, se procede a verificar la homogeneidad y consistencia de las series anuales mediante el análisis de Curvas Doble Acumulada (CDA). Con lo anterior, se generan gráficos de sumas acumuladas de precipitación anual de la estación patrón versus la suma acumulada de la estación que fue rellenada, siguiendo esta metodología con todos los patrones pluviométricos del procedimiento anterior. Se comprueba la homogeneidad y consistencia de sus datos entregando como resultado rectas bien definidas. Se corrige la estación Santa Susana, Río Teno después de la Junta con Claro y El Manzano.

La estadística rellena y corregida se presenta en el Anexo 3.3-1, mientras que el análisis de las Curvas Doble Acumulada (CDA), se presentan en el Anexo 3.3-2.

Obtenido las estadísticas pluviométricas rellena y corregida de cada estación, se generan gráficos de precipitación anual para las estaciones que se encuentran ubicados en el Valle Central y las estaciones que se encuentran en la Cordillera Principal, para el periodo correspondiente de 1982/1983 – 2019/2020. Los resultados de los Gráficos 3-1 entregan una clara tendencia en la disminución de las precipitaciones indicada por la línea segmentada, con peak que se producen en los años hidrológicos 1997/1998, 2002/2003 y 2005/2006.

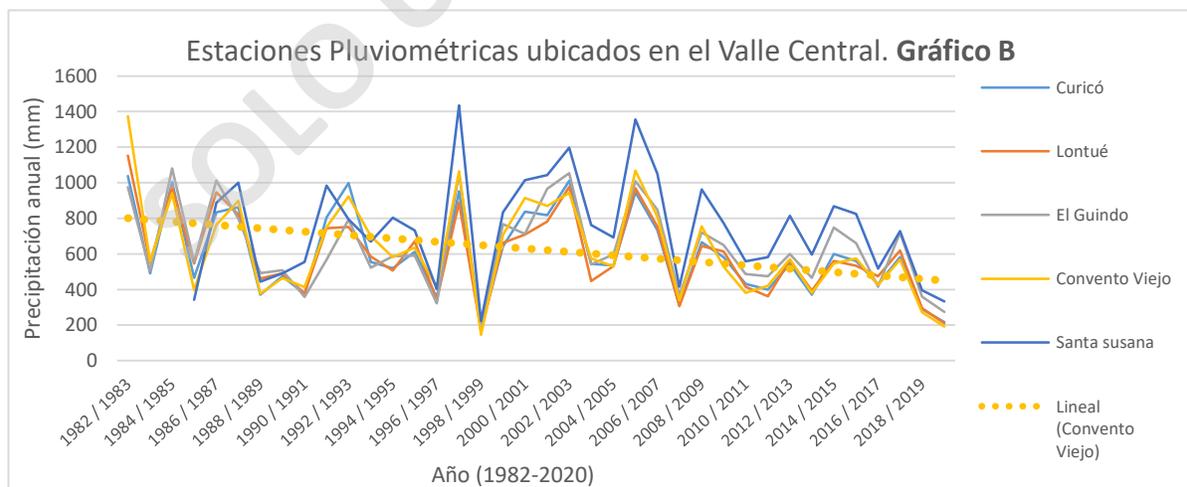
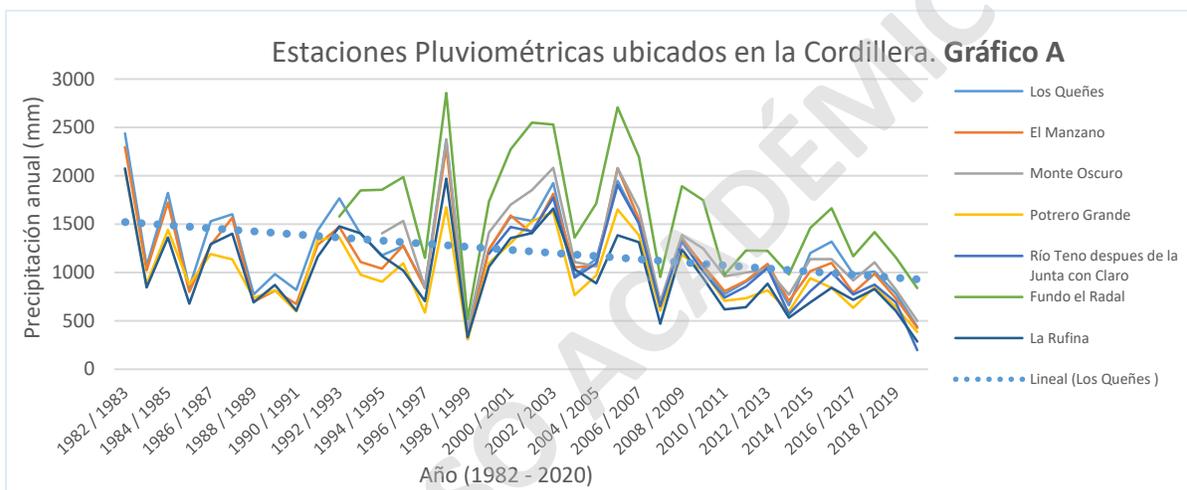


Gráfico 3-1: Precipitaciones en estaciones pluviométricas sector cordillerano (Gráfico A) y Valle central (Gráfico B) entre 1982 y 2020. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la DGA.

Asimismo, se observa que las precipitaciones son mayores en las estaciones pluviométricas ubicadas en la cordillera, con algunos valores que superan los 2500 mm anuales. Un ejemplo de esto es la estación Fundo el Radal, representada en el Gráfico A de tonalidad verde. Sin embargo, es importante destacar que esta estación en particular se encuentra fuera de la cuenca de estudio (Figura 3.2, estación N° 10), y es la que presenta los valores más altos de precipitación anual en comparación con el resto de las estaciones.

En el área de estudio, la tendencia general de los picos de precipitación se sitúa alrededor de los 2000 mm anuales, según se muestra en el Gráfico A. Las estaciones ubicadas en el Valle Central (Gráfico B) de la cuenca presentan valores más bajos en comparación con las estaciones de la Cordillera. La estación Santa Susana, por ejemplo, registra un valor aproximado de 1400 mm, siendo el más alto dentro de las estaciones del Valle Central.

Con la información obtenida anteriormente se construyen dos mapas de isoyetas de precipitación media anual para dos periodos distintos: 1982-2007 y 2008-2020, esto con el propósito de cuantificar la disminución de precipitaciones que ha tenido la cuenca desde que comenzó la mega sequía, quien según instituciones como el Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia (CR2), El Consejo para la Defensa de Recursos Naturales (NRDC, por sus siglas en inglés), Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA), Ministerio de Agricultura, comenzó entre los años 2008 y 2010 hasta la actualidad.

La Figura adjunta proporciona una representación visual que respalda lo mencionado anteriormente, confirmando que las precipitaciones medias anuales más bajas se encuentran en el lado occidental de la cuenca, específicamente en el sector comprendido como Valle Central. Por otro lado, los valores más altos de precipitación se ubican en el lado oriental de la cuenca y, especialmente, en el sector sureste debido a un continuo aumento de la altura geográfica.

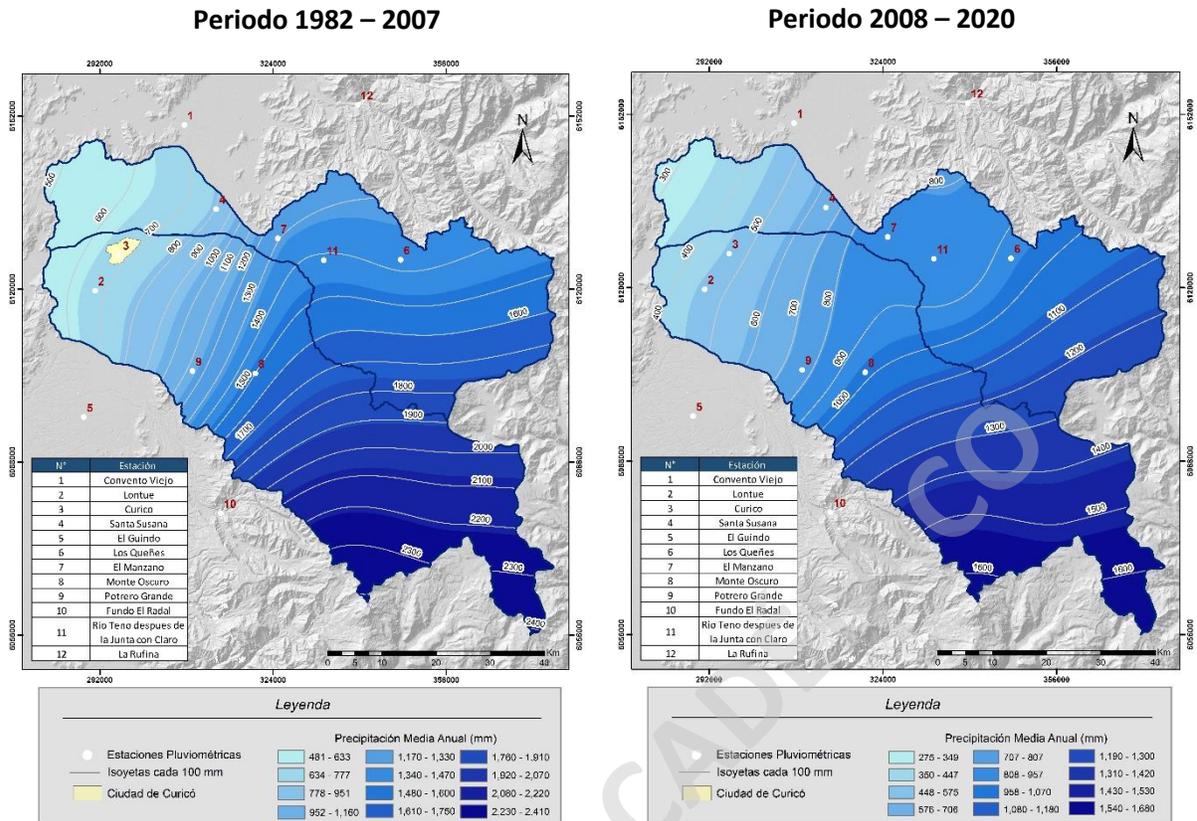


Figura 3-3: Isoyetas de la cuenca del Teno y Lontué a partir de precipitaciones medias anuales de 12 estaciones pluviométricas para los dos periodos correspondientes. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la DGA.

El cálculo de la precipitación media anual en la cuenca se lleva a cabo utilizando el método de las isoyetas. En el período comprendido entre 1982 y 2007, se obtiene un valor promedio de precipitación anual de 1472 mm. Sin embargo, para el segundo período definido como mega-sequía, la precipitación media disminuye significativamente a 995 mm anuales, lo que representa una disminución considerable de las precipitaciones entre ambos períodos.

Estas diferencias se pueden apreciar de manera comparativa en los mapas correspondientes de la Figura 3.3, donde se observa una reducción de al menos 200 mm anuales en los valores de las isoyetas para una misma área geográfica. Esto indica una disminución sustancial de las precipitaciones durante el período de mega-sequía en comparación con el período anterior.

El cálculo de la precipitación media anual se detalla en el Anexo 3-3.

3.1.2 Fluviometría

El análisis fluviométrico se generó en base a información de series estadísticas de caudales medios mensuales, obtenida de estaciones fluviométricas de la Dirección General de Aguas (DGA). Estas estaciones permiten monitorear los caudales aportantes al sistema principal.

Se seleccionaron un total de 5 estaciones fluviométricas ubicadas en los distintos cauces del área de estudio (Figura 3.4), considerando aquellas que tuvieran registros suficientes y bien distribuidas en la zona para el periodo 1980/1981 – 2018/2019, periodo de tiempo de casi 40 años. Sus antecedentes básicos y ubicación de estas se encuentran en la Tabla 3-2.

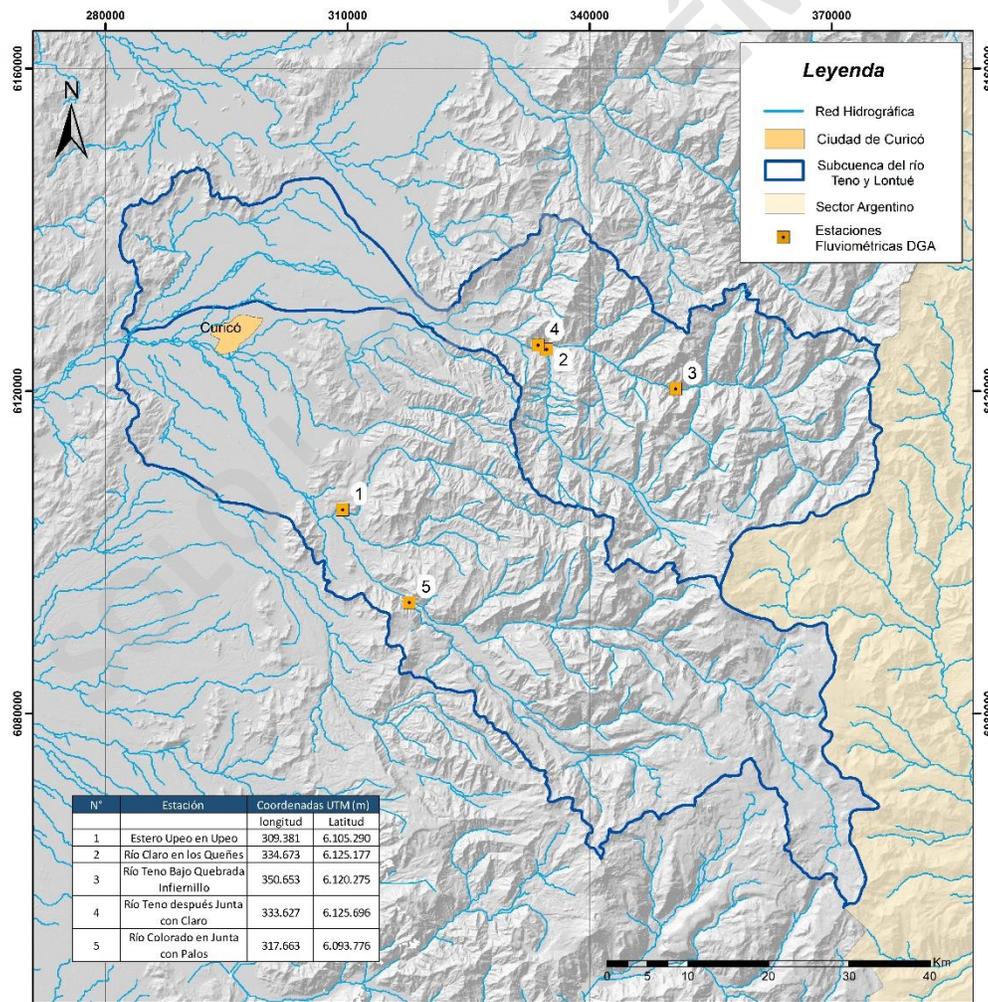


Figura 3.4: Hidrografía de la cuenca con la ubicación de las estaciones pluviométricas seleccionadas. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la DGA.

Tabla 3-2: Estaciones fluviométricas seleccionadas.

Número	Estación	Coordenadas (UTM) m		Altitud (m)	Periodo
		Este	Norte		
1	Estero Upeo en Upeo	309381	6105290	450	1980 - 2019
2	Río Claro en los Queñes	334673	6125177	900	1980 - 2019
3	Río Teno Bajo Quebrada Infiernillo	350653	6120275	990	1980 - 2019
4	Río Teno después Junta con Claro	333627	6125696	647	1980 - 2019
5	Río Colorado en Junta con Palos	317663	6093776	600	1980 - 2019

3.1.2.1 Corrección y Relleno de estadísticas

Se realizaron una serie de correlaciones de caudales medios mensuales entre estaciones vecinas con el propósito de rellenar series estadísticas incompletas. Esto se logra en base a los mejores coeficientes de correlación e información más extensa entre estaciones y el posterior cálculo mediante regresiones lineales entre ambas. Para el relleno y extensión de las series estadísticas se ocupó como estación patrón la estación fluviométrico “Río Teno después Junta con Claro” en gran medida, ya que también se ocuparon el resto de las estaciones para el relleno estadístico debido a que presentaban una mejor correlación entre los datos.

Obtenida las estadísticas rellenas y corregidas de cada estación, se genera un gráfico de los caudales medios anuales de la estación Río Teno después Junta con Claro (Gráfico 3-2) que muestra su evolución desde 1980 a la actualidad, evidenciando una disminución progresiva de los caudales a través del tiempo salvo en los años hidrológicos 1997/1998, 2002/2003 y 2005/2006 con peaks importantes. Esta misma situación y características se repite para cada estación fluviométrica.

En base al Gráfico 3-3 de los caudales medios mensuales de cada estación, se puede identificar un régimen hídrico o de escorrentía de características nivo-pluvial, con la cualidad de presentar dos máximos, el primer aumento se produce en otoño debido al aumento de las precipitaciones, y otro aumento, en los meses de octubre a diciembre debido a los deshielos ubicada en la cordillera. Sin embargo, la estación Estero Upeo en Upeo muestra una curva que se diferencia del resto presentando un régimen pluvial, caracterizado por su alimentación

fundamental en la escorrentía inmediata que producen las lluvias, y, por tanto, con máximos en los meses de otoño e invierno.

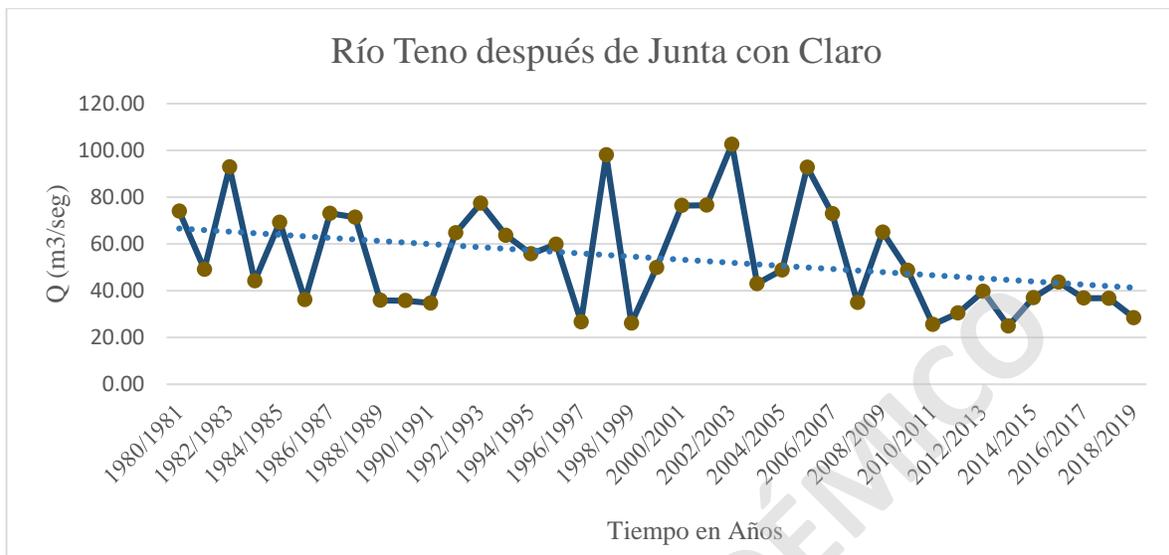


Gráfico 3-2: Evolución decreciente del caudal de la estación Río Teno después de junta con Claro. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la DGA.

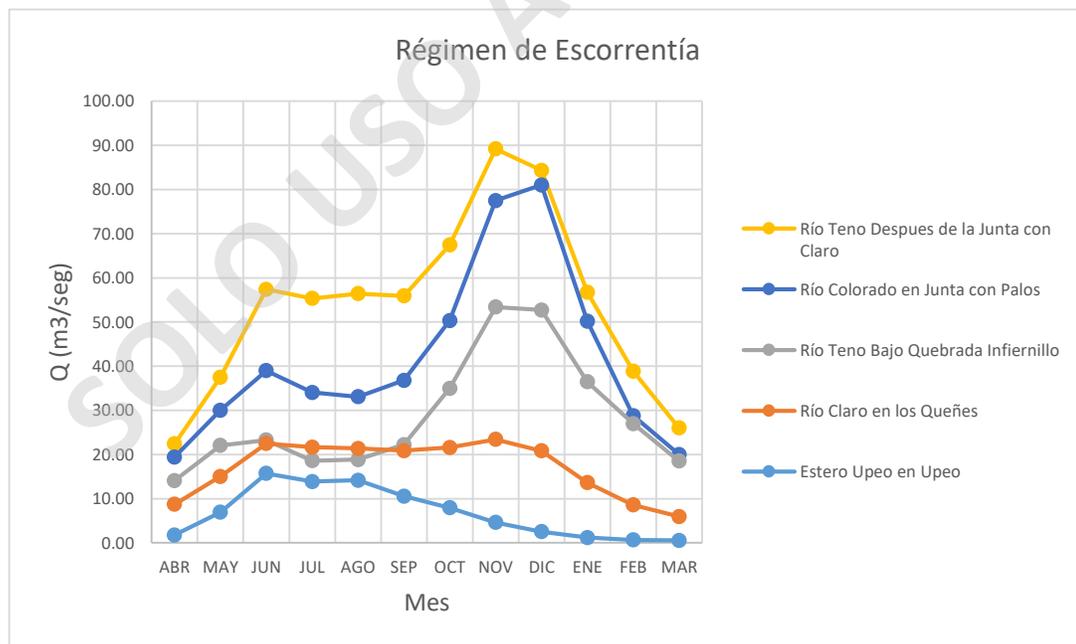


Gráfico 3-3: Régimen de escorrentía nivo-pluvial, principalmente, de las estaciones fluviométricas de la cuenca. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la DGA.

Adicionalmente, a través del análisis de datos fluviométricos y pluviométricos obtenidos de la base de datos CAMELS-CL del Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia (CR)², según el trabajo de Álvarez-Garretón (2018), se ha generado una base de datos de registro histórico de los caudales en la Estación Río Teno Después de Nacientes del Teno y de precipitaciones en la estación de Curicó, abarcando un periodo de 60 años aproximadamente como se observa en el Gráfico 3-4.

El resultado de ambos parámetros se muestra en el Gráfico 3-4, el cual revela una correlación directa entre las precipitaciones y el escurrimiento superficial caracterizado de forma anual. Esto significa que en periodos de altas precipitaciones también se observan valores elevados de caudales, y viceversa. Además, el gráfico muestra la existencia de periodos cíclicos en los cuales se alternan períodos de altas y bajas precipitaciones, lo que también se refleja en los caudales. Sin embargo, se observa un cambio en esta dinámica a partir del año 2008 hasta la fecha actual, evidenciando una disminución gradual en ambos parámetros.

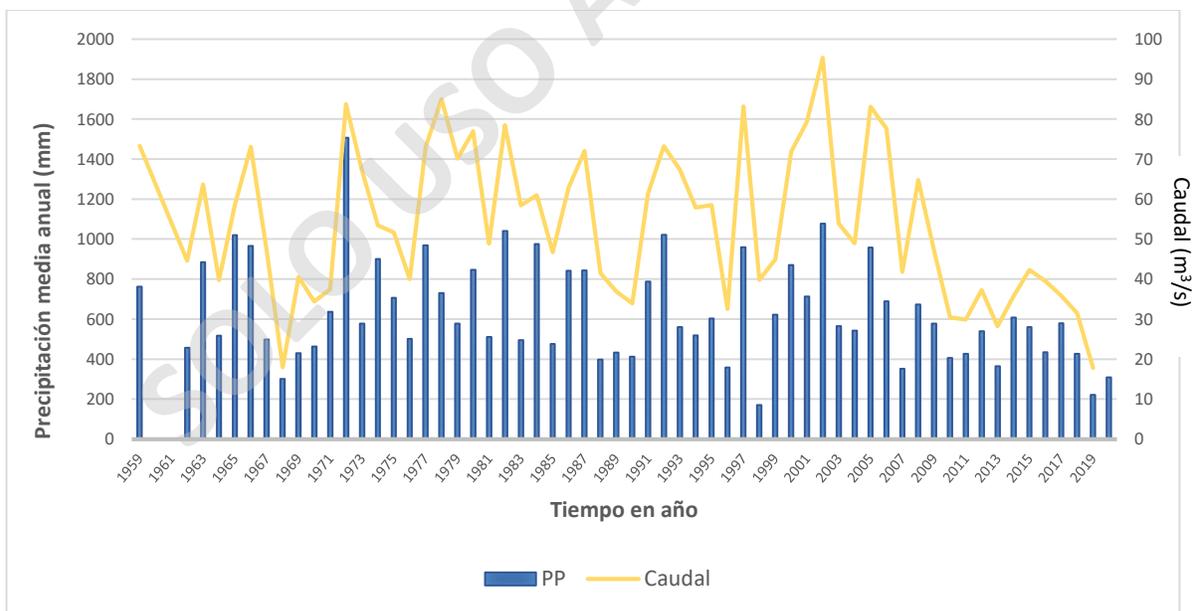


Gráfico 3-4: Gráfico de precipitaciones y caudales desde 1959 a 2020 en la estación pluviométrica Curicó y estación fluviométrica Río Teno Después de Junta con Claro. Elaboración propia a partir de datos de CAMELS-CL.

3.1.3 Consideraciones Climáticas

Según la tipología climática de Sarricolea et al (2017) adaptada de la clasificación de Köppen - Geiger, el área de estudio posee un clima mediterráneo templado, donde en la depresión o valle central se da un clima templado cálido con lluvias invernales, que cambia a un clima templado frío con lluvias invernales en la pre cordillera hasta conseguir un clima de frío de tundra por altura en la alta cordillera.

A continuación, se observa el Gráfico 3.5 de registro histórico de la temperatura media anual que posee la estación Curicó en un tiempo de cerca de 40 años. Información obtenida de la base de datos CAMELS-CL del Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia (CR)².

En el gráfico se puede observar un aumento gradual en la temperatura media anual a lo largo del tiempo. Sin embargo, se destaca una distinción a partir del año 2008 hasta la fecha actual, donde se registran los valores más altos de temperatura. El promedio de temperatura anual para el período comprendido entre 1982 y 2007 es de 14.0 °C, mientras que desde 2008 hasta la fecha actual, el promedio se sitúa en 14.6 °C.

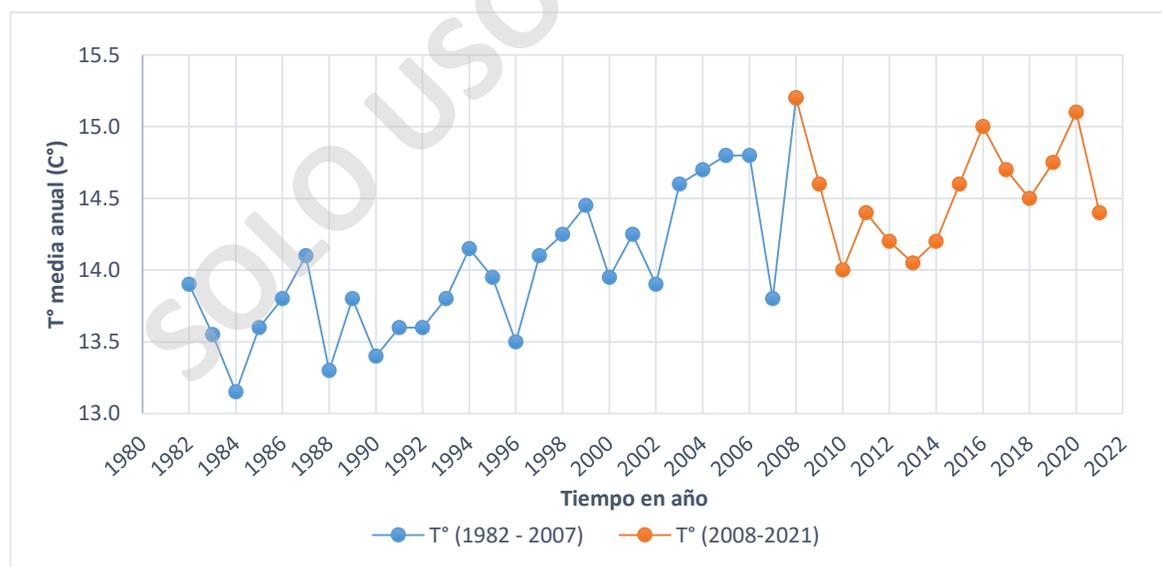


Gráfico 3-5: Temperatura media anual de la estación Curicó. Elaboración propia a partir de datos de CAMELS-CL.

Se realizó un análisis utilizando el registro de temperatura del aire de 8 estaciones ubicadas tanto dentro como fuera de las cuencas del río Teno y Lontué (Figura 3.4). Los datos utilizados en este análisis se obtuvieron de series estadísticas de temperaturas medias anuales provenientes de estaciones hidrometeorológicas de la Dirección General de Aguas (DGA), la Dirección Meteorológica de Chile (DMC) y de la base de datos de CAMELS-CL.

Para las estaciones meteorológica ubicadas en el Valle Central de la cuenca, registran una temperatura media anual de 15°C, con temperatura máxima promedio de 23°C. Durante el verano, se observan los valores más altos de temperatura, con una oscilación térmica de 30°C y valores máximos que han alcanzado los 37°C. Por otro lado, la temperatura mínima media registra valores de 7°C, con extremos que han llegado hasta -9°C.

En las zonas de mayor altitud, particularmente en el sector precordillerano, las temperaturas disminuyen. La media anual oscila entre los 12°C y 8°C, y la temperatura sigue disminuyendo de manera continua a medida que aumenta la altitud, especialmente en el sector suroeste, que presenta las mayores elevaciones (Figura 3.4).

Estos datos resaltan las variaciones térmicas existentes dentro de la cuenca, influenciadas por la geografía y la altitud. Estos contrastes son fundamentales para comprender los patrones climáticos y su impacto en la hidrología de la región.

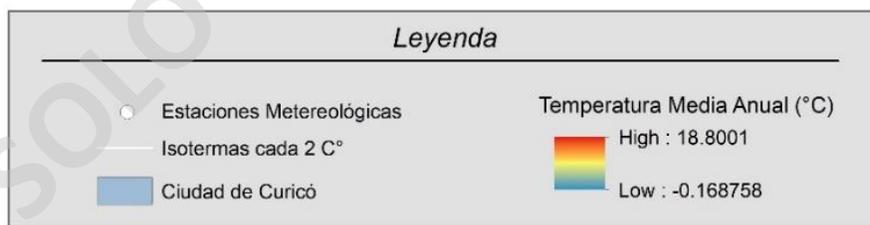
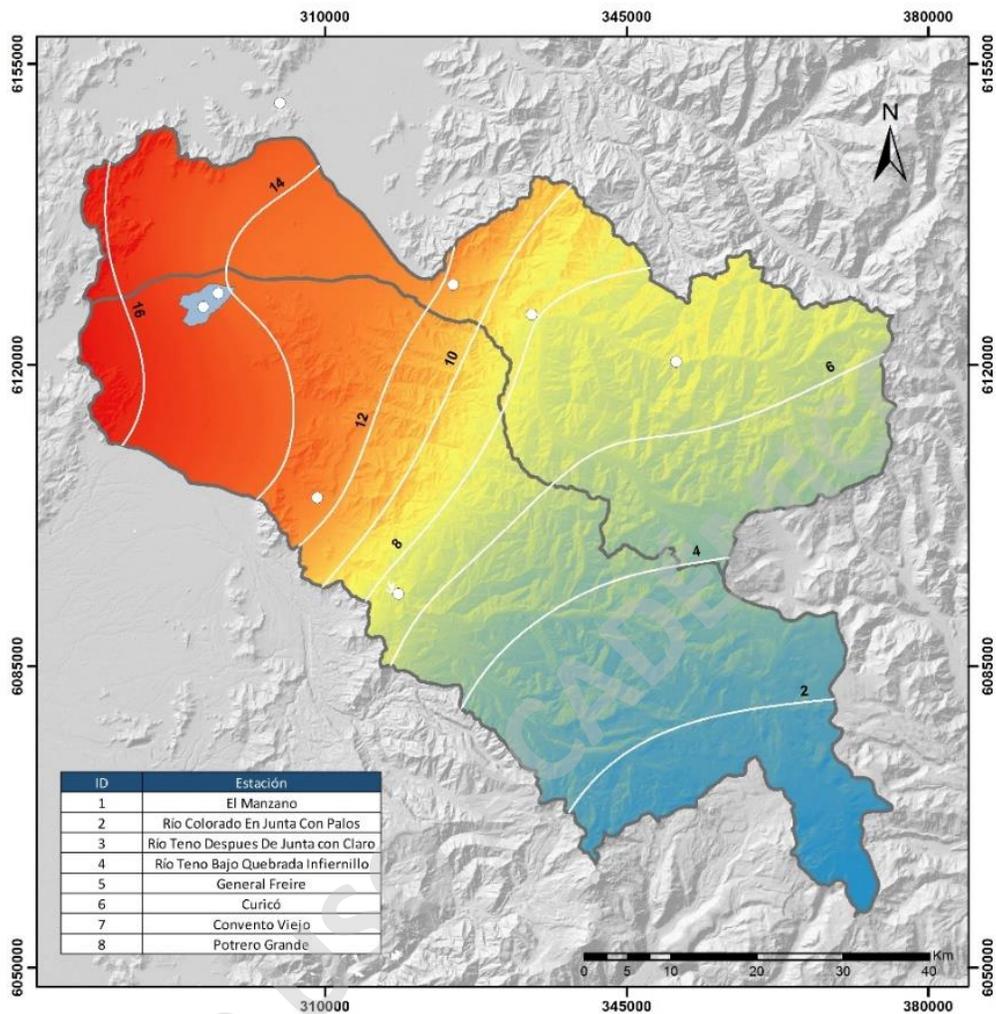


Figura 3-4: Mapa de isotermas. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la DGA y DMC.

3.2 GEOFÍSICA APLICADA

A partir del levantamiento gravimétrico realizado por Aquaterra (2012), en conjunto con datos de CNR-GCF (2006), se genera un modelo de profundidad del basamento subterráneo con el objetivo de determinar su morfología. Para esto, se realizan en total 13 perfiles gravimétricos en el Valle Central, cuyo proceso de modelamiento geofísico entregaron las siguientes densidades:

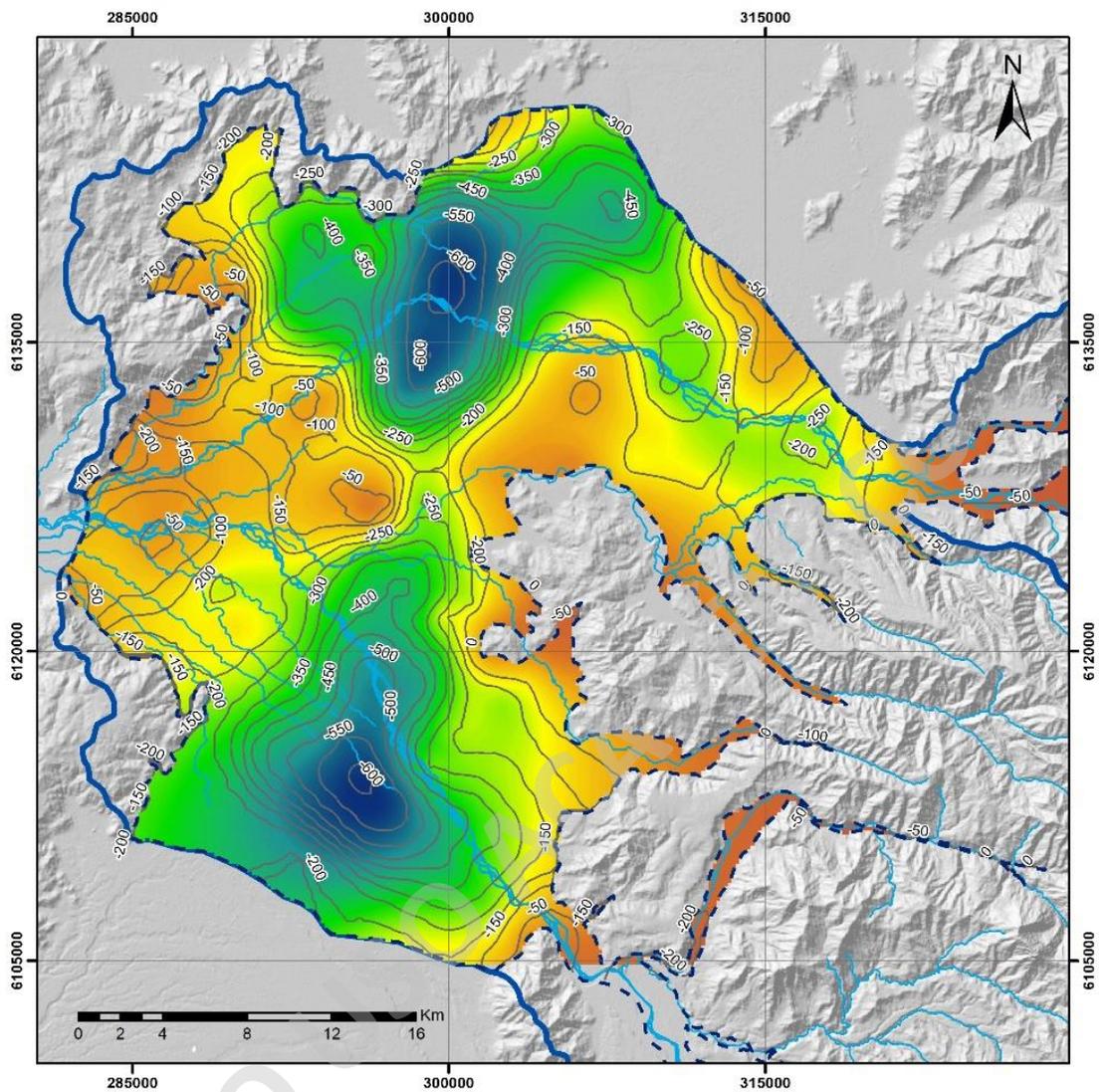
- Sedimentos: 2.1 gr/cm^3
- Basamento Subterráneo: 2.6 gr/cm^3

Los resultados entregan que los sedimentos están compuestos por ripios, gravas, arenas, arcillas y limos en variadas combinaciones. El basamento corresponde a rocas volcanoclásticas e intrusivas según el sector.

El resultado de la interpolación de la información anterior se presenta en la Figura 3.5, donde sus valores sirven de base para generar los perfiles geológico e hidrogeológicos presentes en el Capítulo 3.3.2, representando la posición del basamento rocoso en cada perfil.

En el mapa isobático de la zona estudiada se observan importantes variaciones de la profundidad a la que se encuentra el basamento, destacando la existencia de dos subcuencas o depresiones en la zona central de cerca de 600 metros de profundidad separados por un alto de basamento a la latitud de Curicó. Esta información nos indica que el Valle Central de la cuenca posee un relleno sedimentario de gran espesor y, por consiguiente, con un alto potencial hidrogeológico.

En el Anexo 3.2, en la sección de prospección geofísica, se presentan las principales características de cada perfil gravimétrico y los resultados de los modelos de profundidad.



Leyenda

- | | | |
|---|--------------------------|---|
|  | Cuenca Río Teno y Lontué | Valores de Profundidades (m) |
|  | Acuífero Teno-Lontué |  |
|  | Curvas Isopropfundidad | High : 0 |
|  | Red Hidrográfica | Low : -617 |

Figura 3-5: Plano isobático del área del Valle central. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la DGA, 2012.

3.3 HIDROGEOLOGÍA

3.3.1 Estratigrafía Cuaternaria

La primera etapa del trabajo consistió en analizar la estratigrafía de los sondajes de la cuenca, cuya información se encuentra en los expedientes administrativos existentes en la Dirección General de Aguas. Con esta recopilación bibliográfica se generó un catastro de 102 pozos efectivamente revisado y analizados, lo que en función a la calidad de los datos estratigráficos aportados se seleccionaron los sondajes que presentaban descripciones de mayor detalle, precisión y los de mayor profundidad, lo que se reduce el catastro a 71 pozos y el cual se puede observar en el Anexo 3.3-1.

Mediante características sedimentológicas y texturales proveniente de la estratigrafía de sondaje se permiten agrupar unidades geológicas presentes en la cuenca. El criterio para conformar unidades geológicas fue considerando la granulometría de los depósitos como también considerando el contenido de finos (mayor o igual a un 30% de arcilla). Lo anterior se resumen en unidades geológicas tales como: Grava, Grava arcillosa, Arena, Arena gravosa, Arena arcillosa, Arcilla.

A continuación, en la Figura 3.6 se muestra un mapa con 6 trazas que se ocuparon para la confección de perfiles geológicos. Para estos efectos se consideró los pozos ocupados en el estudio de la DGA (2012) representados en rojo, mientras que los pozos azules corresponden a información utilizadas en este estudio. El número que se ubica sobre cada pozo corresponde al número del expediente administrativo.

Se elaboran un total de 6 perfiles geológicos, los cuales incluyen la posición (perfil) del basamento rocoso extraída del plano isobático en el capítulo de Geofísica.

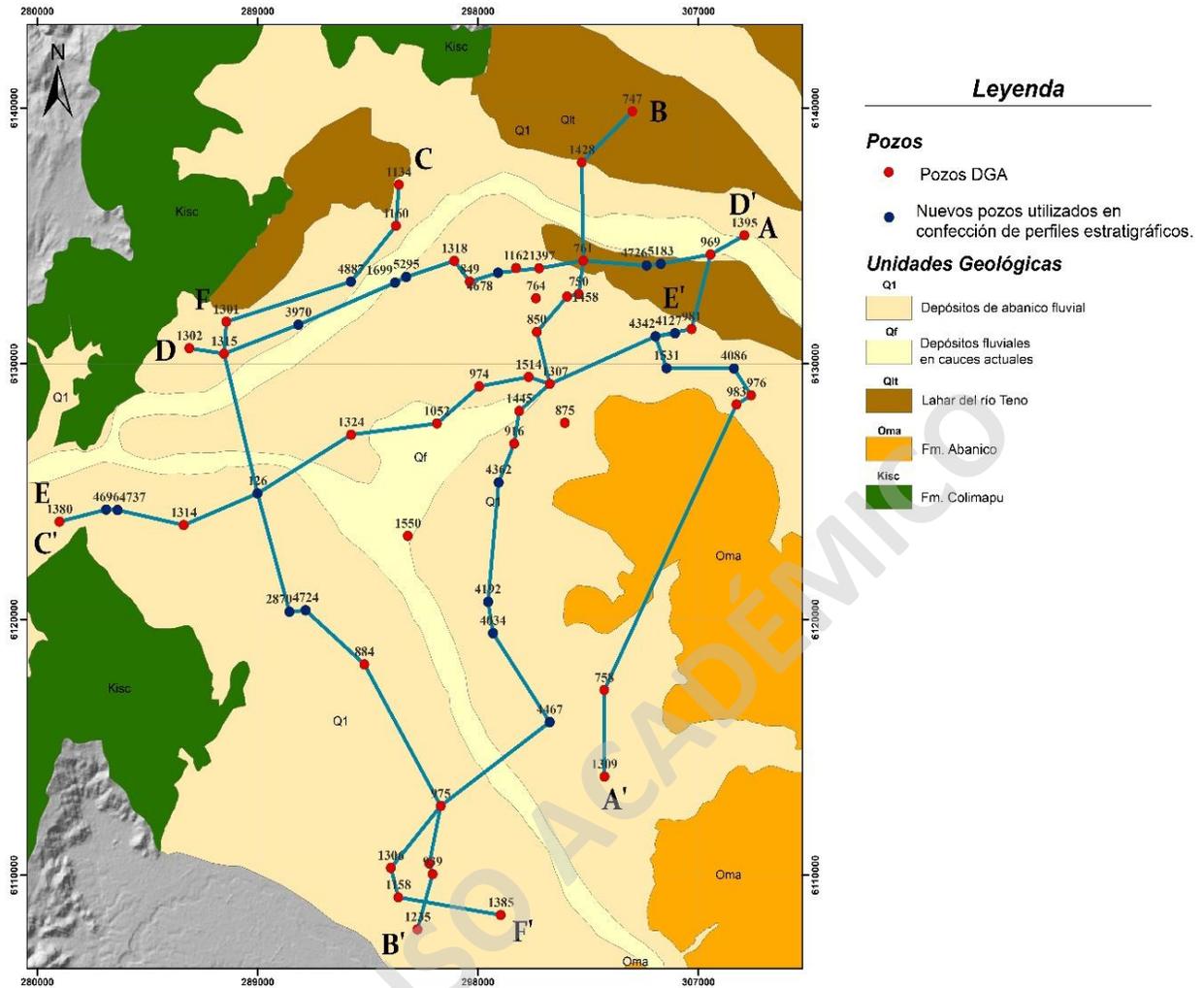


Figura 3-6: Distribución de perfiles estratigráficos.
Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se presentan en las Figuras 3.7, 3.8, 3.9, los perfiles geológicos generados con sus respectivas trazas, pudiéndose apreciar en cada uno de ellos las distintas litologías en vertical y transversal.

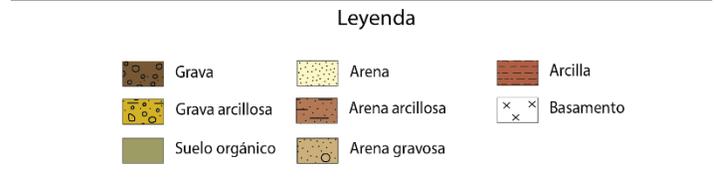
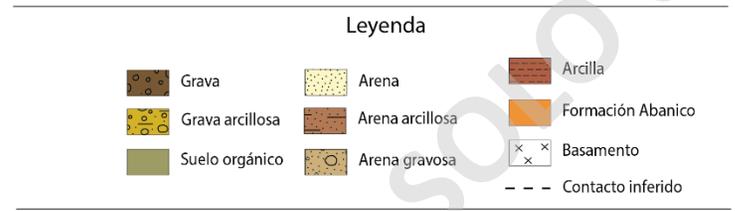
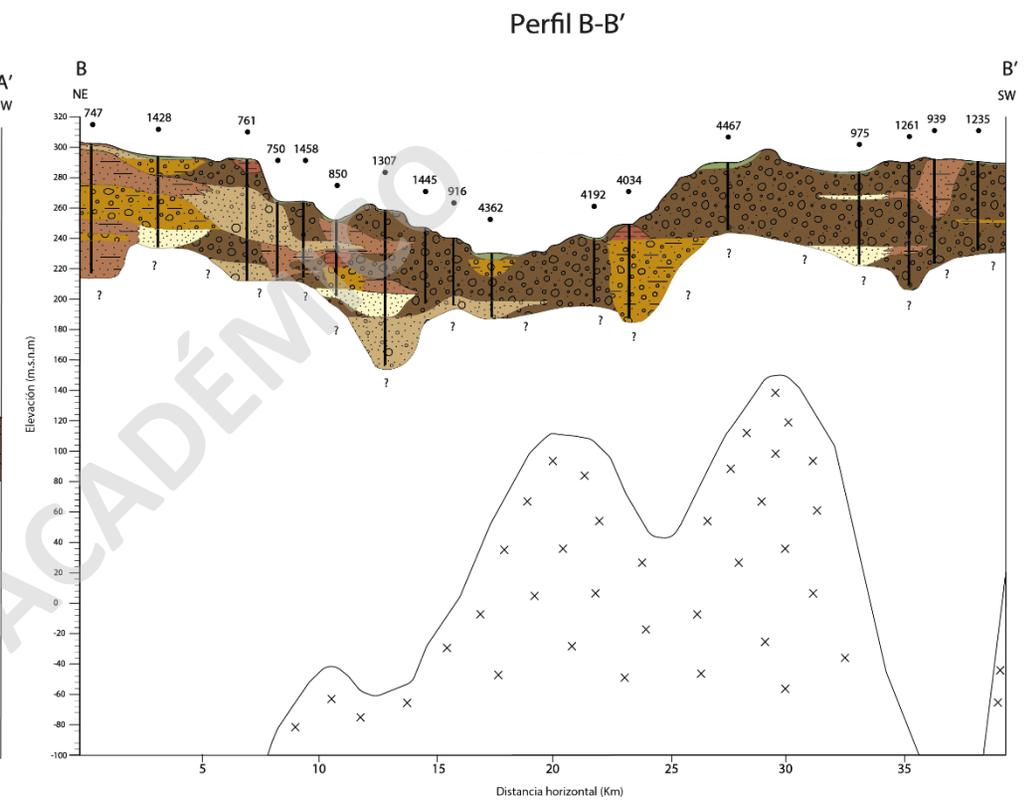
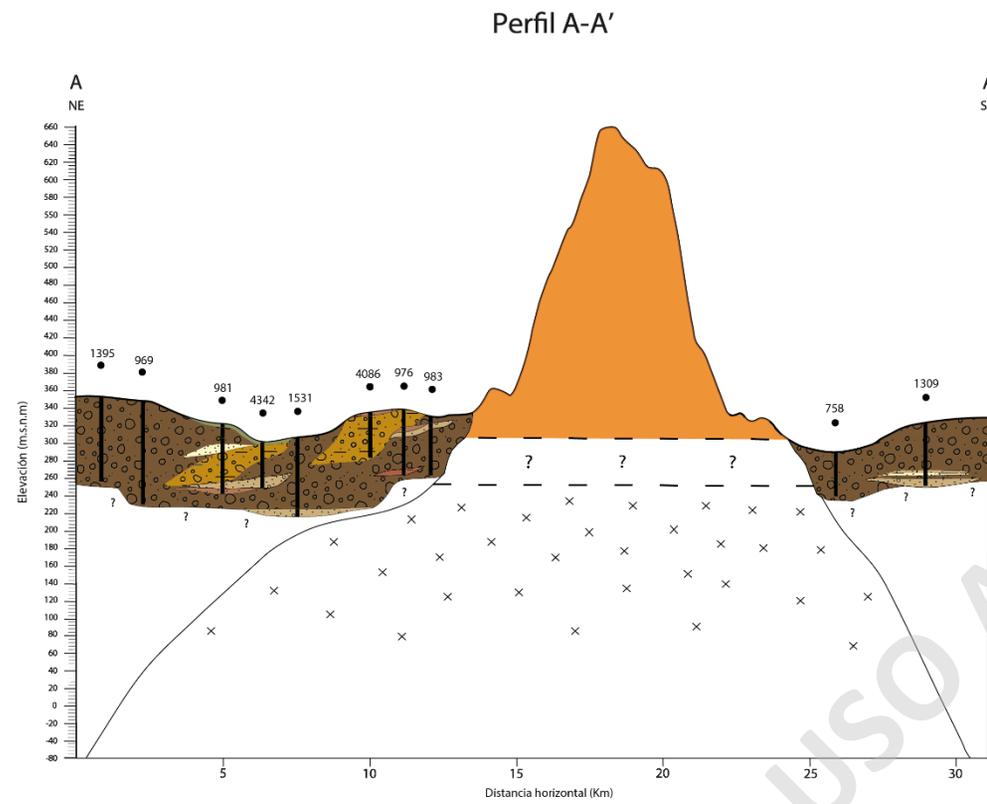


Figura 3-7: Perfil geológico A-A' y B-B'. Fuente: Elaboración propia.

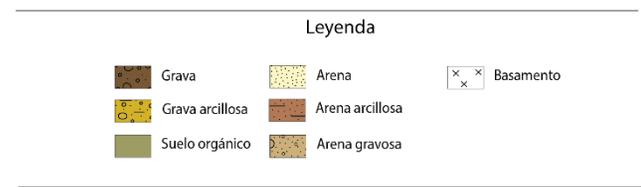
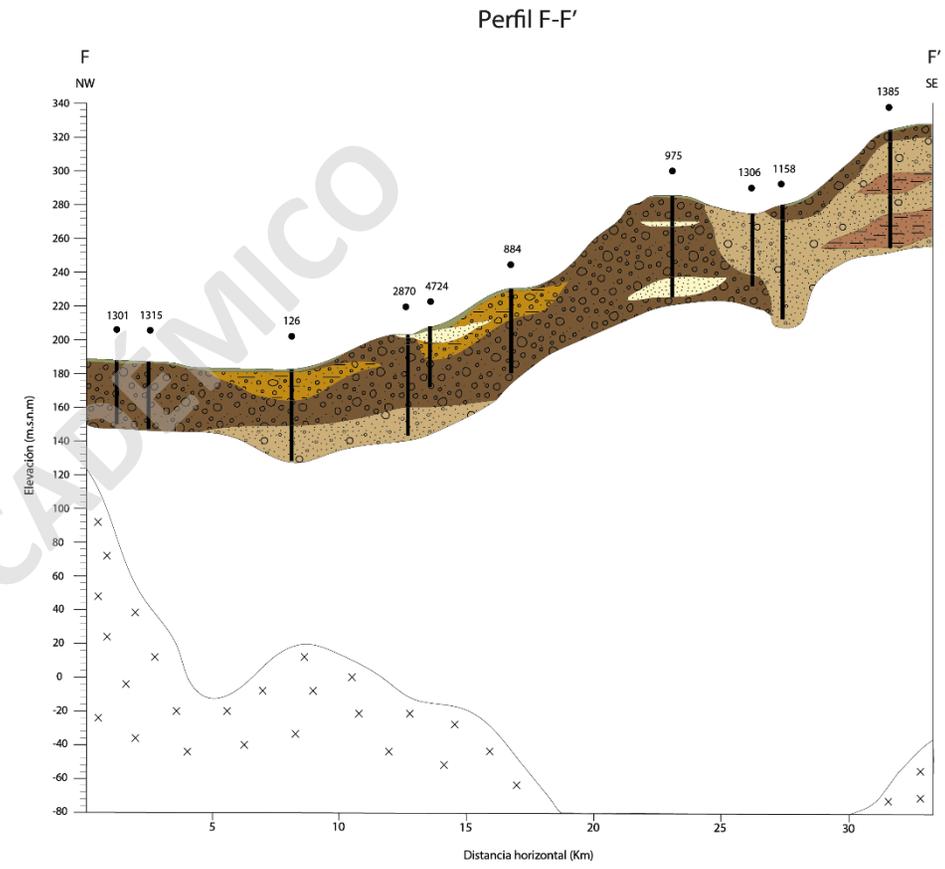
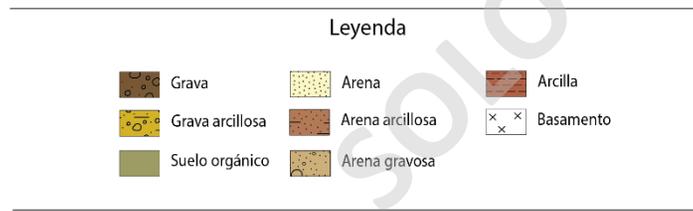
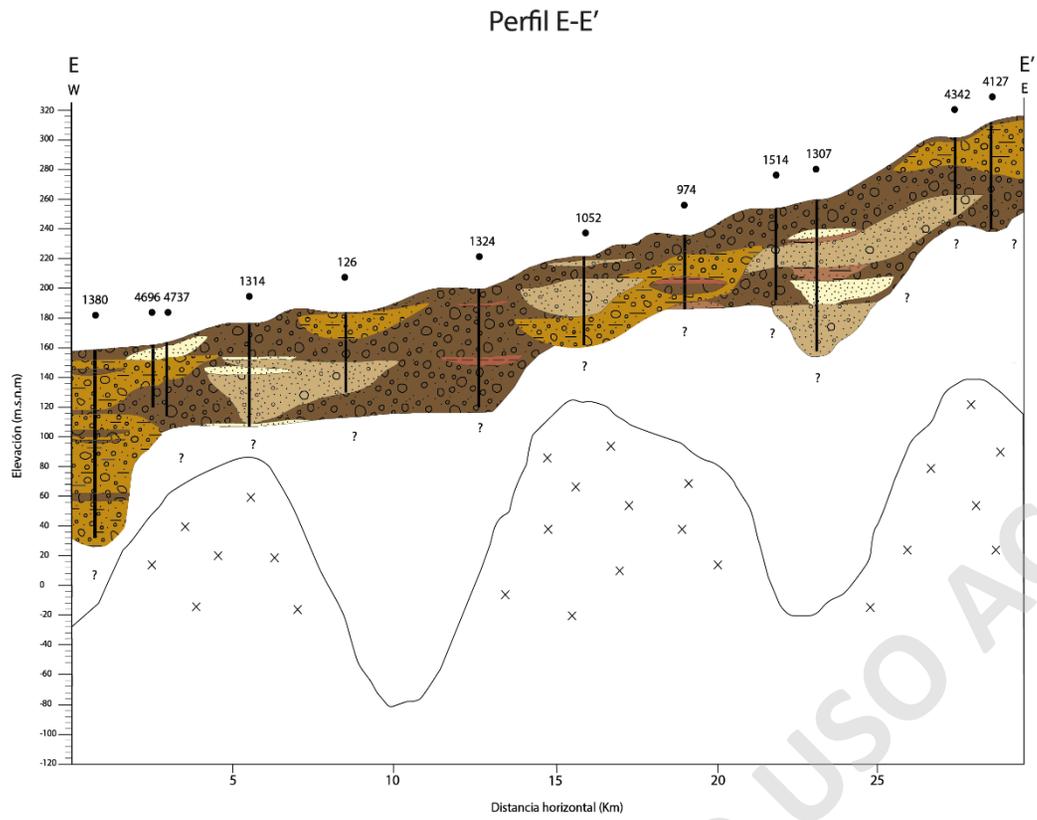


Figura 3-9. Perfil geológico E-E' y F-F'. Fuente: Elaboración propia.

3.3.2 Unidades Hidrogeológicas (UH)

La Comisión Nacional de Riego (2006), en conjunto con la colaboración de GCF Ingenieros Consultores (2006) y la Dirección General de Aguas (2012), definen 3 unidades hidrogeológicas de acuerdo a sus características sedimentológicas de las unidades geológicas existentes, las cuales, a su vez, determinan rangos estimativos de permeabilidad. De esta manera, varias unidades geológicas se agrupan para conformar unidades hidrogeológicas únicas.

En la Figura 3.11 se reconocen las 3 unidades hidrogeológicas principales a nivel superficial en el área de estudio, donde la representación gráfica de colores se basa en los principios propuestos por Struckmeier, W. y Margat (1995). En este enfoque, el autor utiliza un triángulo invertido para ilustrar el potencial de los acuíferos o de las unidades hidrogeológicas, con una disminución gradual de su productividad en dirección al vértice inferior del triángulo (Figura 3.10)

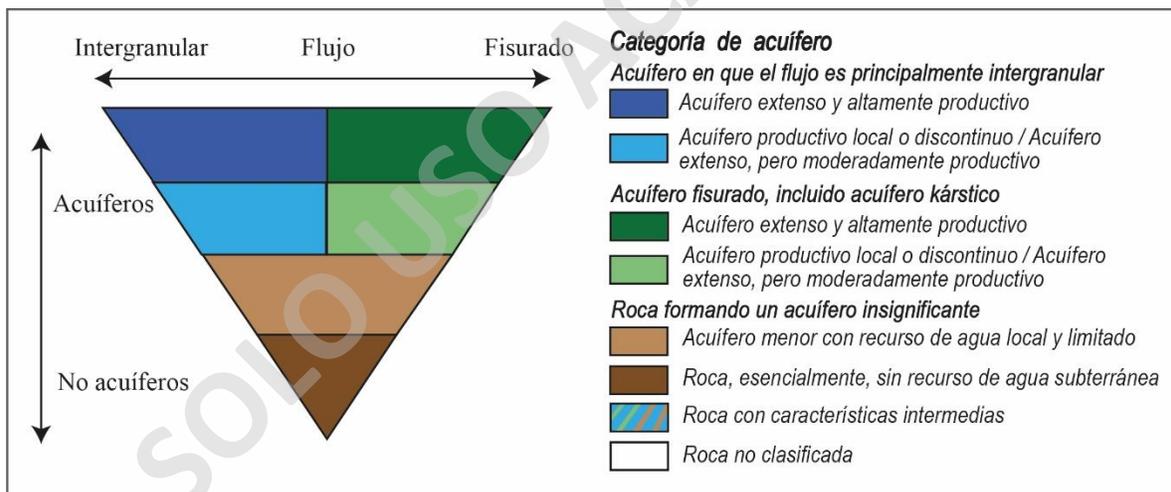


Figura 3-10: Sistema de clasificación de acuíferos propuesto por Struckmeier, W. y Margat (1995).

A continuación, se indican las unidades y los rangos de permeabilidad, aplicados de manera estimativa a cada tipo de unidad hidrogeológica definida:

3.3.2.1 Unidad Hidrogeológica 1: Medios intergranulares de bajo contenido de finos (30%)

Esta unidad con bajo contenido de finos determina una permeabilidad moderada a alta, presumiblemente del orden de entre $1 - 10^2$ m/d.

Esta unidad posee una granulometría variable, la cual está compuesta por bolones, gravas, arenas gruesas a finas y escasos finos (limo-arcilla). Se define como la unidad con mayor potencial hidrogeológico.

Bajo esta denominación se encuentran principalmente los depósitos sedimentarios de origen fluvial de alta energía que se distribuyen en los cauces de los ríos Teno y Lontué. Superficialmente, se ubican en la llanura del Valle Central, al Este de la Cordillera de la Costa y al Oeste del borde preandino (Figura 3.11).

Secundariamente la conforman depósitos de origen no fluvial, es decir, depósitos sedimentarios fluvio-aluvionales, gravitacionales, coluviales. Estos depósitos, rellenan valles de la Cordillera de la Costa y serranías intermedias. Posee bajo grado de compactación y nula cementación. Estos depósitos presentan mayoritariamente una permeabilidad media ($1 - 10$ m/d).

3.3.2.2 Unidad Hidrogeológica 2: Medios intergranulares con abundante contenido de arcillas (>30%)

La segunda unidad hidrogeológica de las cuencas del río Teno y Lontué, corresponde a depósitos de mala selección con abundantes arcillas (>30%). Presenta una permeabilidad moderada a baja (10^{-1} a 10^{-4} m/d).

Está compuesta principalmente por depósitos de remoción en masa o corrientes de barro, los cuales posteriormente fueron transportados por el agua y finalmente redepositados. Superficialmente, se reconocen en mayor medida en el Valle Central compuesta por depósitos cineríticos (Qc) y depósitos del Lahar del río Teno (Qt), y subordinadamente en valles de drenaje secundarios en los sectores de la Cordillera de la Costa (Figura 3.11).

Bajo esta denominación también se han incluido depósitos lacustres representados por arcillas y arcillas limosas, las cuales se habrían depositado en aguas tranquilas,

probablemente por represamiento temporal, producto de barreras de depositación de sedimentos.

En la mayoría de los perfiles hidrogeológicos (que se detallarán en el siguiente capítulo), se ha identificado esta unidad de manera restringida o limitada. Como resultado, se ha representado en forma de lentes de dimensiones reducidas. No obstante, en ciertas áreas de la subsuperficie, se observan extensiones más considerables de esta unidad. Un ejemplo de esto se encuentra en el sector norte de la cuenca, donde a nivel superficial se localiza la Fm. Lahar del río Teno, la cual muestra un contenido significativo de finos (limo-arcilla). Otro caso ocurre en el sector suroeste, donde se encuentra el encajonamiento de del Valle Central.

3.3.2.3 Unidad Hidrogeológica 3: medios rocosos de muy baja a nula permeabilidad.

Esta unidad corresponde a rocas consolidadas de tipo intrusivas y en menor proporción, sedimentarias y volcanoclásticas. Afloran en la parte Este de la cuenca del río Teno y Lontué como también en el sector de la Cordillera de la Costa (Figura 3.11)

Son rocas con una porosidad primaria muy reducida a nula, a las cuales se le asocian permeabilidades inferiores a 10^{-4} m/d. Sin embargo, se puede considerar la existencia de eventuales porosidades secundarias, las cuales dependen de la presencia de fracturas; que en su mayoría corresponderían a diaclasas de poca continuidad.

UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS DE ACUERDO A SU PERMEABILIDAD

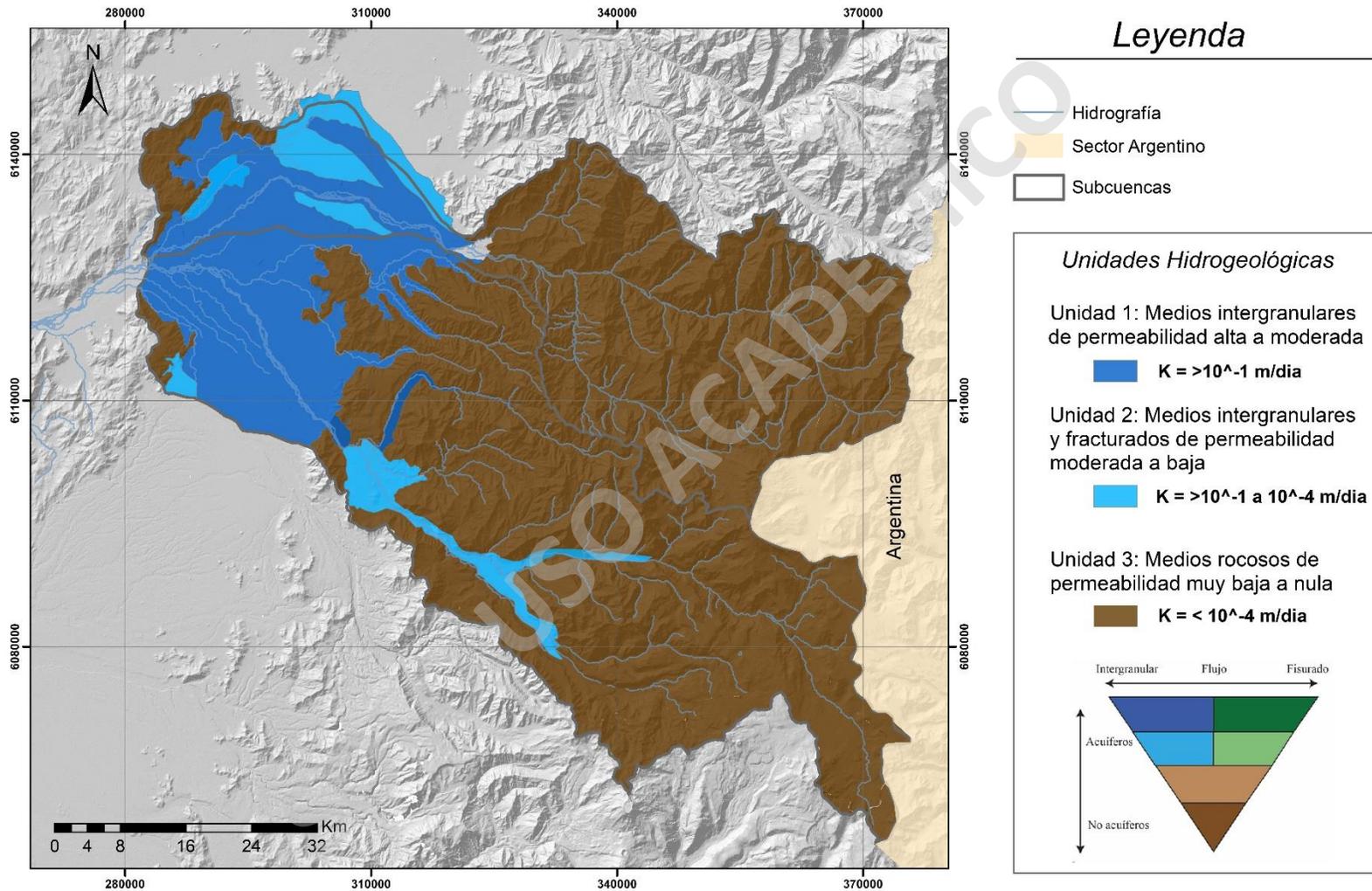


Figura 3-11: Unidades hidrogeológicas superficiales de acuerdo a rangos de permeabilidad.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de CNR, 2006

3.3.3 Perfiles Hidrogeológicos

Se elaboran un total de 6 perfiles hidrogeológicos a partir de los perfiles geológicos efectuados y rangos estimativos de permeabilidad. A continuación, se describen cada uno de los perfiles.

Perfil A-A'

En este perfil predominan los depósitos de permeabilidad media a alta de la Unidad 1 a excepción de la zona central donde aflora la Unidad 3, correspondiente a una unidad no acuífera constituidas de lavas basálticas e intermedias con intercalaciones sedimentarias de la Formación Abanico (Oma), cuya profundidad se desconoce, pero, al menos en la parte sur del perfil, superaría los 150 a 200 m.

En esta zona se identifican dos niveles de la Unidad 2 principalmente, con espesores de 35 y 50 metros, donde este último aflora en superficie.

Perfil B-B'

Se reconoce principalmente la Unidad 1, con una potencia máximas de hasta 100 metros de profundidad para el pozo 1307. En el sector norte predomina la Unidad 2, sobre todo para los pozos 747 y 1428, con espesores de 85 y 60 metros respectivamente, con depósitos que alcanzan hasta un 50% de contenido en arcilla. El sondaje 4034 se desarrolla exclusivamente en una zona con media a baja importancia hidrogeológica.

A lo largo de este perfil no se reconoció el basamento rocoso correspondiente a la Unidad 3.

Perfil C-C'

Predomina en el sector una alta importancia hidrogeológica, con lentes de la Unidad 2 de 20 y 18 metros de espesor de norte a sur respectivamente. Esta situación es distinta en la parte sur para el sondaje 1380, donde se reconoce principalmente la Unidad 2, con un contenido de arcilla variable de entre 30 – 55%, siendo un sector con una media a baja importancia hidrogeológica. Presenta pequeños niveles de grava, pero a efectos de escala son descartados en el perfil hidrogeológico.

Perfil D-D'

Se reconoce principalmente la Unidad 1, caracterizado por presentar un alto potencial hidrogeológico con lentes de baja importancia hidrogeológica. Estos lentes se reconocen en casi todos los sondajes del perfil, siendo relevante destacar la presencia de dos lentes de arcilla en los pozos 1302 y 1699, de 12 y 18 metros de espesor respectivamente (este último con bajos contenidos de arena), los que se definen de baja importancia hidrogeológica.

Perfil E-E'

Se reconoce principalmente los depósitos con una alta importancia hidrogeológica con la excepción del sector occidental, en donde presenta una predominancia en la Unidad 2, sobre todo para el pozo 1380. El perfil presenta lentes de la Unidad 2 de variadas dimensiones, destacando el sondaje 974, el cual presenta de 37 metros de potencia de depósitos de media a baja importancia hidrogeológica.

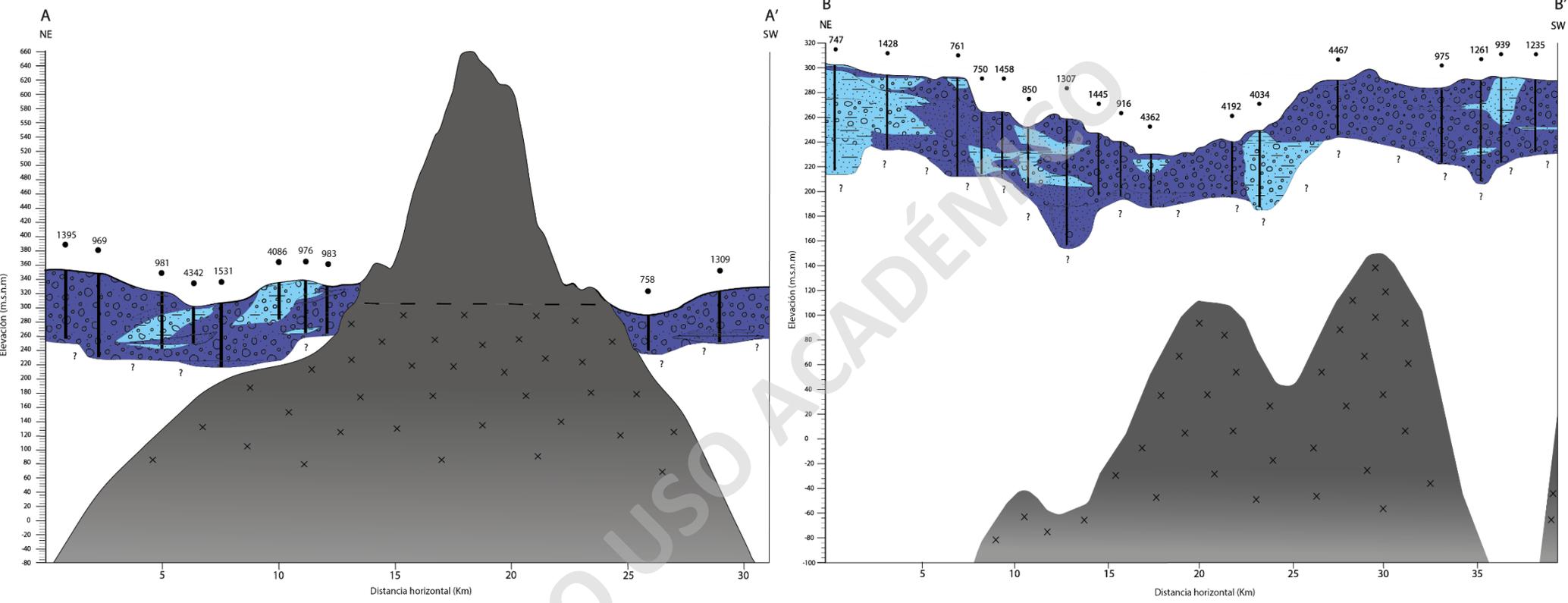
Perfil F-F'

Predomina los depósitos con una alta importancia hidrogeológica, reconociendo unos 60 metros de potencia aproximado correspondiente a la Unidad 1, presentando lentes de la Unidad 2 en solo cuatro pozos, con potencia máxima de hasta 20 metros. Los lentes del sector sur son los que poseen una granulometría más fina con mayor contenido de finos (40% de arcilla).

A continuación, se presentan los perfiles hidrogeológicos generados, pudiéndose apreciar en cada uno de ellos las unidades acuíferas en vertical y transversal.

Perfil A-A'

Perfil B-B'



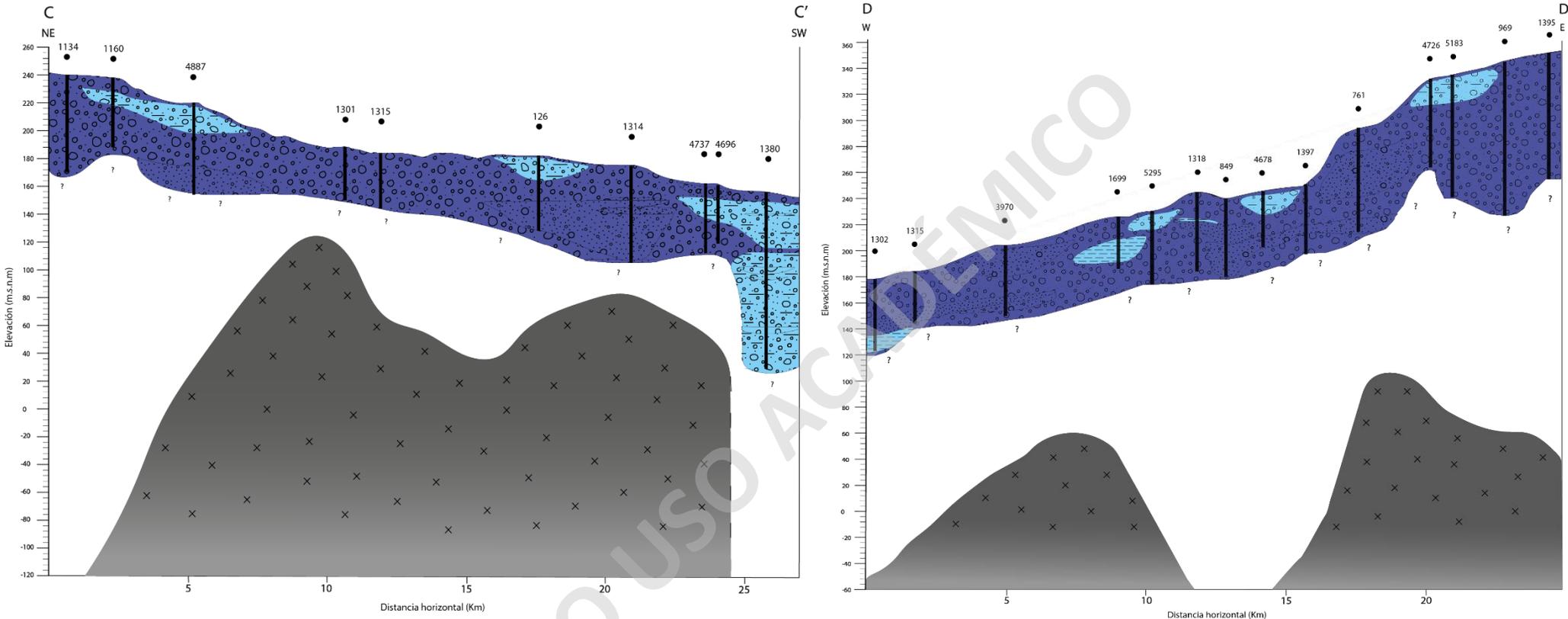
Leyenda

- Unidad Alta Importancia Hidrogeológica
- Unidad Media a Baja Importancia Hidrogeológica
- Unidad No Acuífera
- Contacto inferido

Figura 3-12: Perfil hidrogeológico A-A' y B-B'. Fuente: Elaboración propia.

Perfil C-C'

Perfil D-D'



Leyenda

- Unidad Alta Importancia Hidrogeológica
- Unidad Media a Baja Importancia Hidrogeológica
- Unidad No Acuífera

Figura 3-13: Perfil hidrogeológico C-C' y D-D'. Fuente: Elaboración propia.

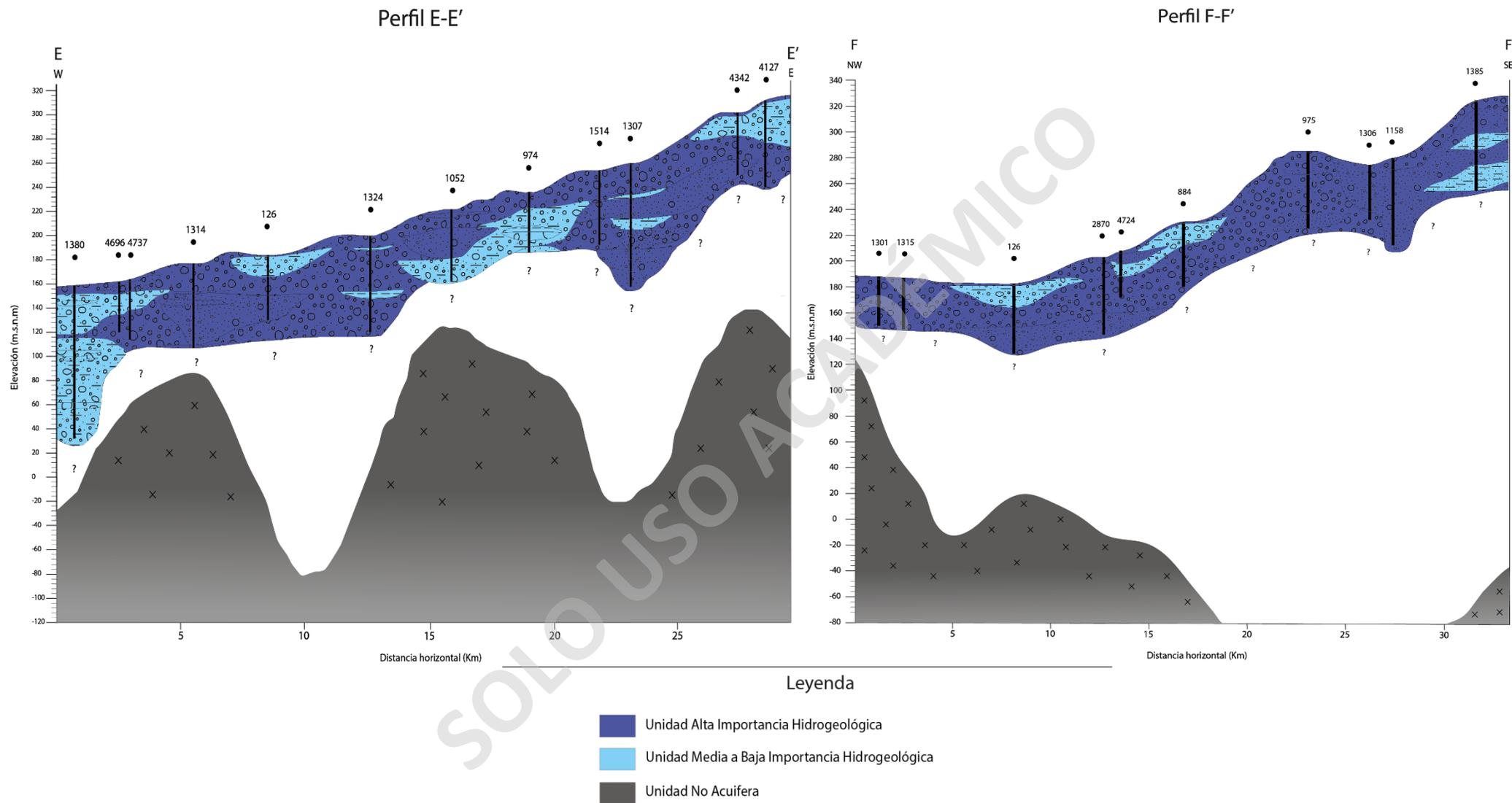


Figura 3-14: Perfil hidrogeológico E-E' y F-F'. Fuente: Elaboración propia.

3.3.4 Curvas Equipotenciales y Sentido del flujo de agua subterránea

Para este trabajo se generó una base de datos con la medición de niveles estáticos de 163 pozos distribuidos espacialmente en la zona de estudio, con la consideración de que los niveles se hayan medido en pozos efectuados del 2017 a la fecha. La información fue recopilada de los expedientes de la Dirección General de Aguas (DGA) y el cual se adjunta en el Anexo 3.3-2.

A partir de la información de cotas del nivel estático y en conjunto con las cotas del terreno, se construyen curvas equipotenciales cada 20 m (Figura 3.15), lo anterior permite determinar el sentido de escurrimiento de las aguas subterráneas las que son representadas mediante flechas celestes denominadas líneas de flujo.

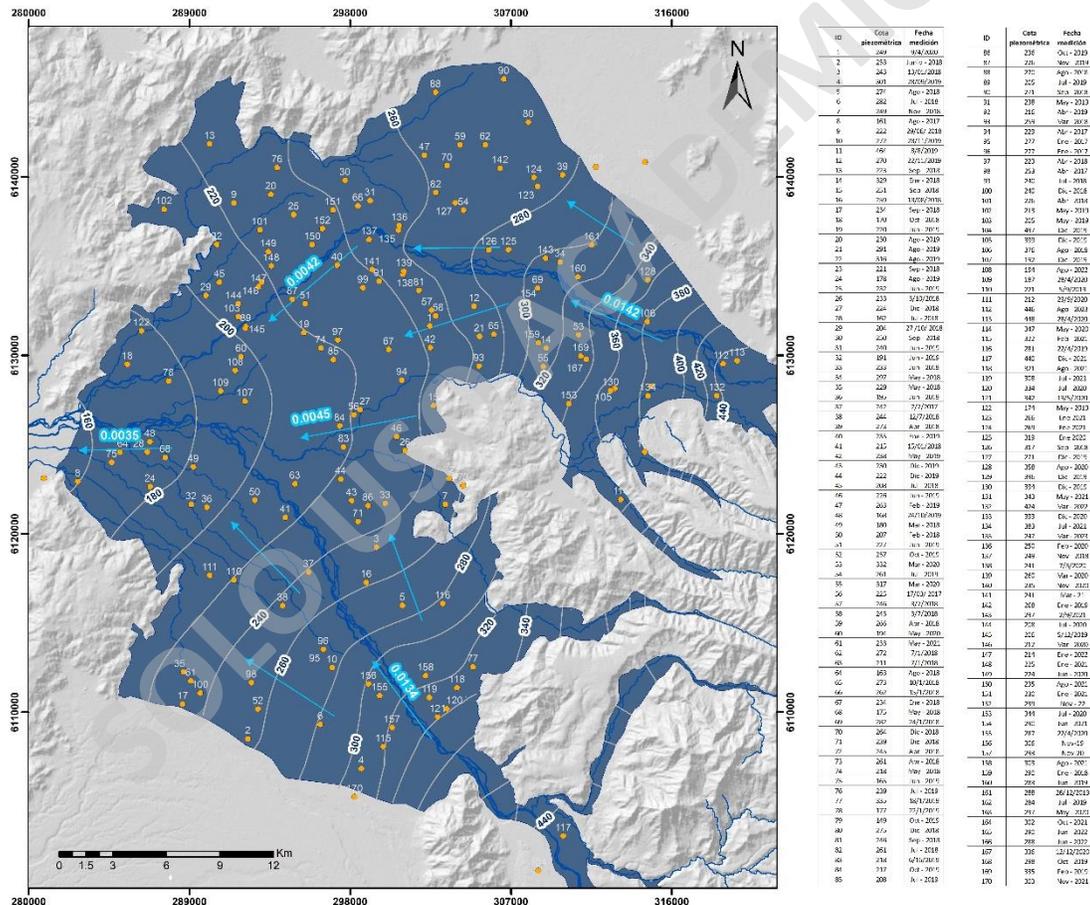
El patrón general del flujo muestra una tendencia de escurrimiento similar a los patrones de escurrimiento superficial, con una trayectoria dominante E-W. Se identifica que en los sectores pre andinos de las subcuencas de los ríos Teno y Lontué, el escurrimiento de las aguas subterráneas presenta una dirección SE-NW, con valores del gradiente hidráulico entre 0.0142 y 0.0134. Sin embargo, la subcuenca del río Teno puede llegar a presentar gradientes mayores comprendidos entre 0.0220 y 0.0260 aproximado, superior comparativamente con la subcuenca del río Lontué.

Para el sector poniente, en ambas subcuencas se produce un cambio en el sentido de escurrimiento de las aguas subterráneas, donde para la subcuenca del río Teno se genera un escurrimiento NE-SW, para luego cambiar en sentido E-W hacia la salida de la cuenca. Mientras que la subcuenca del río Lontué mantiene una tendencia preferentemente SE-NW cambiando a E-W al final de la cuenca. Todas las aguas subterráneas escurren en el mismo sentido al final de la cuenca donde se encuentran próximos a la confluencia de los ríos Teno y Lontué. Además, los valores de gradiente hidráulico disminuyen progresivamente en ambas cuencas llegando a los 0.0035 cuando se encuentra cercanos a la confluencia.

Según las diferentes geometrías que adoptan las equipotenciales, se puede deducir que el río en el sector pre andino de la subcuenca del río Teno presenta un comportamiento influente, existiendo una recarga en ambientes de infiltración hacia las aguas subterráneas, situación que ocurre hasta la curva isofreática 260 aproximado. Luego de eso, la curvatura

de las equipotenciales se reduce continuamente hasta convertirse en líneas rectas con respecto al cauce, donde indica que existe un equilibrio entre los niveles del río con las aguas subterráneas.

Para el caso de la subcuenca del río Lontué, la geometría de las equipotenciales en el sector pre andino indica un comportamiento influente, similar que en el río Teno, pero menos pronunciadas y/o curvadas, lo que podría implicar que parte de su caudal se pierde por infiltración. Sin embargo, su relación no queda muy exacta. Desde la curva isofreática 240 en adelante, las equipotenciales son prácticamente rectas, existiendo un equilibrio entre los niveles de agua del cauce y las aguas subterráneas.



Leyenda

- Red Hidrográfica
- Acuífero Teno-Lontué
- Curvas Equipotenciales cada 20 m
- Pozos Nivel Estático
- Dirección del flujo subterráneo

Figura 3-15: Curvas equipotenciales cada 20 metros. Fuente: Elaboración propia.

3.3.5 Profundidad Nivel Estático

A partir del reporte de pozos obtenido de los expedientes de la Dirección General de Aguas, se puede obtener información de la variación mensual de los niveles estáticos en pozos ubicados en la zona de estudio. El único pozo vigente se llama Estadio de Molina, ubicado en la comuna de Molina de la subcuenca del río Lontué, en un periodo de medición del 2014 a la actualidad.

En términos teóricos, los meses de mayo a agosto los niveles estáticos se encuentran más someros debido a que es el periodo en donde se producen la mayor cantidad de precipitaciones, generando que la recarga hacia el acuífero aumente la superficie freática. Mientras que los meses de noviembre a abril se producen los niveles más profundos ya que coincide con los meses de baja precipitación. Sin embargo, este comportamiento no siempre se cumple debido a que le afectan más factores, como explotación de las aguas subterráneas o recarga por infiltración de riego.

El siguiente gráfico expone lo anterior, donde las mediciones de niveles estáticos entregan valores que muchas veces no sigue el patrón general. Además, resulta importante destacar en cómo ha disminuido, es decir, profundizado el nivel freático transcurrido el tiempo desde 2014 a la actualidad, con un peak importante ocurrido en julio del 2020.

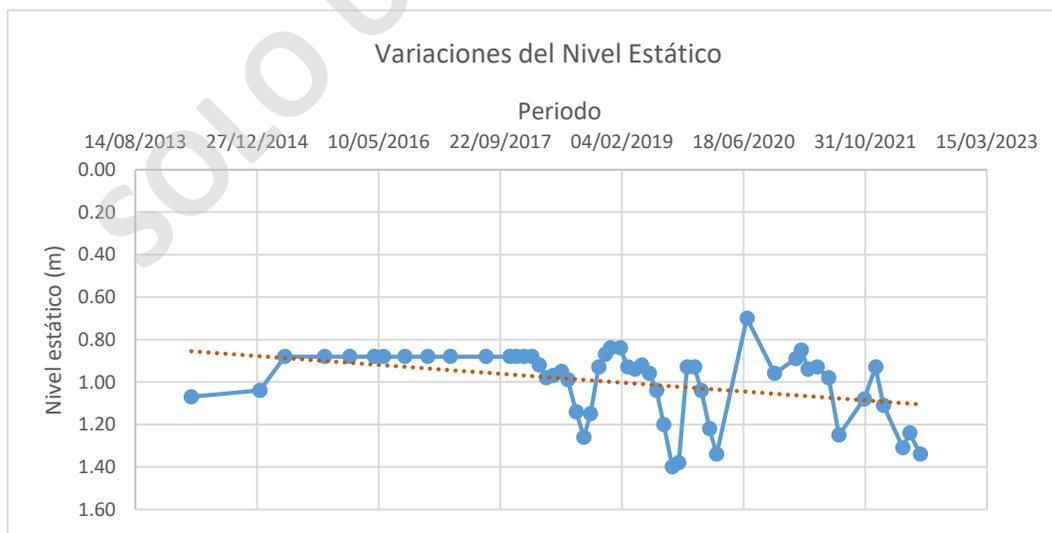


Gráfico 3-6: Disminución gradual del nivel estático de la estación Estadio de Molina.
Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la DGA.

De acuerdo a los datos de niveles estáticos obtenido en el capítulo anterior, se procede a generar un mapa de profundidad distribuidas en 6 rangos (Figura 3.16), los cuales entregan una distribución espacial de las profundidades a las que llega el nivel estático. En la Tabla 3-3 siguiente se muestran los rangos de cada uno de los tramos definidos y la cantidad de pozos existentes en cada tramo.

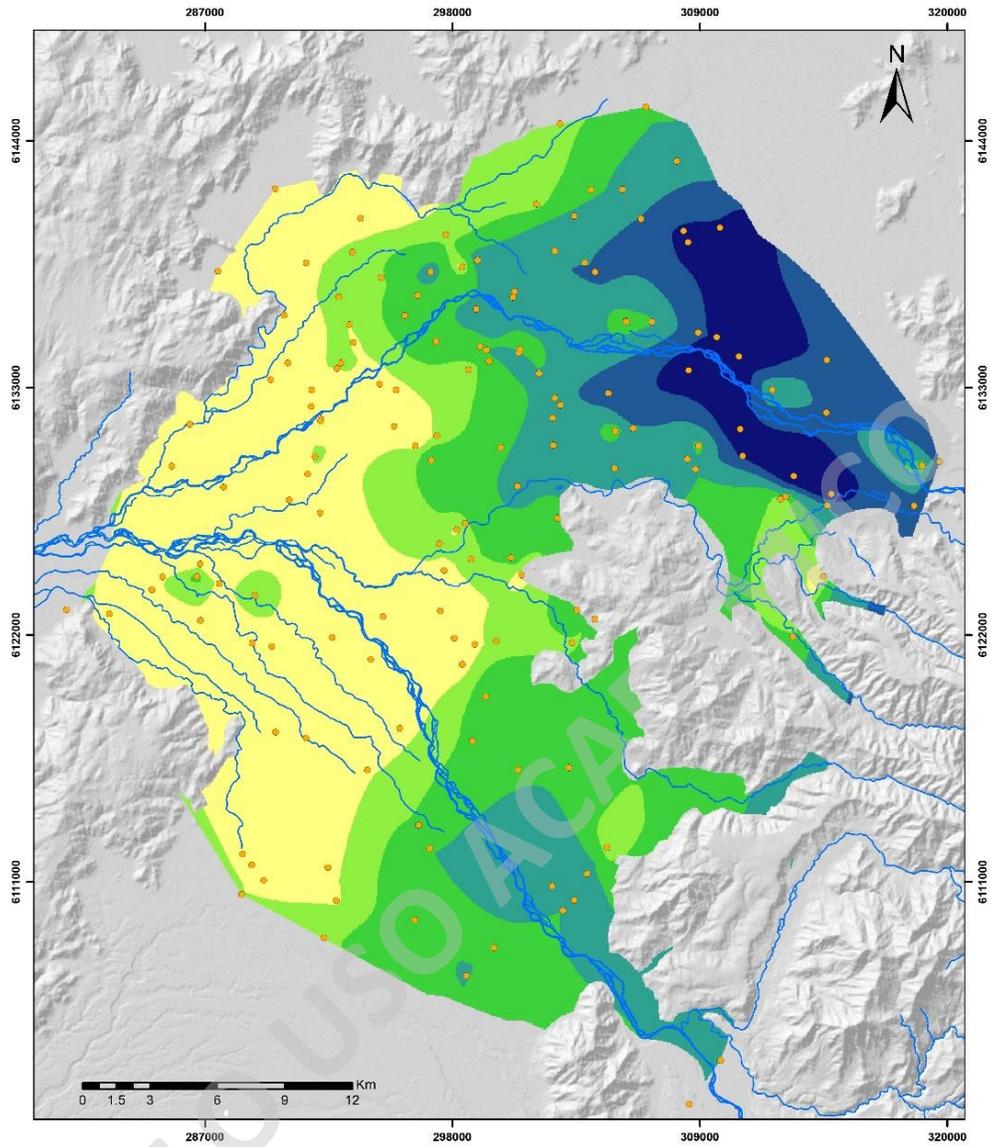
Tabla 3-3: Tramos con rangos de profundidad Nivel Estático.

Rango Profundidad Nivel Estático (m)	Cantidad de Pozos	% de pozos del Total
0 - 5	52	33 %
5 - 10	28	18 %
10 - 20	28	18 %
20 - 40	28	18 %
40 - 60	9	6 %
>60	12	8 %
Total	157	100

Los resultados muestran una disminución gradual y continua de las profundidades en sentido E-W, tendencia que se repite en ambas subcuencas. Las zonas que alcanzan una mayor profundidad se encuentran en los sectores pre andinos, sobre todo en la subcuenca del río Teno, donde se encuentra focalizada una zona con pozos que alcanzan profundidades de hasta 90 metros de profundidad.

La ubicación de los pozos de mayores profundidades coincide en zonas donde a nivel superficial y subsuperficial se encuentran unidades aluviales, cineríticas y laháricas, las cuales concentran un alto contenido de finos convirtiéndola en zonas de baja permeabilidad.

Mientras que las menores profundidades del nivel estático se observan en el sector poniente de la cuenca con profundidades de 0 a 5 metros y sectores focalizados que alcanzan profundidades de hasta 10 metros.



Leyenda

● Pozos Nivel Estático	Rango Profundidad (m)	
— Red Hidrográfica	0 - 5	20 - 40
	5 - 10	40 - 60
	10 - 20	> 60 m

*Figura 3-16: Mapa con rango de profundidad del nivel estático.
Fuente: Elaboración propia.*

3.4 BALANCE HÍDRICO

El balance hídrico se basa en la aplicación del principio de conservación de masa, estableciendo que, para cualquier volumen de agua y durante cualquier periodo de tiempo, la diferencia entre las entradas y salidas deben reflejarse en una variación del volumen de agua almacenada (ΔS). De este modo, cuando los volúmenes de agua de entradas superan a las de salidas, el volumen de agua almacenada aumenta y cuando ocurre lo contrario disminuye.

Dentro de lo que se define en el balance hidrológico, se puede afirmar que el agua que cae por precipitación, parte vuelve a la atmosfera por medio de la evaporación directa y por transpiración de las plantas (o en la consideración conjunta de estos dos procesos como evapotranspiración), otra parte escurre por la superficie de la cuenca (escorrentía superficial) y el resto se infiltra en el terreno y se incorpora al sistema de aguas subterráneas o acuífero.

La ecuación general del balance hídrico de acuerdo al principio de la conservación de masa es la siguiente:

$$\textit{Entradas} - \textit{Salidas} = \textit{Cambio de Almacenamiento} (\Delta S)$$

Donde las entradas son representadas por la recarga total, las salidas representadas por la descarga total, y la diferencia de esto representa el cambio del volumen de agua almacenada.

En el balance hidrológico se utiliza de manera general la siguiente expresión:

$$P - (ETR + Es + Sp + FSs + Da) = \Delta S$$

Donde:

P : Precipitación

ETR : Evapotranspiración Real

Es : Escorrentía superficial

Sp : Salida superficial

FSs : Flujo subterráneo de salida

Da : Demanda antrópica

Siendo la precipitación (P) la única entrada al sistema, mientras que las salidas corresponden a la evapotranspiración real (ETR), escorrentía superficial o directa (Es), la salida superficial (Sp) y subterránea (FSs), y la demanda antrópica o extracción de agua subterránea por bombeo (Da).

En esta investigación no se considera la salida superficial (Sp) ni las descargas por afloramientos superficiales, debido a que no se llevaron a cabo campañas de aforo y no se cuenta con información actualizada al respecto.

No obstante, para medir la disponibilidad de los recursos hídricos subterráneos, es necesario utilizar un balance al interior del acuífero, que emplea variables distintas a las que dependen del balance hídrico del sistema. Generar este balance permite evaluar el volumen de agua almacenada en el acuífero y sus modificaciones por la influencia antrópica. Además, se puede determinar la sostenibilidad de la explotación de los recursos hídricos subterráneos en el área de estudio y se pueden tomar medidas para proteger y conservar estos recursos naturales.

La ecuación general del balance hidrogeológico de acuerdo al principio de la conservación de masa es la siguiente:

$$Re + FSe - (FSs + Da) = \Delta S$$

Donde:

Re : Recarga o Percolación profunda

FSe : Flujo subterráneo de entrada

FSs : Flujo subterráneo de salida

Da : Demanda Antrópica

El balance al interior del acuífero toma en cuenta las recargas y descargas del acuífero en cuestión. En este caso, la recarga o percolación profunda (Re) se calcula mediante la sumatoria de factores como la Recarga por Infiltración de Cauces (Ric), la Recarga por Infiltración de Precipitaciones (Rp) y la Recarga por Riego (Rr), los cuales varían en el espacio y en el tiempo.

La recarga se expresa en la siguiente ecuación:

$$Re = Ric + Rp + Rr$$

Asimismo, otra de las recargas incluye el Flujo subterráneo de entrada (FSe), el cual se asume cero debido a la presencia de la Cordillera de los Andes y la falta de un relleno sedimentario significativo que contribuya al acuífero.

En la Figura 3.17 se presenta un esquema conceptual del modelo de entrada y salida para el balance hídrico. A través de este modelo se pueden identificar las diferentes fuentes de entrada de agua al acuífero, así como las salidas del mismo.

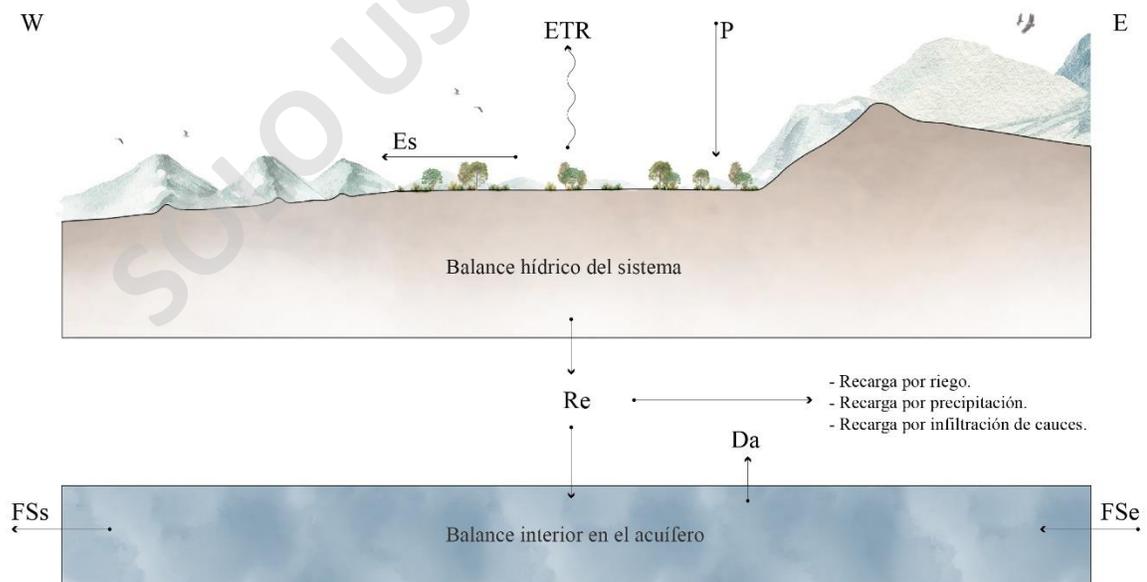


Figura 3-17: Modelo de entradas y salidas para el Balance Hídrico y el Balance interior en el acuífero. Fuente: Elaboración propia.

Considerando lo mencionado previamente, el objetivo de este capítulo radica en determinar los valores de las entradas y salidas de agua con el fin de desarrollar dos balances hídricos. Estos balances se centran en dos periodos temporales distintos: el primero abarca desde 1982 hasta 2007, mientras que el segundo se enfoca en el periodo de mega sequía que transcurre entre los años 2008 y 2020. El propósito de esto es evaluar los efectos de la sequía y comparar la evolución del volumen de agua almacenada en el acuífero a lo largo del tiempo.

Para realizar el balance hídrico de la cuenca se requieren ciertas variables hidrometeorológicas de base para los respectivos cálculos, entre ellos la precipitación y la temperatura ambiental, información que se encuentra en el Capítulo 3.1.

3.4.1 BALANCE HÍDRICO DEL SISTEMA

3.4.1.1 Coeficiente de Escorrentía y Precipitación Neta (PN)

La Escorrentía Superficial o Precipitación Neta (PN) es la precipitación que no se infiltra y ocurre cuando la capacidad de infiltración es inferior a la intensidad de la lluvia, de esta forma el agua comenzará a moverse por la superficie del terreno.

El coeficiente de escorrentía expresa la relación existente entre la Escorrentía Superficial y la precipitación total, y corresponde a la proporción de precipitación que pasará a formar parte de la Escorrentía Superficial con respecto a la precipitación total.

Lo anterior se expresa en la siguiente ecuación:

$$C = \frac{\Delta P_n}{\Delta P}$$

Donde,

C : Coeficiente de Escorrentía

ΔP_n : Escorrentía Superficial (mm)

ΔP : Precipitación Total (mm)

El cálculo del coeficiente de escorrentía se realiza mediante el Método de Raws, el cual considera el relieve y el tipo de cubierta vegetal como factores determinantes. Para el primero se clasifican en dos tipos de pendientes; los que son ondulados y los que son inclinados, el primero posee pendientes menores al 25°, mientras que los relieves inclinados posee pendientes mayores a 25°, criterio que fue fijado por García et al, (2014) de Universidad Politécnica de Valencia. El resultado de lo anterior se observa en la Figura 3.18.

En la siguiente Tabla se observa la clasificación de uso de suelo junto con el tipo de relieve y su respectivo valor de coeficiente de escorrentía según el método de Raws:

Tabla 3-4: Coeficiente Método de Raws.

Naturaleza de la Superficie	Topografía	
	Ondulado (<25°)	Inclinado (>25°)
Cultivos Agrícolas	0.6	0.72
Praderas y Matorrales	0.36	0.42
Bosques	0.18	0.21
Áreas desprovista de vegetación	0.8	0.9

El tipo de cubierta vegetal de la cuenca se obtiene a partir de la información levantada por CONAF (2016), y a partir de esto se estiman áreas dependiendo del uso que tenga cada suelo. Es importante para los cálculos considerar el uso del suelo, ya que un suelo con vegetación tiene mayor capacidad de infiltración y menor escorrentía superficial que un suelo desnudo, donde la escorrentía superficial será mucho más importante. Los suelos se clasifican en bosques, cultivos agrícolas, praderas y matorrales, áreas desprovistas de vegetación, y en menor proporción, áreas urbanas e industriales, cuerpos de agua, nieves eternas y glaciares (Figura 3.18).

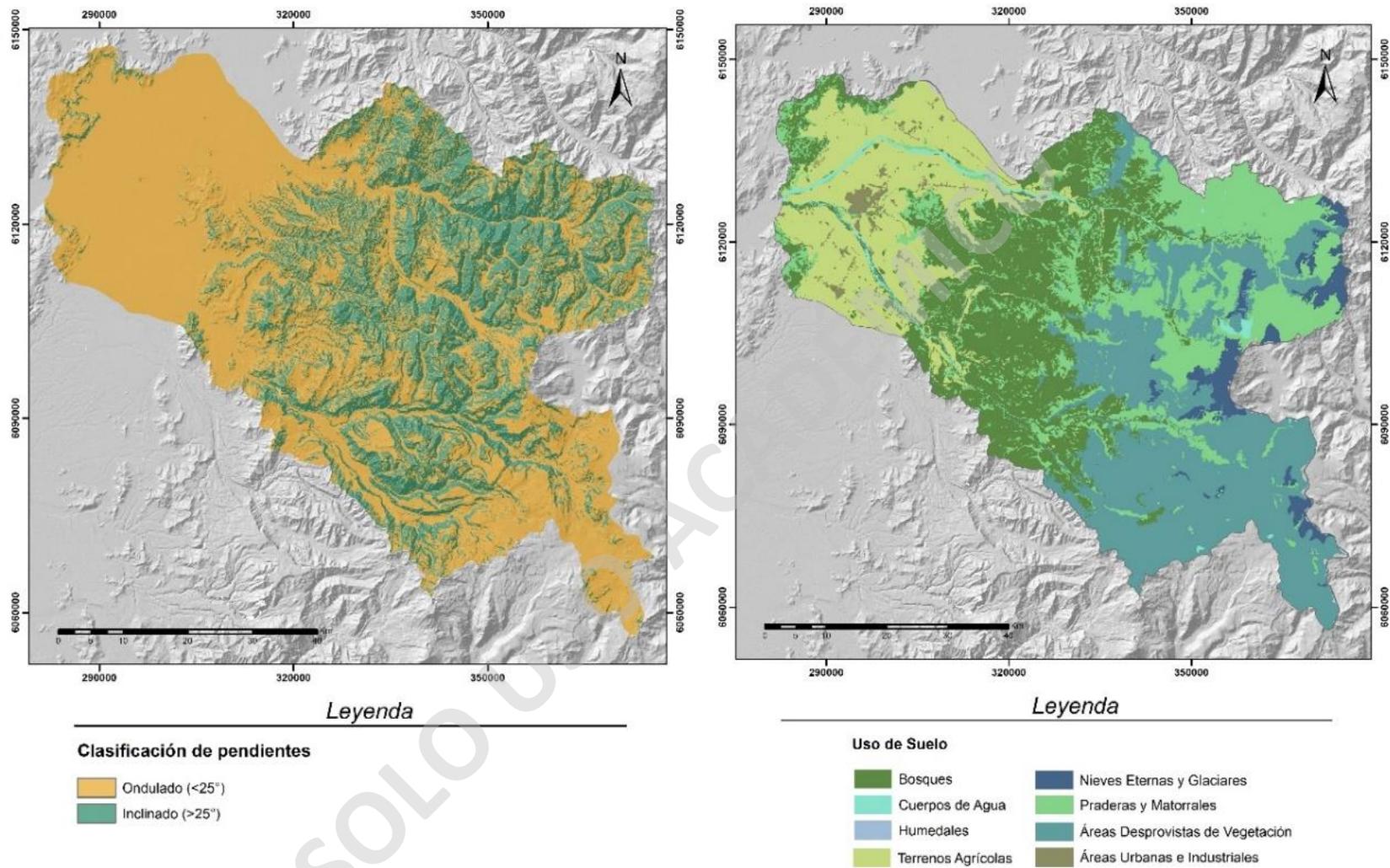
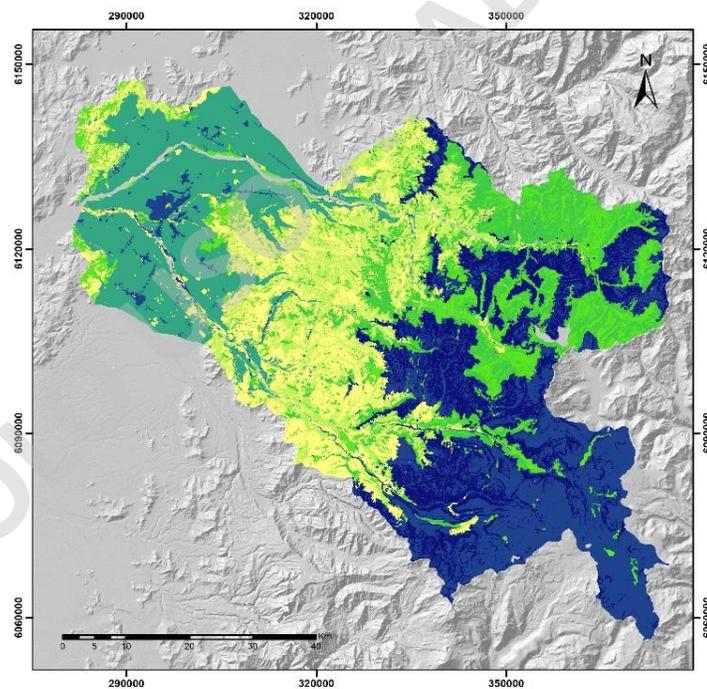


Figura 3-18: Mapa de pendientes clasificados en ondulosos o inclinados (izquierda) y mapa de usos de suelo (derecha). Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la CONAF (mapa usos de suelo).

Según Chiarito et al., (2018) el coeficiente de escorrentía varía con la pendiente, condiciones de la superficie y de la cubierta vegetal. Las superficies que son relativamente impermeables como las calles y plazas de aparcamiento tienen coeficientes de escorrentía que se aproximan a uno. Las superficies con vegetación para interceptar la escorrentía superficial y las que permiten la infiltración de las precipitaciones tienen coeficientes de escorrentía más bajas (cercasas a 0). Si todos los demás factores son iguales, una zona con una mayor pendiente tendrá más escorrentía de aguas pluviales y así un coeficiente de escorrentía más alto que una zona con una pendiente inferior.

La Figura 3.19 resume el resultado del análisis previo, donde se clasificaron las diferentes zonas según el uso del suelo y la topografía del relieve, y se les asignaron valores de coeficiente de escorrentía de acuerdo con los criterios establecidos. La zona oriental se destaca por tener los coeficientes más altos, lo que se debe a la inclinación del relieve en áreas sin vegetación, especialmente en sectores encajonados cercanos a cursos de agua.



Leyenda

Coeficiente de Escorrentía		Tabla de Valores de Coeficiente de Escorrentía	
	0.18		0.6
	0.21		0.72
	0.36		0.8
	0.42		0.9

Naturaleza de la Superficie	Topografía	
	Ondulado (<25°)	Inclinado (>25°)
Cultivos Agrícolas	0.6	0.72
Praderas y Matorrales	0.36	0.42
Bosques	0.18	0.21
Áreas desprovista de vegetación	0.8	0.9

Figura 3-19: Mapa de coeficiente de escorrentía por el Método de Raws. Fuente: Elaboración propia.

Por otro lado, las zonas de tonalidad amarilla presentan coeficientes más bajos, ya que se caracterizan por la presencia de bosques y una topografía ondulada que permite una mayor infiltración de las precipitaciones.

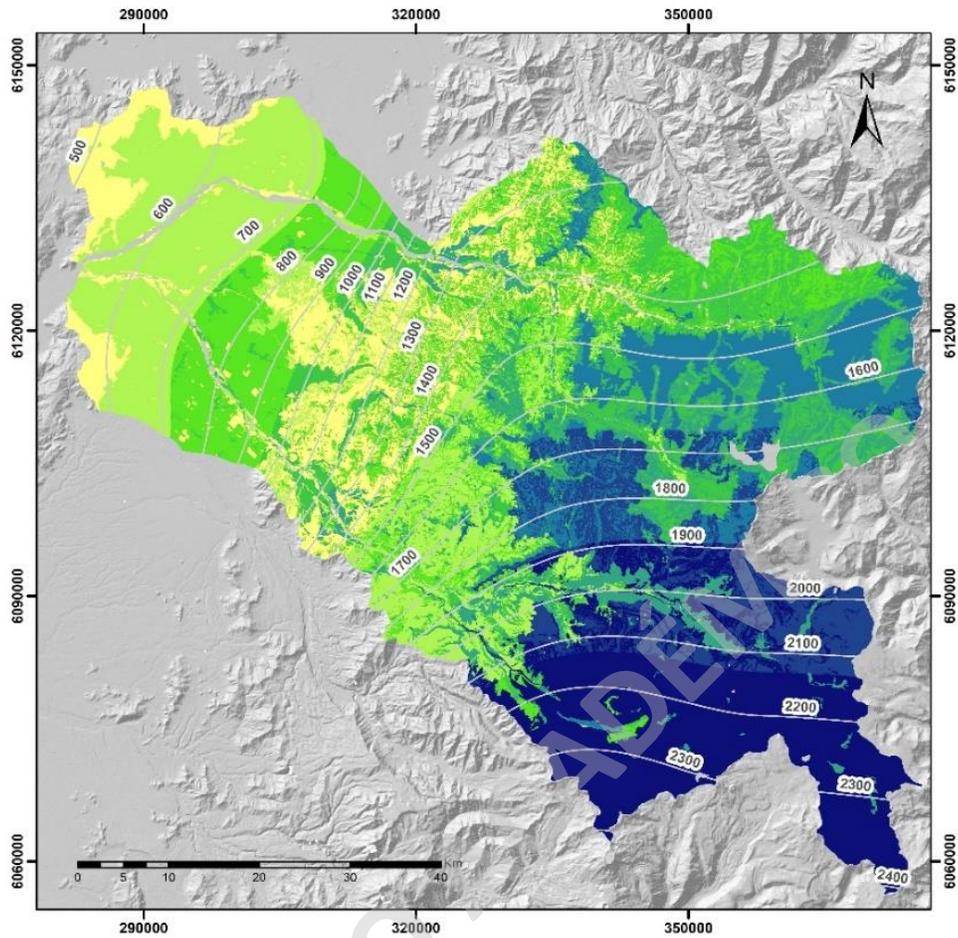
Es importante destacar que, en la depresión intermedia, las ciudades y pueblos tienen un coeficiente de escorrentía mayor en comparación con el resto del relleno sedimentario. Esto se debe a que estos sectores se encuentran pavimentados, lo que hace que las precipitaciones escurran superficialmente en lugar de infiltrarse en el suelo.

Una vez obtenidos los valores de coeficiente de escorrentía para cada zona, se procede a multiplicarlos por la precipitación total que recibe la cuenca. Sin embargo, como se puede observar en los mapas de isoyetas de la Figura 3.3, la precipitación no es homogénea en toda el área de estudio, sino que varía espacialmente.

Para tener en cuenta esta variación, se realiza un cálculo de la escorrentía superficial que tiene en cuenta tanto los valores de coeficiente de escorrentía como la cantidad de precipitación en cada sector, lo que se refleja en la Figura 3.20. De esta manera, se logra una aproximación más precisa a las condiciones pluviométricas de la cuenca.

La Figura 3.20 muestra que las zonas con mayores coeficientes de escorrentía son también las que reciben mayores precipitaciones, y que los valores de coeficiente disminuyen progresivamente a medida que disminuye la precipitación. Cabe destacar que lo anterior no es exclusivo, ya que también dependerá de la cubierta vegetal donde se genere la precipitación.

El cálculo de la escorrentía superficial se realiza para los dos periodos de tiempo antes mencionado.



Leyenda

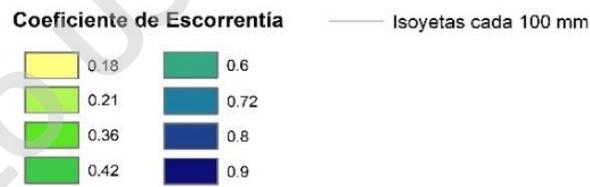


Figura 3-20: Mapa de coeficiente de escorrentía integrando la pluviometría del mapa de isoyetas. Fuente: Elaboración propia.

3.4.1.2 Evapotranspiración Real (ETR)

De acuerdo con Custodio y Llamas (1983), la evapotranspiración se define como el proceso mediante el cual el agua cambia de su estado líquido a gaseoso, y posteriormente, ya sea directamente o a través de las plantas, regresa a la atmósfera en forma de vapor. En otras palabras, la evapotranspiración es la suma de dos componentes: la evaporación y la transpiración.

La Evapotranspiración Real (ETR) se refiere a la cantidad de agua que efectivamente retorna a la atmósfera a través de la evaporación y la transpiración. Esta cantidad de agua representa el volumen utilizado de manera efectiva y es esencial para el cálculo del balance hídrico.

Se emplea el Método de Turc para estimar la Evapotranspiración Real en el área de estudio, basándose en la temperatura del aire y la radiación solar recibida en la superficie, principal fuente de energía que alimenta el proceso de evapotranspiración. Se utiliza la siguiente formula:

$$ETR = \frac{P}{\sqrt{0.9 + \frac{P^2}{L^2}}}$$

Donde:

ETR : Evapotranspiración Real (mm/año)

P : Precipitación (mm/año)

L : $300 + 25t + 0.05t^3$

t : Temperatura media anual (C°)

La información de temperaturas medias mensuales y pluviométricas fueron obtenidas del capítulo 3.1.2 y 3.1.3, respectivamente, presentes en este estudio. Para ello, se seleccionan

8 estaciones hidrometeorológicas que contengan registros suficientes y bien distribuidas en la cuenca de estudio.

El cálculo de la ETR se realiza para dos periodos ya definidos: 1982 – 2007 y 2008 – 2020, límite entre ellos que separa el inicio de la mega sequía. Los antecedentes básicos de las estaciones, su ubicación y cálculo correspondiente de la Evapotranspiración Real para los dos periodos se encuentran en la siguiente Tabla:

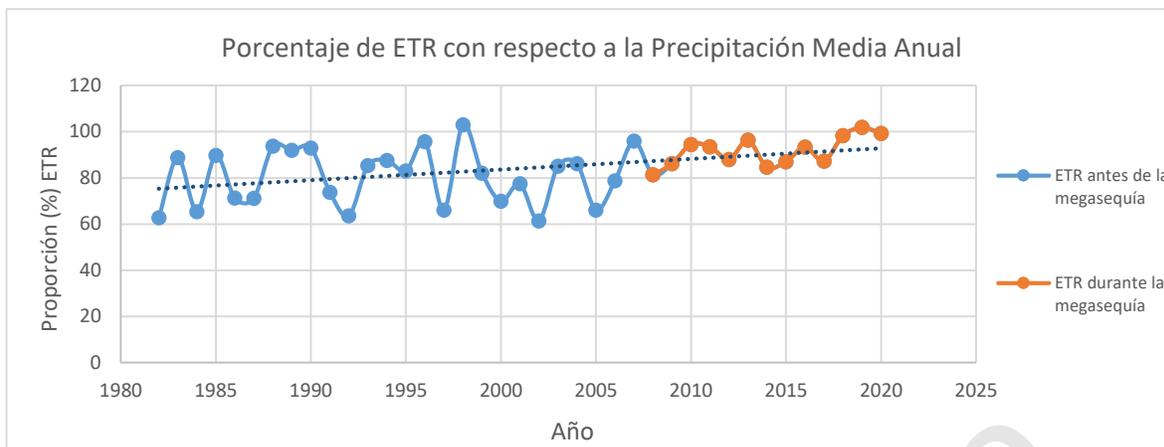
Tabla 3-5: Estaciones Hidrometeorológicas seleccionadas.

Número	Estación Hidrometeorológica	Coordenadas UTM (m)		ETR anual (mm) 1982-2007	ETR anual (mm) 2008-2020
		Este	Norte		
1	Curicó	294628	6127411	504,3	412,9
2	General Freire	297622	6128438	499,6	416,9
3	Convento Viejo	304787	6150444	520,5	414,9
4	Potrero Grande	308981	6104614	587,1	532,6
5	Estero el Manzano	324893	6129356	570,2	537,7
6	Río Colorado en Junta con Palos	317808	6093831	468,1	465,6
7	Río Teno Después de Junta con Claro	333385	6125322	487,9	480,9
8	Río Teno Bajo Quebrada Infiernillo	351252	6120577	457,5	454,2

Al analizar los resultados según la Tabla 3-5, se observa que la ETR durante el periodo de mega sequía disminuye con respecto al periodo previo de la mega sequía. Sin embargo, estos resultados no reflejan la proporcionalidad de los datos, puesto que se debe considerar que las precipitaciones también han disminuido, y no llueve en las mismas cantidades que hace dos décadas. Esto quiere decir que a medida que disminuye la precipitación media anual, la proporción de lo que se evapotranspira con respecto a las precipitaciones va a ir en aumento.

Lo anterior queda mejor representado en la Gráfico 3-7, donde se demuestra que la ETR ha ido en aumento a través del tiempo, existiendo un cambio en el patrón general de la evapotranspiración desde el 2008 a la fecha, con un alza más notoria de los valores y con menos variabilidad. Esto se debe a que en la cuenca cada vez recibe menos precipitaciones desde el 2008, sumado a esto con un aumento de las temperaturas medias anuales, aun ya sea por valores decimales de 0.1°.

Los datos hidrometeorológicos y resultados de los cálculos se muestran en el Anexo 3.4-2.

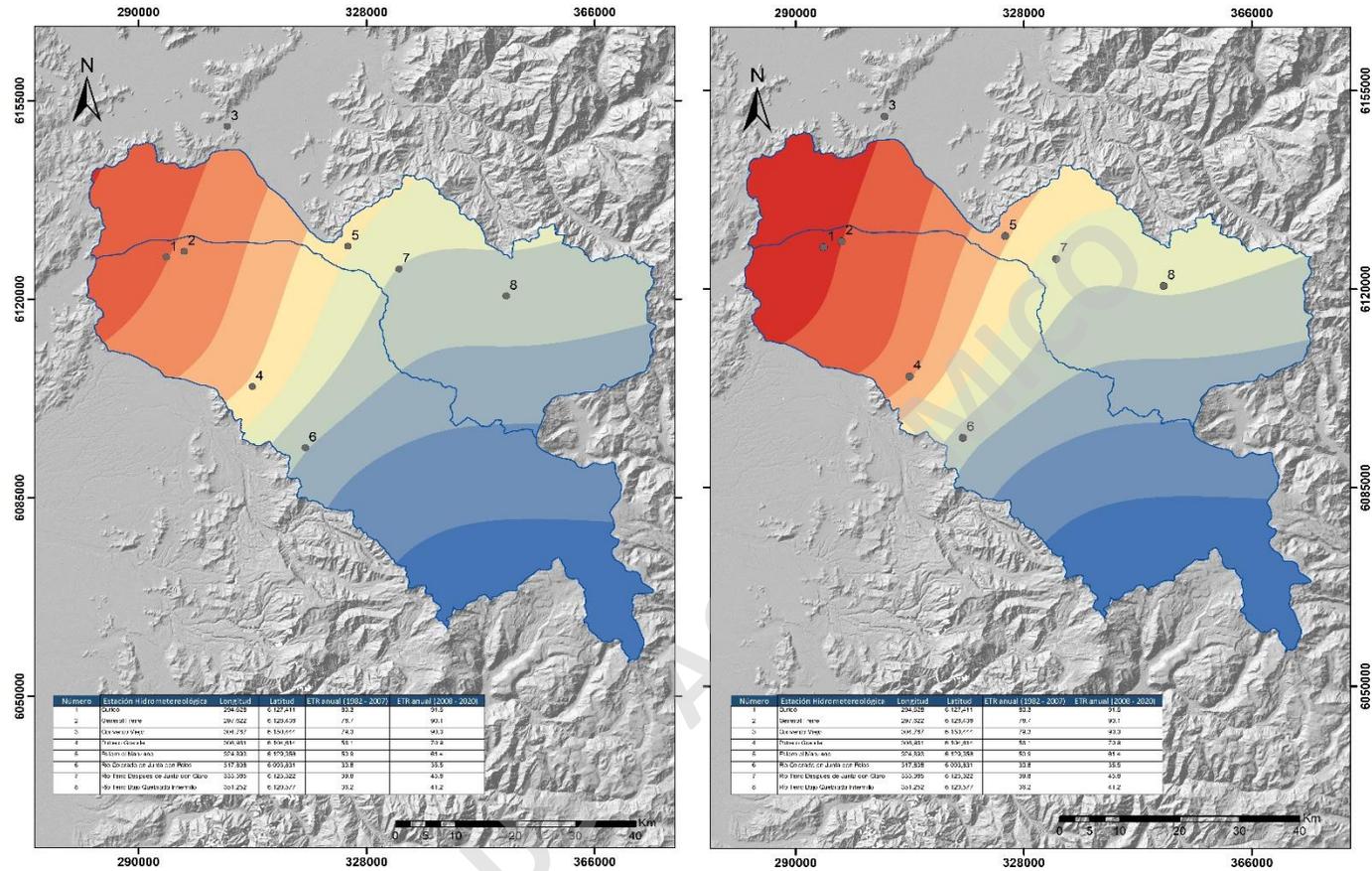


*Gráfico 3-7: Aumento gradual en la proporción de ETR a través del tiempo.
Fuente: Elaboración propia.*

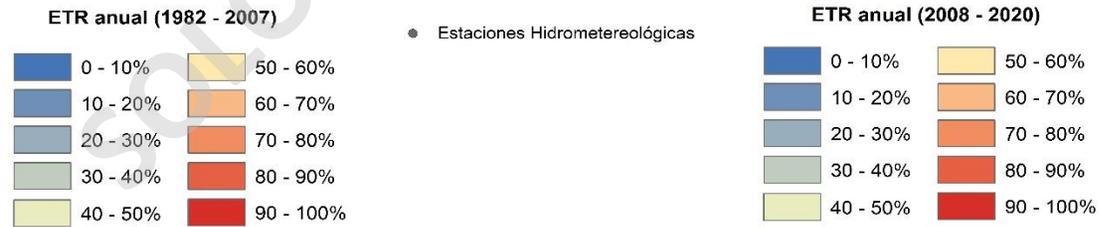
El resultado de la interpolación de los valores de ETR para ambos periodos se presentan en la Figura 3.21, observando que, para ambos casos, los valores de evapotranspiración son más altos en el valle central y pre cordillera, con una disminución progresiva de los valores hacia el oriente.

En el análisis del segundo periodo (2008 - 2020), se observa un aumento notorio en el porcentaje de la evapotranspiración (ETR) en cada zona de la cuenca, de al menos un 10%. Este aumento es una clara evidencia de que el incremento de las temperaturas y la disminución de las precipitaciones tienen un impacto directo en la ETR.

Sin embargo, en el sector suroriente no se han detectado cambios significativos en la ETR debido a que no se cuentan con estaciones que permitan medir estas variaciones en esa zona específica. Es importante tener en cuenta que la ETR es un factor clave en el balance hídrico de la cuenca y su aumento puede tener implicaciones importantes en la disponibilidad de agua para los diferentes usos del recurso hídrico.



Leyenda



*Figura 3-21: Mapa que evidencia el porcentaje que se evapotranspira según el sector.
Fuente: Elaboración propia.*

3.4.1.2.1 Índice de eficiencia de uso del agua

El índice de eficiencia de uso del agua, también conocido como índice de humedad, es una relación que se obtiene al dividir la evapotranspiración real (ETR) entre la precipitación (REDIAM, 2015). Esta relación proporciona una medida cuantitativa de la cantidad de agua utilizada en comparación con la cantidad de agua disponible a través de la precipitación. El cálculo de este índice es útil para evaluar el balance hídrico de un área específica.

- Si el índice de humedad es mayor que 1, significa que la ETR es mayor que la precipitación. Esto indica que se está utilizando más agua de la que está disponible a través de la precipitación, lo que puede resultar en un déficit de agua y tener implicaciones para la disponibilidad de recursos hídricos.
- Si el índice de humedad es menor que 1, significa que la ETR es menor que la precipitación. Esto indica que no se está utilizando toda el agua disponible a través de la precipitación, lo que puede indicar una mayor disponibilidad de agua en el suelo.

A continuación, se muestra la ecuación del índice de eficiencia de uso del agua según REDIAM (2015):

$$IH: \frac{ETR}{P}$$

Donde:

IH : Índice de Humedad o eficiencia de uso del agua

ETR: Evapotranspiración Real (mm)

P: Precipitación (mm)

En el Gráfico 3-8 correspondiente a la estación hidrometeorológica Covento Viejo, se puede observar un patrón de comportamiento diferente a partir del año 2008. En ese punto,

se evidencia una disminución en la variabilidad de los valores y un aumento comparativo en el índice de humedad.

Los valores más altos del índice de humedad indican que la demanda de agua, medida por la evapotranspiración real, es cada vez mayor en relación con la precipitación. Esto indica un déficit creciente de agua en el área de investigación.



Gráfico 3-8: Índice de Humedad en ambos periodos correspondientes para la estación Convento Viejo. Fuente: Elaboración propia.

3.4.2 BALANCE INTERIOR EN EL ACUÍFERO

3.4.2.1 Recarga por Infiltración de Precipitaciones

Corresponde a la cantidad de lluvia que cae directamente sobre la zona acuífera o relleno de la cuenca y que finalmente se transforma en percolación profunda aportando al acuífero. Este valor corresponde al total de precipitaciones que cae sobre el relleno sedimentario por el coeficiente de infiltración asociado al medio permeable, el cual se obtiene del estudio de la DGA (2006) con un valor de entre 20 y 25% ponderado para toda la cuenca, multiplicado estos valores por el área del relleno de la cuenca aportante.

En la Tabla 3-6 y 3-7 se presenta el cálculo de la recarga para ambos periodos, sectorizando el relleno de la cuenca de acuerdo a las variaciones pluviométricas definidas por las isoyetas, lo que resulta en 10 y 8 sectores para los periodos respectivos. La Figura 3.22 se observan la sub sectorización en el valle central de los ríos Teno y Lontué para ambos periodos.

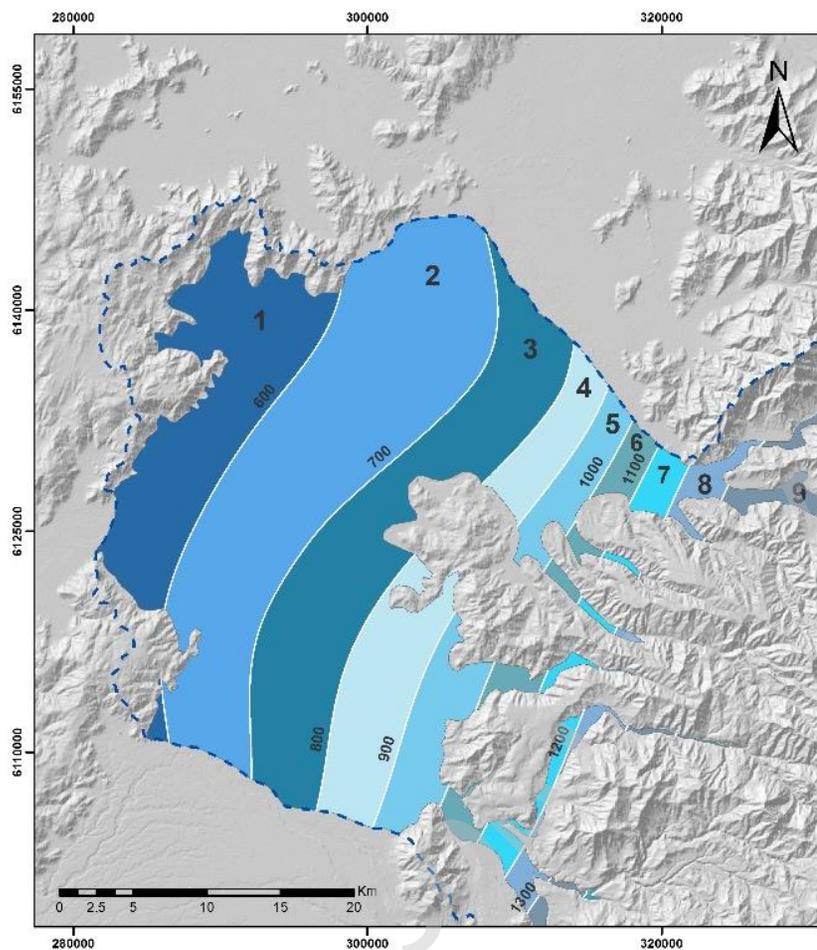
**Tabla 3-6:
Recarga por infiltración de precipitaciones periodo 2008 - 2020**

Sector	Área	Pp. Min	Pp. Max	Pp. media	Coef. Inf. Mínima	Coef. Inf. Máxima	Recarga Mínima	Recarga Máxima
	(m ²)			(mm/año)	(%)	(%)	m ³ /s	m ³ /s
1	154,326,431	300	400	350	20	25	10,802,850	13,503,563
2	312,241,650	400	500	450	20	25	28,101,749	35,127,186
3	241,792,037	500	600	550	20	25	26,597,124	33,246,405
4	132,495,707	600	700	650	20	25	17,224,442	21,530,552
5	61,693,800	700	800	750	20	25	9,254,070	11,567,587
6	67,944,219	800	900	850	20	25	11,550,517	14,438,147
7	8,956,754	900	1000	950	20	25	1,701,783	2,127,229
8	23,746,440	1000	1100	1050	20	25	4,986,752	6,233,440
Total							110,219,287	137,774,109

**Tabla 3-7:
Recarga por infiltración de precipitaciones periodo 1982 - 2007**

Sector	Área	Pp. Min	Pp. Max	Pp. media	Coef. Inf. Mínima	Coef. Inf. Máxima	Recarga Mínima	Recarga Máxima
	(m ²)			(mm/año)	(%)	(%)	m ³ /s	m ³ /s
1	157,204,471	500	600	550	20	25	17,292,492	21,615,615
2	316,542,761	600	700	650	20	25	41,150,559	51,438,199
3	204,590,315	700	800	750	20	25	30,688,547	38,360,684
4	114,685,376	800	900	850	20	25	19,496,514	24,370,642
5	73,988,637	900	1000	950	20	25	14,057,841	17,572,301
6	28,822,224	1000	1100	1050	20	25	6,052,667	7,565,834
7	27,847,385	1100	1200	1150	20	25	6,404,899	8,006,123
8	21,811,876	1200	1300	1250	20	25	5,452,969	6,816,211
9	18,016,670	1300	1400	1350	20	25	4,864,501	6,080,626
10	18,500,148	1400	1500	1450	20	25	5,365,043	6,706,304
Total							150,826,031	188,532,539

Precipitación Media Anual (1982 - 2007)



Precipitación Media Anual (2008 - 2020)

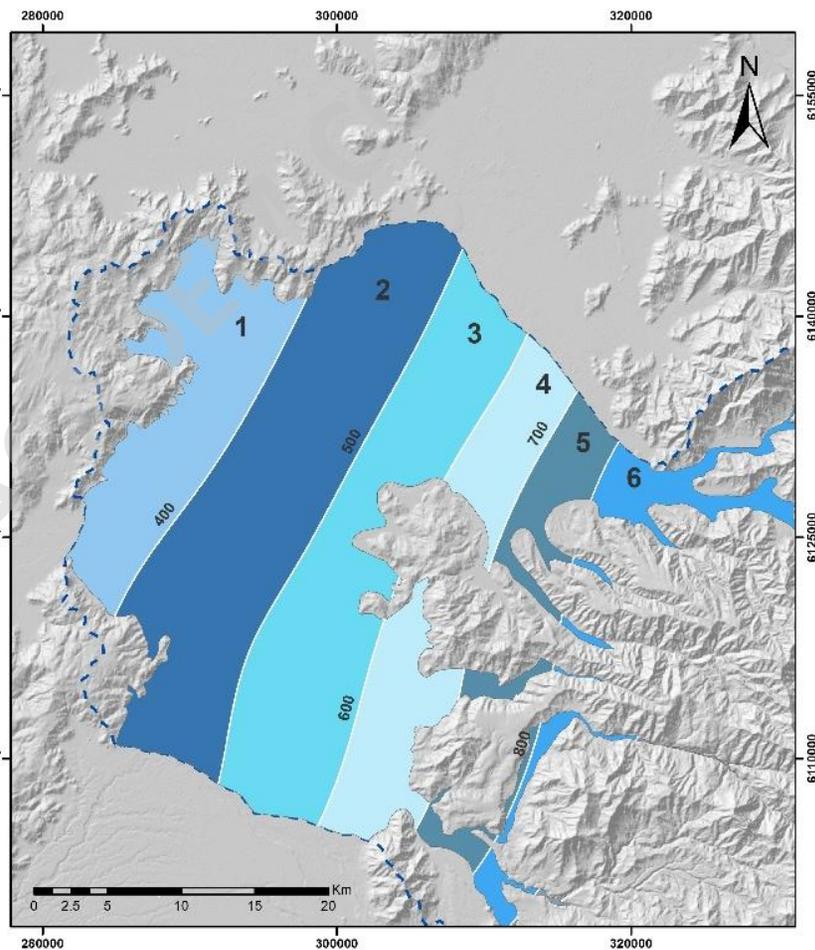


Figura 3-22: Mapa de recarga por precipitación sectorizado por las isoyetas en ambos periodos.
Fuente: Elaboración propia.

3.4.2.2 Recarga por riego

Este proceso corresponde a la percolación profunda que se produce en las zonas de riego debido a que la eficiencia de los métodos de aplicación no es del 100%. Esto significa que, del total del agua aplicada a nivel predial, existe un porcentaje, que depende del mecanismo de riego empleado, que no es aprovechado por la planta y que puede formar parte del almacenamiento del acuífero. Esta situación varía en el tiempo según varíen las superficies plantadas, la demanda de los cultivos y los métodos de riego empleados.

Para poder estimar las recargas provenientes del riego, primero se requieren el cálculo de los parámetros que se describen a continuación.

3.4.2.2.1 Evapotranspiración Potencial (ET_o)

Según Reckmann (2009) y Cifuentes et al, (2019) representa una tasa de evapotranspiración que ocurre desde una superficie de referencia cubierta de una pradera con características definidas, en condiciones de abastecimiento hídrico adecuado. Este valor nos permite determinar la demanda hídrica de un cultivo.

Los datos de evapotranspiración de la cuenca fueron obtenidos de la herramienta CAMELS-CL (Catchment Attributes and Meteorology for Large Sample Studies) desarrollada por investigadores del Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia (CR)² (Alvarez - Garreton et al., 2018), corresponde a una base de datos que integra información física e hidrometeorológica de las cuencas de todo Chile. La herramienta calcula la evapotranspiración potencial mensual mediante la metodología propuesta por Hargreaves (Hargreaves y Samani, 1985) formula que integra información de temperatura y de radiación solar.

Los valores de evapotranspiración potencial mensual promedio para el periodo 2008 – 2020 se observan en el Gráfico 3-9, con valores más altos en los meses de verano, siendo el valor más alto desarrollado en el mes de enero con 203.7 mm, esto debido a que es el periodo donde se generan las mayores temperaturas pese a que las precipitaciones sean casi nulas.

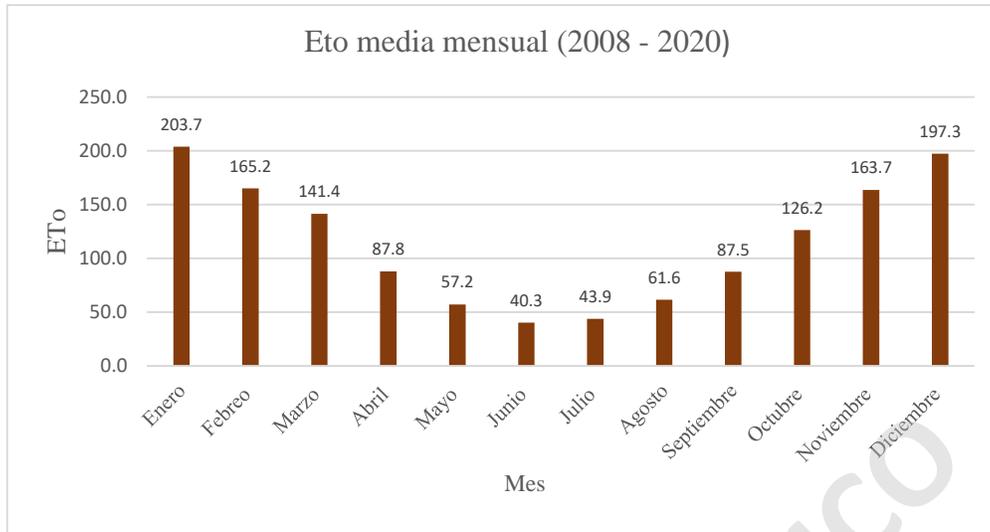


Gráfico 3-10: Evapotranspiración Potencial media mensual del área de estudio entre 2008-2020. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de CAMELS-CL.

3.4.2.2 Evapotranspiración de Cultivo

La evapotranspiración de cultivo (ETc) se define como el agua evapotranspirada por un cultivo, bajo condiciones óptimas de suelo y agua, sin limitaciones de humedad, y que alcanza su producción potencial en un medio ambiente dado (Reckmann, 2009). Constituyen las necesidades hídricas brutas de los cultivos para su desarrollo óptimo y representan la cantidad de agua que debe existir en la zona radical de un cultivo para satisfacer su demanda evaporativa. La ETc de un cultivo se determina en función del clima, cuyo efecto se engloba en el concepto de evapotranspiración del cultivo de referencia (ETo), y las características propias del cultivo, como tipo y estado de desarrollo del cultivo, efecto que se engloba en el concepto de coeficiente de cultivo (Kc).

Para estimar la ETc se debe considerar los aspectos recién mencionados y se calcula como el producto de la evapotranspiración de referencia o potencial (ETo) y el coeficiente del cultivo (Kc), según la siguiente fórmula:

$$ETc = ETo * Kc$$

Donde:

ETc : Evapotranspiración de Cultivo (mm/año)

ETo : Evapotranspiración Potencial (mm/año)

Kc : Coeficiente de Cultivo

El coeficiente de cultivo (*Kc*) integra las diferencias de la evaporación en el suelo y la tasa de transpiración del cultivo, variando según el cultivo y el estado de desarrollo. Los valores de *Kc* para los diferentes cultivos, se obtiene de los datos del estudio de la CNR, 2006, los cuales se basaron en el FAO Irrigation and Drainage Paper 56, denominado "Crop Evapotranspiration Guidelines for computing crop water requirements" (R. Allen, L. Pereira, D. Raes y M. Smith) (ver Tabla 3-8).

Tabla 3-8: Coeficiente de Cultivo

Cultivos	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Cerezos	1.03	1.03	0.78	0	0	0	0	0	0	0.48	0.66	0.84
Manzano Rojo	1.08	1.08	0.96	0.83	0	0	0	0	0	0.48	0.68	0.88
kiwi	1.05	1.05	1.05	1.05	0	0	0	0	0	0.4	0.73	1.05
Manzano verde	1.08	1.08	0.96	0.83	0	0	0	0	0	0.48	0.68	0.88
Nogal	1.1	0.77	0.5	0.2	0	0	0	0	0.2	0.45	0.6	0.95
Avellano	0.96	0.96	0.8	0.7	0	0	0	0	0.5	0.55	0.7	0.92
Peral	1.08	1.08	0.96	0.83	0	0	0	0	0	0.48	0.68	0.88
Ciruelo	0.98	0.98	0.7	0	0	0	0	0	0	0.58	0.72	0.86
Arándano	1	1	0.9	0.8	0	0	0	0.7	0.7	0.8	0.9	1
Frambuesa	1.05	0.78	0.5	0	0	0	0	0	0.3	0.55	0.8	1.05
Duraznos	0.9	0.8	0.75	0.65	0	0	0	0	0.55	0.65	0.75	0.9
Membrillo	1.08	1.08	0.96	0.83	0	0	0	0	0	0.48	0.68	0.88
Caqui	1.1	1	0.6	0	0	0	0	0.45	0.57	0.7	0.9	0.96
Almendro	1.05	0.9	0.6	0.4	0	0	0	0.2	0.35	0.65	0.75	0.95
Zarzaparrilla roja	1.2	0.9	0.55	0	0	0	0	0	0	0.55	1	1.2
Olivo	0.9	0.8	0.75	0.65	0	0	0	0	0.55	0.65	0.75	0.9
Vid de mesa	1.05	0.95	0.85	0	0	0	0	0	0.3	0.55	0.8	1.05
Choclo	0.68	0.6	0	0	0	0	0	0	0.34	0.54	0.82	0.92
Tomate	0.98	0.8	0	0	0	0	0	0	0.68	0.92	1.15	1.15

3.4.2.2.3 Demanda Bruta de Riego

Para determinar la recarga de agua por percolación superficial se requiere obtener información de la pérdida de agua que se produce en una superficie de suelo y asociar esta información a la demanda hídrica que posea cada cultivo, lo anterior se define en términos generales en lo que es la evapotranspiración de cultivo (ETc). Por otra parte, estas demandas netas son afectadas por la eficiencia de los métodos de riego utilizados, sin poder lograr un 100% de eficiencia. La demanda bruta o real, será igual al volumen de agua del cultivo multiplicado por el área que cubre, dividido por la eficiencia en el método de riego según Reckmann (2009).

Lo anterior se resume en la siguiente expresión:

$$Db = \frac{ETc * A}{Er}$$

Donde:

Db : Demanda real o bruta (m³)

ETc : Evapotranspiración de Cultivo (mm/día)

A : Area (Ha)

Er : Eficiencia de Riego

La eficiencia de riego varía según el método de riego empleado, y a cada uno de estos métodos se le asigna un determinado coeficiente de eficiencia. En la siguiente Tabla se observan los coeficientes de riego de los métodos más utilizados en la zona de estudio.

Tabla 3-9: Eficiencia de riego según el método de aplicación.

Método de riego	% Eficiencia de aplicación
Surco	45%
Microaspersión o Microjet	85%
Goteo	90%

Las eficiencias de aplicación de riego de referencia en el presente estudio corresponden a las aplicadas por DGA (2015) y Cifuentes et al, (2019). Mientras que la superficie frutal y hortícola según el método de riego, se obtiene a partir del catastro generado por la ODEPA (2019). En la Figura 7.4 del Anexo 3.4-3 se observa las áreas ocupadas según las especies frutales más importantes de la zona.

Para obtener las pérdidas por percolación profunda y por derrame superficial, se realiza mediante la siguiente ecuación:

$$Pérdida\ por\ riego = (1 - Er) * Db$$

Asimismo, las deficiencias en los métodos de riego, ya sean, el exceso de tiempo de riego y los altos caudales aplicados, entre otros, pueden producir la infiltración de agua hacia la zona saturada y recargar el acuífero. La descripción anterior se denomina percolación profunda, y se determina como las pérdidas por riego por un coeficiente de percolación. Este coeficiente se determinó mediante la ponderación de valores de coeficiente de percolación del estudio realizado por CNR (2006), siendo un coeficiente de 20 y 22% ponderado para toda la cuenca.

Finalmente, la recarga por percolación profunda (Pp) queda representada por la siguiente ecuación:

$$Pp = Pr * Cp$$

Donde:

Pp : Infiltración por percolación profunda (m³)

Pr : Pérdidas por riego (m3)

Cp : Coeficiente de percolación

3.4.2.2.4 Resultado recarga por riego

Considerando los distintos cultivos que se presenta en la zona de estudio, sus correspondientes métodos de aplicación de riego y un coeficiente de percolación ponderado de entre 20 y 22%, se obtienen como resultados la distinta demanda hídrica, las pérdidas de riego e infiltración por percolación profunda para cada cultivo presente en la zona para el periodo correspondiente entre 2008 - 2020.

Los valores obtenidos se observan en la Tabla 3-10 y el detalle de esto se encuentra en el Anexo 3.4-3.

Tabla 3-10: Resultado Recarga por riego. Fuente: Elaboración propia.

	Demanda Real (m3)	Perdida por riego (m3)	Percolación profunda (m3) (20 - 22%)
Cultivos	Total	Total	Total
Cerezos	143,478,305	33,112,636	6,036,462 - 6,640,108
Manzano Rojo	99,541,992	29,767,997	5,953,599 - 6,548,959
kiwi	32,554,758	9,536,800	1,907,360 - 2,098,096
Manzano verde	21,053,135	7,307,896	1,461,579 - 1,607,737
Nogal	8,965,688	1,298,684	259,737 - 285,711
Avellano	11,667,401	1,499,590	299,918 - 329,910
Peral	16,094,250	4,930,411	986,082 - 1,084,690
Ciruelo	9,408,122	3,068,149	613,630 - 674,993
Arandano	8,849,904	934,911	186,982 - 205,680
Frambuesa	2,841,927	1,223,725	244,745 - 269,220
Duraznos	1,414,936	660,375	132,075 - 145,283
Membrillo	682,658	339,741	68,053 - 74,858
Caqui	287,894	82,770	16,554 - 18,209
Almendro	203,110	56,276	11,255 - 12,381
Zarzaparrilla roja	198,605	38,676	8,774 - 9,652
Olivo	16,248,334	1,657,119	331,424 - 364,566
Vid de mesa	1,532,201	570,409	114,082 - 125,490
Vid Vinífera	251,927,639	111,149,959	22,229,992 - 24,452,991
Choclo	6,903,610	3,796,986	759,397 - 835,337
Tomate	3,239,140	1,781,527	356,305 - 391,936
Total Cuenca (m3)	637,093,609	212,814,637	41,978,006 - 46,175,806

La información de recarga por riego para el primer periodo (1982 – 2007) se extrae de los resultados obtenidos en el informe “Estudio de Calidad de Aguas Subterráneas Cuencas de Huaso y Mataquito” generado por la DGA (2006). Este estudio determinó que la percolación estimada correspondía entre 7,122 a 7,800 l/s aproximado para la cuenca del río Teno y Lontué.

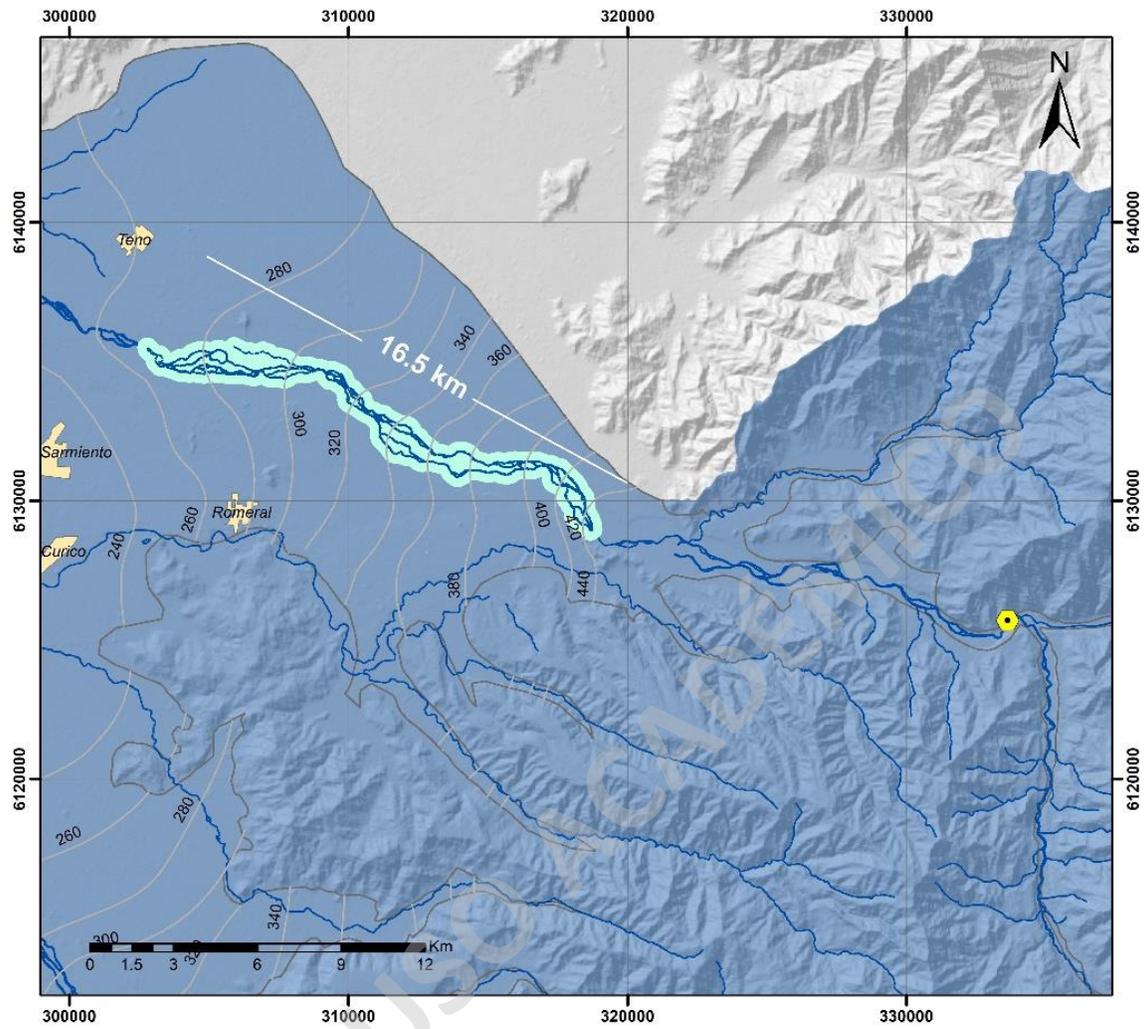
3.4.2.3 Recarga por Infiltración desde Cauces Superficiales

Corresponde al aporte de los flujos superficiales a través de la infiltración desde el lecho. Este proceso ocurre de manera permanente en las zonas en donde el nivel de la napa se encuentra siempre por debajo del lecho del cauce y ocurre en forma ocasional, en zonas en donde el nivel freático fluctúa estacional o interanualmente.

En función de la medición del nivel freático y el resultado de las curvas equipotenciales de la Figura 3.15, se logra identificar las zonas donde se produce infiltración desde el cauce, lo que se infiere que solo en el sector alto del río Teno, desde su entrada al valle central hasta la localidad homónima, se producirían infiltraciones permanentes del lecho al acuífero.

Según los estudios de estimaciones de infiltración generado por la DGA (2006), los cuales en su estudio consideran fundamentalmente las características del lecho y las alturas de agua generadas por el caudal pasante, estiman que la infiltración del lecho del río Teno debiese fluctuar entre los 200 y 400 l/s/km aproximado, y considerando que la zona de infiltración posee una longitud de 16.5 km aproximado (Figura 3.24), el caudal potencial de infiltración es de entre 3.3 a 6.6 m³/s lo que equivale aproximadamente en un 6% a 12% del caudal pasante (57,3 m³/s según estudio fluviométrico).

Dado que no se dispone de datos de aforo actualizado a la fecha en el tramo comprendido, se utiliza la información de la estación fluviométrica más cercana que posee la DGA, dicha estación corresponde a Río Teno después Junta con Claro (Figura 3.24), con un promedio anual de 38 m³/s en el periodo comprendido de 2008 – 2020. Considerando la misma longitud y porcentajes de infiltración, el caudal potencial de infiltración corresponde a 2,28 y 4,56 m³/s aproximado.



Legenda

-  Estación Pluviométrica Río Teno Después Junta con Claro
-  Sector de infiltración río Teno

*Figura 3-24: Zona de infiltración desde el río hacia el acuífero.
Fuente: Elaboración propia.*

3.4.2.4 Caudal de flujo subterráneo de salida

Corresponde al flujo de agua subterránea horizontal saliendo desde el acuífero hacia el oeste, sector ubicado al poniente de la cuenca (como se observa Figura 1.2 y 3.24), el cual marca el inicio de la subcuenca del río Mataquito.

Para calcular el flujo subterráneo que sale del sistema acuífero se emplea la Ley de Darcy, que permite comprender y predecir el flujo del agua a través de medios porosos, como el suelo, rocas permeables y los acuíferos, bajo las características de que sea un medio continuo (poros interconectados), homogéneo, isotrópico y considerando un flujo laminar (Sánchez, 2022).

Darcy establece que la velocidad de flujo del agua a través de un medio poroso es directamente proporcional al gradiente hidráulico y a la conductividad hidráulica del medio, y está inversamente relacionada con el área transversal a través de la cual fluye el agua. Esto significa que cuanto mayor sea la diferencia de energía hidráulica entre dos puntos en el medio poroso (gradiente hidráulico), mayor será la velocidad de flujo. Asimismo, cuanto mayor sea la conductividad hidráulica del medio, más rápido será el flujo de agua a través de él.

Lo anterior se expresa en la siguiente ecuación.

$$Q = -K \times A \times \left(\frac{dh}{dl}\right)$$

Donde:

Q : Descarga o flujo de agua subterránea

K : Conductividad hidráulica o permeabilidad

A : Área de la sección transversal del acuífero

$\frac{dh}{dl}$: Gradiente hidráulico

La cantidad dh representa el cambio en cota piezométrica entre dos puntos, y dl es la distancia entre esos dos puntos. El signo negativo indica que el flujo es en la dirección de cota piezométrica decreciente.

Mediante estratigrafía de sondaje se genera una traza denominada G-G', que sirve como referencia para la construcción de un perfil hidrogeológico (Figura 3.26). En este perfil se identifican las unidades hidrogeológicas presentes, siguiendo el criterio sedimentológico expuesto en el capítulo 3.3.3.

El objetivo principal es determinar tanto los niveles de permeabilidad de estas unidades como el área que abarcan en el subsuelo. Esta información es esencial para cuantificar el caudal de flujo subterráneo pasante.

A continuación, se observa la traza con los distintos pozos y la construcción del perfil hidrogeológico.

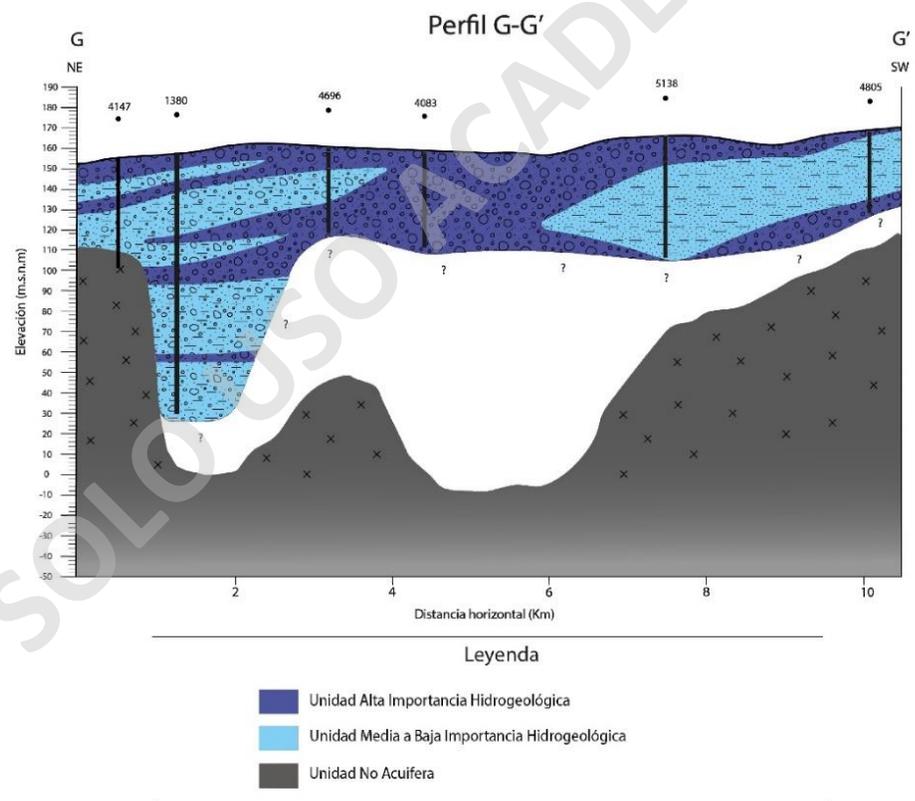
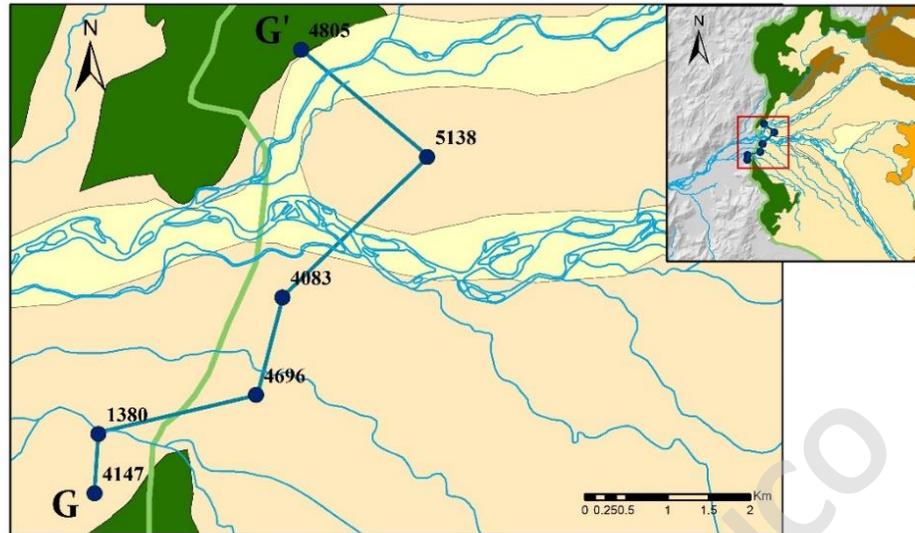


Figura 3-26: Traza y Perfil Hidrogeológico G-G'. Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se presenta la Tabla 3-11 que muestra las variables y los resultados del caudal de flujo pasante correspondiente para cada unidad hidrogeológica utilizando la Ley de Darcy:

Tabla 3-11: Resultado Caudal Subterráneo de Salida

	K (m/día)	A (m ²)	I	Rango Q (m ³ /día)	Rango Q (m ³ /año)
UH1 - Alta Importancia Hidrogeológica	1 - 10 ²	318,850	0.0034	1,084 – 108,409	395,660 - 39,569,285
UH2 - Media-Baja Importancia Hidrogeológica	10 ⁻¹ - 10 ⁻⁴	324,121	0.0034	110.2 - 0.11	40,223 - 40

En esta Tabla, se presentan el rango de valores de permeabilidad (K) para cada unidad hidrogeológica definida en el capítulo 3.3.2. El área transversal (A) que ocupa cada unidad en el perfil G-G' fue calculada mediante el software AutoCAD. Mientras que el gradiente hidráulico (I) se determina con la relación $\Delta h/\Delta l$ en el mapa de curvas equipotenciales en el capítulo 3.3.4, lo que en promedio entrega valores de 0.0034 para el gradiente.

En términos generales, la fórmula de Darcy es independiente del tiempo, ya que establece una relación constante entre el caudal, la permeabilidad, el gradiente hidráulico y el área transversal. Sin embargo, es importante tener en cuenta que las condiciones que se mantienen constantes en la fórmula pueden cambiar con el tiempo, lo que afectaría el caudal en sí. Por ejemplo, la permeabilidad del medio puede alterarse debido a procesos como la compactación o la variación de la saturación de agua en el suelo. Las condiciones de presión y el área transversal también pueden sufrir modificaciones a lo largo del tiempo.

Sin embargo, en este estudio en particular, no se han considerado las posibles variaciones de las condiciones a lo largo del tiempo, y se ha asumido una aproximación estática al calcular el caudal de flujo para los dos períodos definidos.

3.4.2.5 Explotación y Uso de las Aguas Subterráneas

El área de estudio se caracteriza por su fuerte actividad agrícola, destacando la producción de cultivos frutales y vitivinícola, siendo una de las regiones de mayor desarrollo agroindustrial. En consecuencia, la demanda de agua subterránea en la zona es alta y con un progresivo incremento a través del tiempo debido al aumento del uso de suelo agrícola.

Para estimar y determinar la explotación y uso de las aguas subterráneas en la cuenca Teno y Lontué, se utilizó la información disponible del Catastro Público de Aguas (CPA) obtenido de la Dirección General de Aguas. La información entregada identifica para cada solicitud, el número de expediente respectivo, el nombre del peticionario, la ubicación (comuna, coordenadas), el caudal solicitado, entre otros.

En la Tabla siguiente se muestra el número de expedientes totales (con y sin coordenadas) con derecho de agua subterránea otorgado y el monto total de caudal otorgado para los dos periodos definidos:

Tabla 3-12: Monto total de caudal otorgado y número de expedientes totales.

	Total Q (L/s)	Nº Expedientes
Total Derechos concedidos hasta 2022	25,463	1,324
Derechos concedidos hasta el 2008	10,317	397

El número de pozos o número de expedientes aprobados se resume el Gráfico 3-10, evidenciando un aumento considerable en el número de pozos construidos para la explotación de las aguas subterráneas, siendo el año 2013 el más significativo con la construcción de 176 pozos.



*Gráfico 3-12: Cantidad de pozos aprobados y construidos en la zona de estudio.
Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la DGA*

En Tabla 3-13 y 3-14 se presenta la distribución del recurso hídrico subterráneo por uso y caudal según los registros del CPA. La Tabla 3-13 presenta el total del registro de los expedientes, tanto por la cantidad de pozos como los caudales otorgados hasta el año 2008, fecha límite definida como el comienzo de la megasequía. La Tabla 3-14 muestra la misma situación que la anterior, pero hasta el año 2022.

Se observa que, seguido de los pozos sin información de uso, el que posee mayor porcentaje corresponde a uso por Riego para ambos casos, siendo este la variable que mas caudales (L/s) ha otorgado de un periodo a otro, mientras que el uso por Agua Potable y Otros presentan una variación comparativamente menor.

Tabla 3-13: Uso y caudal otorgado hasta 2008.

POZOS POR USO	CANTIDAD	DISTRIBUCIÓN POR USO (%)	Q (L/S) OTORGADO	DISTRIBUCIÓN POR Q (%)
RIEGO	129	32%	5,514	50%
AGUA POTABLE	71	18%	347	3%
OTROS	4	1%	49	0.4%
S/INFORMACIÓN	193	49%	5,016	46%
TOTAL	397	100%	10,926	100%

Tabla 3-14: Uso y caudal otorgado hasta 2022

POZOS POR USO	CANTIDAD	DISTRIBUCIÓN POR USO (%)	Q (L/S) OTORGADO	DISTRIBUCIÓN POR Q (%)
RIEGO	596	45%	14,736	38%
AGUA POTABLE	137	10%	698	2%
OTROS	24	2%	446	1%
S/INFORMACIÓN	567	43%	11,175	59%
TOTAL	1324	100%	27,055	100%

3.4.3 Resultado Balance Hídrico

Una vez obtenidas las variables correspondientes a las recargas y descargas del balance hídrico del sistema y al interior del acuífero, es posible determinar el intervalo del balance hídrico utilizando la ecuación de continuidad presentada al inicio de este capítulo.

Los valores estimados para el balance efectuado para los periodos 1982 – 2007 y 2008 – 2020 se presentan en la siguiente Tabla:

Tabla 3-15: Resultado Balance Hídrico del sistema.

BALANCE HIDROLÓGICO	Periodo 1982 - 2007 ANTES DE LA MEGASEQUÍA		Periodo 2008 - 2020 DURANTE LA MEGASEQUÍA	
	m ³ /año	l/s	m ³ /año	l/s
Entradas				
Precipitaciones	1,507,588,790	47,805	1,019,056,281	32,314
Total entradas	1,507,588,790	47,805	1,019,056,281	32,314
Salidas				
Evapotranspiración Real	524,378,710	16,628	475,218,205	15,069
Escorrentía Superficial	437,726,068	13,880	305,764,533	9,696
Flujo Subterráneo de Salida	435,196 - 39,569,325	13.8 - 1,255	435,196 - 39,569,325	13.8 - 1,255
Explotación de las Aguas Subterráneas	344,562,336	10,926	853,206,480	27,055
Total salidas	1,307,102,310 - 1,346,236,439	41,448 - 42,689	1,634,624,414 - 1,673,758,543	51,834 - 53,075
RESULTADO BALANCE HIDROLÓGICO	161,352,351 - 200,486,480	5,116 - 6,357	-615,568,133 - (-654,702,262)	-20,761 - (-19,520)

Tabla 3-16: Resultado Balance del acuífero.

ACUÍFERO	Periodo 1982 - 2007 ANTES DE LA MEGASEQUÍA		Periodo 2008 - 2020 DURANTE LA MEGASEQUÍA	
	m ³ /año	l/s	m ³ /año	l/s
Entradas				
Recarga por infiltración de cauces	104,068,800 - 208,137,600	3,300 - 6,600	71,902,080 - 143,804,160	2,280 - 4,560
Recarga por Infiltración de Precipitaciones	150,826,031 - 188,532,539	4,783 - 5,978	110,219,287 - 137,774,109	3,495 - 4,369
Recarga por Riego	224,602,546 - 245,981,094	7,122 - 7,800	41,978,006 - 46,175,806	1,331 - 1,464
Total entradas	479,497,377 - 642,651,233	15,205 - 20,378	224,099,373 - 327,754,075	7,106 - 10,393
Salidas				
Explotación de las Aguas Subterráneas	344,562,336	10,926	853,206,480	27,055
Flujo Subterráneo de Salida	435,196 - 39,569,325	13.8 - 1,255	435,196 - 39,569,325	13.8 - 1,255
Total salidas	344,997,532 - 384,140,016	10,940 - 12,181	853,641,676 - 892,775,805	27,069 - 28,310
RESULTADO BALANCE DEL ACUÍFERO	134,501,040 - 258,503,746	4,265 - 8,197	-629,542,303 - (-565,021,730)	-19,963 - (-17,917)

A continuación, se presentan de manera comparativa los resultados del balance hídrico realizado en el acuífero durante ambos periodos. En la representación gráfica, las distintas recargas se muestran en tonalidades azules, mientras que las descargas se destacan en tonos verdes.

Es evidente que, durante el segundo periodo, el volumen de descarga ha experimentado un incremento significativo, superando cuantitativamente a las diversas recargas que abastecen al acuífero. Además, este aumento se ve agravado por la disminución en las recargas del sistema, principalmente debido a los efectos de la prolongada megasequía.

Resultado Balance Hídrico del Acuífero

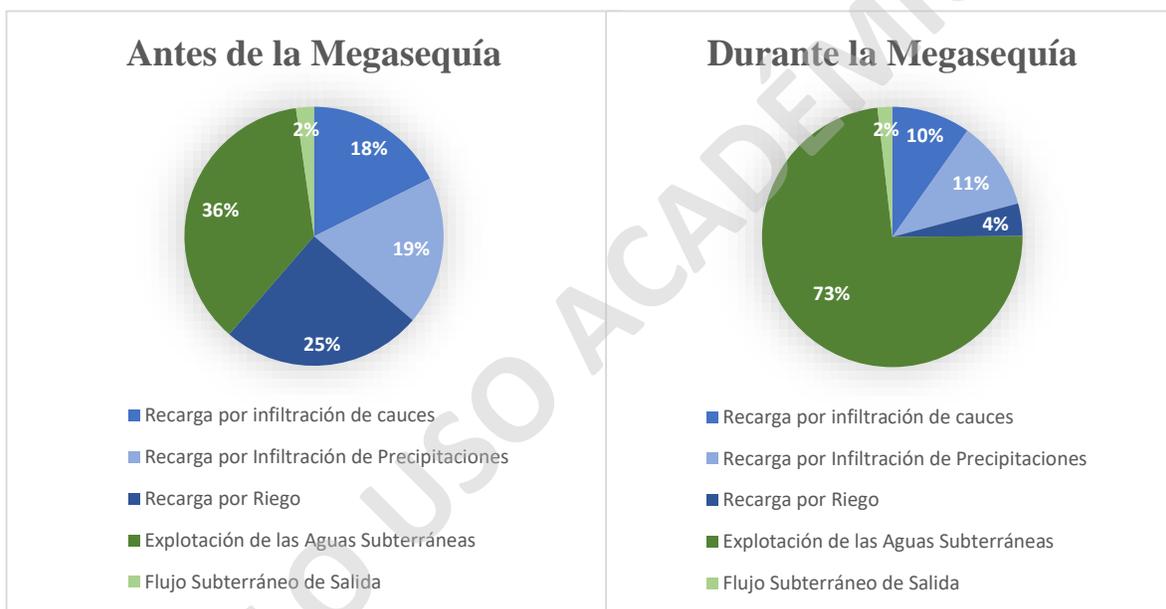


Gráfico 3-11: Resultado del balance hídrico del acuífero en ambos periodos (1982 – 2007 y 2008 -2020). Fuente: Elaboración propia.

4 DISCUSIÓN

4.1 HIDROGEOLOGÍA

Los resultados obtenidos a través de la estratigrafía de sondaje permiten definir distintas unidades geológicas mediante características sedimentológicas y texturales. A su vez, estas unidades a través de rangos estimativos de permeabilidad y proporción en el contenido de finos de limos y arcillas ($\geq 30\%$), permiten definir 3 unidades hidrogeológicas. Con esta información se construyen 6 perfiles geológicos e hidrogeológicos con sus respectivas trazas, presentando una trayectoria y distancia similar a los perfiles efectuados por la DGA (2012), como se muestra en la Figura 3.6, mientras que las trazas de los perfiles efectuados por la DGA se observan en la Figura 7.2 del Anexo 3.3-1.

Para la construcción de estos perfiles se utiliza información estratigráfica tanto de los expedientes ocupados por la DGA (manteniendo en su gran mayoría los sondajes de su estudio), como de información estratigráfica de sondajes construidos recientemente, que se incorporaron en el presente estudio. De este modo, se logra incorporar nueva información estratigráfica que permite actualizar los perfiles en zonas donde previamente se carecía de información de varios kilómetros de distancia, lo que dificultaba una correcta caracterización de subsuperficie en términos geológicos y, en consecuencia, hidrogeológico.

Adicionalmente, al analizar la estratigrafía de sondaje de los expedientes administrativos utilizados por la DGA, se logra reconocer varias litologías con contenido de finos mayor al 30% que no habían sido incorporado en sus perfiles, clasificando erróneamente a estos depósitos como Unidad 1 (bajo contenido de finos con permeabilidades moderadas a altas). Tales litologías fueron reclasificados y definidas como Unidad 2, incorporando estas correcciones a los perfiles hidrogeológicos.

A continuación, se observa la Tabla 4.1 que muestra los perfiles y número de expediente utilizado por la DGA en su estudio, que evidencian litologías mal clasificadas y que posteriormente fueron corregidas en este estudio.

Tabla 4-1: Perfil y N° de Expediente modificados

PERFIL	N° EXPEDIENTE
B-B'	1428
	850
C-C'	1134
	1160
	1380
E-E'	1380
	974
	1307
	1324
F-F'	884

La elaboración de estos perfiles geológicos - hidrogeológicos en conjunto con la información extraída del plano isobático, permite identificar que ninguno de los sondajes alcanzó el basamento rocoso dada a la profundidad a la que se encuentra, salvo en algunos perfiles que se encontraban más próximos como el Perfil A-A', existiendo una gran incertidumbre en el relleno sedimentario que existe en la cuenca. En consecuencia, se desconoce la potencia máxima a la que alcanzaría el acuífero, y la real capacidad de almacenamiento que tendría.

La unidad hidrogeológica que predomina en todos los perfiles es la Unidad 1, compuesta principalmente por granulometría gruesa y un bajo contenido de finos (limo – arcilla), la que se define como la unidad de mayor potencial hidrogeológico. Mientras que la Unidad 2, de medio a bajo potencial se disponen principalmente en forma de lentes, sin presentar una continuidad observable con excepción de algunos pozos como el N° 747 – 4034 – 1380 – 974, donde en su potencia domina esta Unidad. Teniendo en cuenta lo anterior se confirma que el acuífero Teno-Lontué es de carácter libre.

La dirección del flujo subterráneo muestra una tendencia de escurrimiento similar a la de la cuenca hidrográfica, con una orientación general de las curvas equipotenciales perpendicular al flujo superficial de los cursos de agua principal y secundarios. Los mayores gradientes hidráulicos se encuentran en la cabecera del sector pre andino de ambas subcuencas, siendo los valores más altos encontrándose en la cuenca del río Teno. Según las geometrías que entregan las equipotenciales, sugieren que en el sector pre andino del río

Teno, desde su entrada al valle hasta la localidad homónima, es la única zona dentro de todo el sector de estudio que aparentemente muestra un comportamiento influente, el cual produce una recarga por infiltración permanente desde el río Teno hacia el acuífero.

El resultado de las profundidades medidas de niveles freáticos, entregan que el acuífero Teno-Lontué presenta en su mayoría niveles que no superan 20 metros bajo el nivel del terreno, con un aumento gradual de los niveles de poniente a oriente, alcanzando las mayores profundidades en el valle del río Teno (Figura 3.16), donde los niveles superan los 60 metros de profundidad, llegando incluso a los 90.4 metros en sus pozos más profundos. Esta importante profundidad a la que ocurre el agua subterránea, podría significar una desconexión entre el cauce y el acuífero, lo que en consecuencia provoca que el río Teno pierda su caudal por infiltración y recargue el acuífero. Esta desconexión queda reflejada en la Figura 3.15 y 3.16 de curvas equipotenciales y profundidad de niveles estático, respectivamente, siendo ambos resultados complementarios entre sí que comprueban este comportamiento influente del río.

Hacia aguas abajo, los niveles estáticos se encuentran más superficiales, manteniendo una estrecha relación con los niveles de terreno y con los cursos de aguas superficiales más importantes. Cercano al sector de confluencia de los ríos Teno y Lontué, las curvas equipotenciales reflejan un comportamiento efluente con respecto a los cursos de agua superficial. Además, en la Figura 4.1 se observa que estas curvas coinciden con el nivel de terreno (o curvas de nivel), lo que es un claro indicador que en ese sector se producen recuperaciones del acuífero hacia los cursos superficiales.

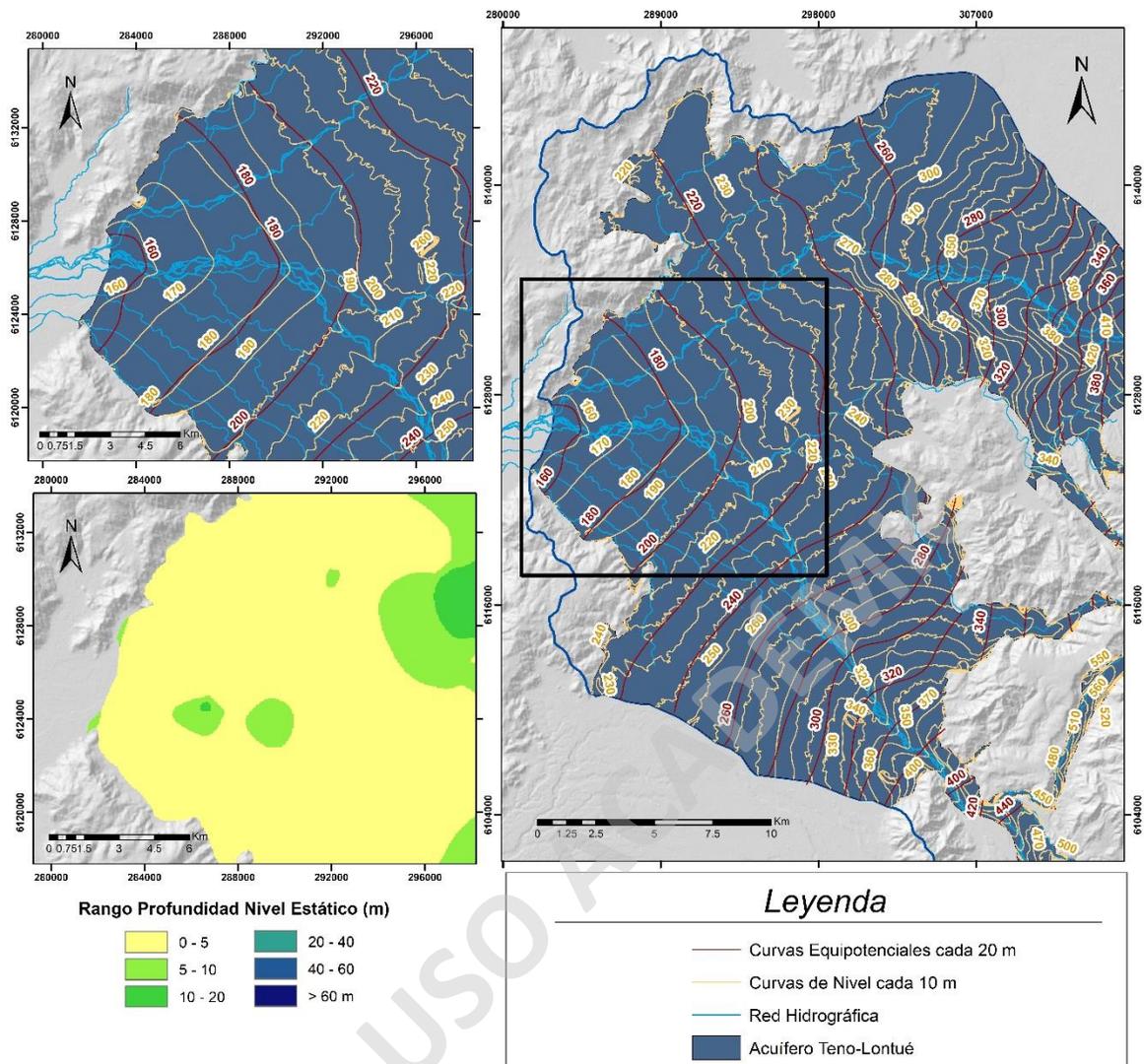


Figura 4-1: Sector donde coinciden las curvas equipotenciales y las curvas de nivel. Representan un área de afloramiento de aguas subterráneas hacia los cauces superficiales.

Fuente: Elaboración propia.

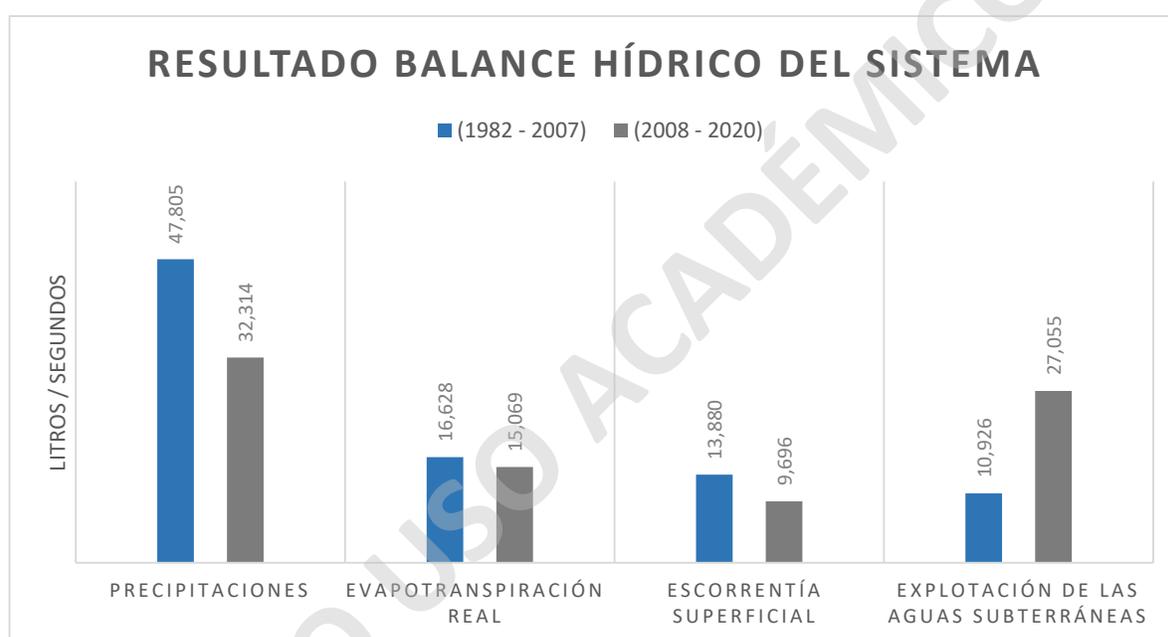
4.2 BALANCE HÍDRICO

En el marco de este estudio, se llevó a cabo la elaboración de un balance hídrico para dos periodos correspondientes a la cuenca del río Teno y Lontué. El primer periodo analizado fue el comprendido entre los años 1982 y 2007, mientras que el segundo abarcó desde el año 2008 hasta el año 2020. Cabe destacar que el fin del primer periodo y el inicio del segundo se relaciona con el comienzo de la megasequía en Chile, según distintos autores. La

realización de estudios como este permite hacer una evaluación cuantitativa de los recursos de agua y analizar cómo ha disminuido el volumen de agua almacenada en el acuífero.

Balance hídrico del sistema

Según los datos presentados en la Tabla 3.15 y como se puede observar en el Gráfico 4.1, el resultado del balance hidrológico indica que las precipitaciones en el segundo periodo disminuyeron aproximadamente en un 48% en comparación con el primer periodo. Esta disminución es de suma relevancia, ya que tiene un impacto directo en la recarga (L/s) hacia el acuífero.



*Gráfico 4-1: Comparación de los resultados del Balance Hidrológico para ambos periodos.
Fuente: Elaboración propia.*

En este estudio se ha utilizado el método de Turc para calcular la evapotranspiración real en los dos periodos: 1982-2007 y 2008-2020. Los resultados obtenidos indican que los valores de evapotranspiración han disminuido para el segundo periodo, lo que puede parecer contradictorio dado que las temperaturas medias anuales han ido en aumento.

Sin embargo, esta aparente contradicción se explica por la cantidad de precipitación que se producen entre ambos periodos. En el segundo periodo, la cantidad de precipitaciones es inferior en comparación con el primero, pero la cantidad de precipitación que se

evapotranspira es proporcionalmente mayor debido al aumento de temperatura. En consecuencia, aunque el valor de la ETR para el segundo periodo es menor debido a la disminución de la cantidad de precipitaciones, la cantidad de precipitación que se evapotranspira es mayor que en el primer periodo.

Este análisis se puede observar en el Gráfico 3-7 y Figura 3-21, donde se representa el aumento gradual de la evapotranspiración a lo largo del tiempo. En resumen, los resultados obtenidos muestran una disminución en los valores de evapotranspiración para el segundo periodo debido a las bajas precipitaciones, pero también una mayor cantidad de precipitación que se evapotranspira en comparación con el primer periodo debido al aumento de temperatura.

Este método se basa en la alta correlación existente entre la evapotranspiración y la radiación solar, principal factor que alimenta y controla el proceso. Considerado un método clásico ocupada en varios estudios, siendo empleado por la Dirección General de Aguas en la elaboración del Balance Hídrico en Chile (1987) y aplicada por CNR-CIREN (1997). (Información obtenida de Sánchez, 2001). Sin embargo, los resultados de ETR anual obtenidos en este estudio, entregan una sobreestimación de la evapotranspiración para ciertos años, observando valores más altos que la precipitación registrada en el mismo periodo, lo cual resulta improbable, ya que no se puede evapotranspirar más de lo que llueve dado que es una metodología que no considera la capacidad de campo del suelo, solo la variable de precipitación y temperatura.

Estos valores sobreestimados ocurren cuando la precipitación media anual es inferior a los 300 mm, lo que quiere decir que ocurre en periodos de baja precipitación. Dado que este fenómeno se ha vuelto más recurrente en los últimos tiempos, es evidente que esta fórmula no resulta conveniente frente a la situación real de escasez hídrica que enfrentamos actualmente. Por lo tanto, se hace necesario considerar otras metodologías y variables que permitan una mayor precisión en la estimación de la evapotranspiración en condiciones de escasez hídrica.

Balance interior en el acuífero

Los resultados del balance interior en el acuífero de ambos periodos entregan una disminución de la recarga por infiltración tanto por cauce, como también por precipitación (Gráfico 4.2). Este comportamiento es esperable dada la notoria disminución de las precipitaciones en la cuenca, de este modo el volumen de agua que hay en los caudales y la que se encuentre disponible en la superficie para que infiltre, es cada vez menor.

Por otro lado, la recarga que se produce por riego en el segundo periodo es comparativamente inferior al primer periodo, disminuyendo de un 25 a un 4% del volumen infiltrado al acuífero. Esta situación llama la atención debido a que la superficie plantada de especies frutícola ha aumentado significativamente en cada periodo, aumentando incluso en un 32% en la superficie de cerezos del 2019 al 2022 según CIREN (2019, 2022), escenario que se repite en todos los ámbitos de la agroindustria. En consecuencia, existiendo una mayor área cultivada, también existe un aumento en la superficie regada, por lo que la recarga por riego debiese ser mayor comparativamente.

Sin embargo, los valores bajos de infiltración se deben a la eficiencia en el método de riego empleado. Los estudios de caracterización hídrica de los suelos y el análisis de los parámetros físicos del sustrato permiten determinar frecuencias y tiempos de riego, generando que la eficiencia de aplicación de agua determine directamente la superficie factible de regar sin causar déficit hídrico a la superficie plantada. Por tanto, los métodos de riego se han ido perfeccionando, pasando de sistemas como el riego por surco y tendido a métodos más avanzados como la microaspersión y el goteo. Entre ellos, el riego por goteo ha demostrado ser el más eficiente, alcanzando una eficiencia teórica del orden del 90 – 95%, según Antúnez et al., (2009). En la cuenca de estudio, este método de riego abarca aproximadamente un 70% de la superficie frutal, según el informe de CIREN (2022). Estas características del método de riego permiten que la disponibilidad del recurso hídrico quede retenida en la zona radical y no genere un excedente importante que percole al acuífero.

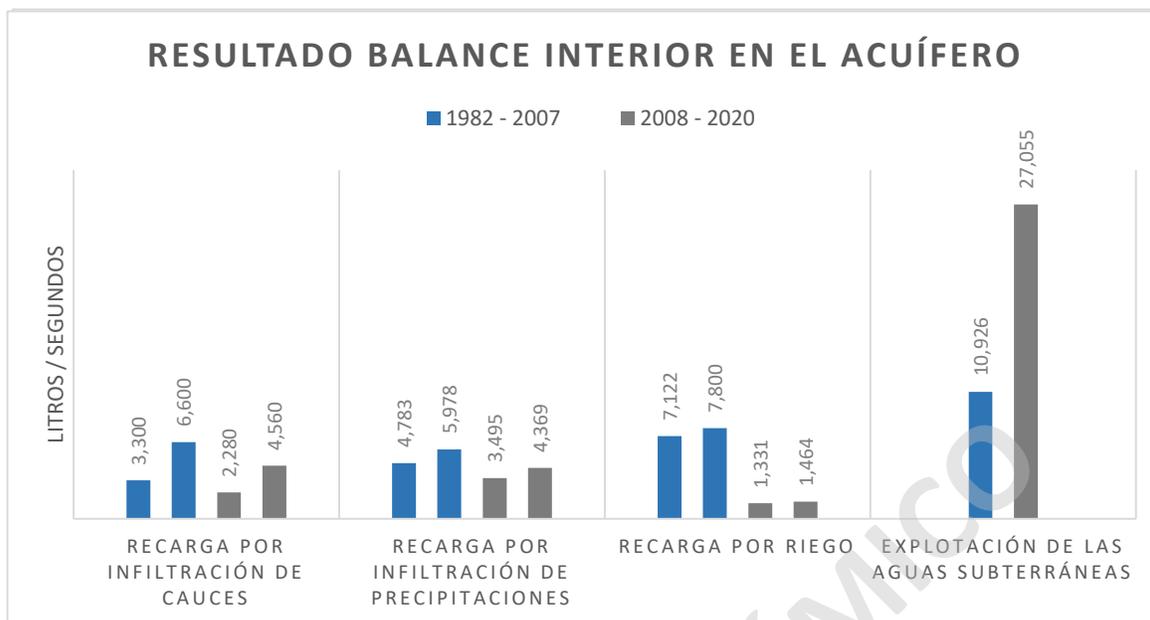


Gráfico 4-2: Comparación de los resultados del Balance interior en el acuífero para ambos periodos con sus respectivos intervalos. Fuente: Elaboración propia.

En cuanto a la explotación de las aguas subterráneas, se observa un importante incremento para el segundo periodo, aumentando 2.5 veces la cantidad de L/s otorgados, siendo el sector del riego el que mayor demanda ha generado (sin considerar los derechos que están sin información), aumentando un 63% en el caudal otorgado según la Tabla 3-7 y 3-8.

Pese a que la explotación hídrica subterránea por riego ha aumentado significativamente para el segundo periodo, la recarga por riego que hay hacia el acuífero es comparativamente menor (Gráfico 4-2). Quiere decir que, para el segundo periodo, existe un aumento significativo en la superficie agroindustrial, lo que lleva a una mayor extracción de agua subterránea para satisfacer la creciente demanda de riego. A pesar del aumento en la extracción durante el segundo período, la recarga al acuífero debido al riego es comparativamente inferior. Este fenómeno, como se explicó anteriormente, está influenciado por la tecnificación del método de riego. La mejora en la eficiencia del riego ha reducido la percolación de agua hacia el acuífero, a pesar de que la superficie regada ha aumentado.

El caudal de flujo subterráneo de salida, que arrojó un resultado en un intervalo de 13.8 - 1,255 l/s, fue calculado considerando un rango de valores de permeabilidad de las unidades hidrogeológicas presentes en la zona. Es importante tener en cuenta que, debido a esta variabilidad en los valores de permeabilidad, el resultado obtenido es solo un estimativo. Por lo tanto, el caudal real podría ser tanto menor como mayor que el valor calculado en este estudio. Es necesario considerar esta incertidumbre al interpretar los resultados y tomar decisiones basadas en esta información.

Para corregir este procedimiento y obtener una estimación más precisa del caudal de salida, sería necesario realizar ensayos de bombeo y el cálculo directo de la permeabilidad o emplear algún software especializado que ayude a analizar e interpretar datos obtenidos en las pruebas de bombeo.

5 CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIÓN

A partir de los análisis geológicos, hidrológicos e hidrogeológicos realizados en el modelo conceptual de la cuenca del río Teno y Lontué, se pueden establecer las siguientes conclusiones:

- Durante el período comprendido entre 1982 y la actualidad, se ha evidenciado una tendencia decreciente en las precipitaciones y un aumento en las temperaturas, según los antecedentes hidrometeorológicos analizados. Esta situación ha generado una disminución significativa del caudal circulante en los cauces, lo que ha afectado negativamente su volumen.
- El relleno sedimentario de la cuenca se encuentra asociado generalmente a depósitos fluvio-aluviales, existiendo algunas zonas con acumulaciones fluviovolcánicas asociadas a lahares y corrientes de densidad piroclásticas situadas en la cuenca del río Teno. El análisis de las características granulométricas y proporción en contenido de finos permite definir seis unidades a nivel subsuperficial: grava, grava arcillosa, arena, arena gravosa, arena arcillosa y arcilla. Los materiales gruesos como gravas y arenas son predominantes en la cuenca, mientras que las unidades con contenido de arcilla suelen presentarse con una distribución lenticular.
- El tipo de sedimento tiene una influencia directa en la permeabilidad y capacidad de almacenamiento de agua en el acuífero. Con estas características sedimentológicas se definen tres unidades hidrogeológicas, siendo UH1 la que presenta un mayor potencial hidrogeológico. Se diferencian entre sí por el contenido de finos:
 - UH1: Medios intergranulares de bajo contenido de finos (< 30%). Presenta alta permeabilidad y capacidad de almacenamiento.
 - UH2: Medios intergranulares con abundante contenido de arcillas (> 30%). Tiene permeabilidad moderada a baja y capacidad de almacenamiento limitada.
 - UH3: Medios rocosos de muy baja a nula permeabilidad.

- De acuerdo con la geología y distribución espacial de las unidades hidrogeológicas que conforman la cuenca, se define el acuífero del área de estudio de carácter freático o libre.
- En el sector pre andino, las cotas de las curvas equipotenciales alcanzan los 440 m.s.n.m, disminuyendo progresivamente hacia el poniente llegando a la zona de confluencia entre ríos, llegando a una cota de 160 m.s.n.m. Esta diferencia permite inferir una tendencia general de escurrimiento de las aguas subterráneas en sentido E-W.
- En función de la profundidad de niveles estáticos, geometría de las equipotenciales y características hidráulicas del material sedimentario, se determinó que el río Teno, en su sector más alto, presenta recargas al acuífero, estimando que la infiltración del lecho del río Teno fluctúa entre los 200 y 400 l/s/km aproximado. Por otro lado, las zonas de afloramiento se presentan aguas abajo cercano a la confluencia de los ríos Teno y Lontué, donde los niveles freáticos se encuentran a pocos metros de profundidad y las curvas isofreáticas coinciden y/o superan el nivel de terreno.
- La generación de este balance hídrico permitió llevar a cabo una evaluación cuantitativa de los recursos hídricos disponibles en la cuenca, así como analizar de qué manera ha disminuido el volumen de agua almacenada en el acuífero. Para el primer periodo (1982 – 2007), el resultado del balance interior en el acuífero entrega un intervalo que va entre 4,265 a 8,197 l/s, lo que quiere decir que, según el principio de conservación de masa, hay más entrada de agua al acuífero que salida de agua. En otras palabras, la recarga al acuífero a través de la infiltración por precipitación, de riego y por cauces superficiales, supera la descarga del acuífero (por bombeo y flujo subterráneo de salida), lo que implica en un aumento en el nivel del agua subterránea. Sin embargo, durante el segundo periodo (2008 – 2020) definido como el de mega sequía, el balance del acuífero de la cuenca entrega un resultado negativo que va de un intervalo de -19,963 a -17,917 l/s. Este valor indica que las extracciones de agua

subterránea son mayores que las recargas naturales al acuífero. Esta situación se debe a diversos factores, entre ellos los cambios hidrometeorológicos que han afectado la zona de estudio, como la disminución de las precipitaciones y el aumento de la evapotranspiración debido al cambio climático y aumento de las temperaturas. A esto se suma el aumento de los derechos de agua otorgados, lo que ha generado una descarga considerable desde el acuífero sin un retorno equivalente debido a que la recarga por riego ha disminuido dada la tecnificación en el método de riego.

- El acuífero Teno-Lontué se encuentra en un escenario de sobreexplotación del recurso hídrico, extrayendo agua a un ritmo más rápido de lo que se recarga naturalmente. Lo que conlleva a una disminución del nivel del agua subterránea y una reducción de la capacidad de almacenamiento del acuífero.

5.2 RECOMENDACIONES

A continuación, se incluyen algunas sugerencias adicionales que tienen el propósito de ampliar y mejorar el estudio que se ha realizado.

- Se recomienda incrementar el número de estaciones hidrometeorológicas en la zona de estudio, especialmente en las áreas altas de la cuenca. Esto permitirá obtener un registro más completo y preciso de los datos climáticos, lo cual es fundamental para calcular un balance hídrico que refleje de manera más precisa las condiciones reales de la zona.
Contar con un mayor número de estaciones meteorológicas distribuidas estratégicamente en toda la cuenca proporcionará información valiosa sobre las variaciones en las precipitaciones, la temperatura, la humedad y otros parámetros meteorológicos relevantes.
- Se recomienda aumentar el número de estaciones de monitoreo de pozos que registren el nivel estático en la zona. En la actualidad, solo se dispone de un pozo monitoreado con información actualizada, mientras que el resto de los pozos carecen de datos recientes. Al incrementar el número de estaciones de monitoreo de pozos y asegurar

que estén actualizadas, se obtendrá una visión más completa y precisa de la dinámica del agua subterránea en la zona

- La información estratigráfica obtenida de pozos no logra caracterizar el relleno sedimentario de la cuenca debido a su poco alcance, dejando vacíos significativos en la mayoría de los perfiles analizados. Se recomienda llevar a cabo campañas geofísicas que complementen la caracterización del subsuelo. Estos resultados permitirán evaluar a mayor escala el potencial hídrico del relleno sedimentario.

Un método geofísico adecuado podría ser la sísmica de reflexión, ya que es el método que posee el mayor alcance en términos de profundidad de penetración y permite obtener imágenes de las capas sedimentarias y determinar su espesor, geometría y continuidad.

Al combinar los datos obtenidos de los pozos estratigráficos con las imágenes proporcionadas por la sísmica de reflexión, se puede obtener una caracterización más completa y detallada del relleno sedimentario de la cuenca.

- Se recomienda calcular la permeabilidad en la sección de salida de la cuenca, ya que esta información permitirá calcular de manera más exacta el caudal de flujo subterráneo de salida del acuífero. Con esto se tendrá una caracterización más completa y una estimación más precisa en el balance hídrico del acuífero.

6 REFERENCIAS

- Alvarez-Garreton, C., Mendoza, P. A., Boisier, J. P., Addor, N., Galleguillos, M., Zambrano-Bigiarini, M., Lara, A., Puelma, C., Cortes, G., Garreaud, R., McPhee, J., and Ayala, A.: The CAMELS-CL dataset: catchment attributes and meteorology for large sample studies – Chile dataset, *Hydrol. Earth Syst. Sci. Discuss*, in review, 2018.
- Aguirre, L. (1960). Geología de Los Andes de Chile Central. *Instituto de Investigaciones Geológicas*, Boletín N.º 9, 70.
- Antunez, A., Felmer, S., & Mora, D. (2009). Eficiencia de riego en sistemas localizados. *Boletín INIA*, 190, 73–90.
- Charrier, R., & Munizaga, F. (1979). Edades K-Ar de volcánicas cenozoicas del sector cordillerano del río Cachapoal, Chile (34°15' Lat. Sur). *Revista Geológica De Chile*, 17, 41–51.
- Charrier, R., & Lillo, F. (1973). Geología Regional y geoquímica del drenaje de las provincias de O'Higgins y Colchagua. *Instituto de Investigaciones de Recursos Naturales*, 7, 81.
- Charrier, R., Pinto, L., & Rodríguez, M. P. (2007). Tectonostratigraphic evolution of the Andean Orogen in Chile. *Geological Society Special Publication*, May 2019, 21–114. <https://doi.org/10.1144/goch.3>
- Chiarito, E.; Zimmermann, E. y Méndez Zacarías, S. (2018). Metodologías para la estimación del coeficiente de escorrentía en áreas urbanizadas mediante teledetección. Cuadernos del CURIHAM.
- Cifuentes, H. U., & Ruiz Muñoz, R. (2019). 56 BOLETÍN INIA N° 415 Riego y Evapotranspiración. 56–62. CIREN. (2022). *Catastro Frutícola Región del Maule 2022*.
- CNR. (2006). Estudio De Calidad De Aguas Subterráneas En Las Cuencas De Huasco Y Mataquito. Realizado por GCF Ingenieros Consultores Ltda. 611.
- Croft, D., Radic, J., Zurita, E., Flynn, J., Wyss, A. (2003). Un toxodóntido del Mioceno (Mammalia: Notoungulata) de la serie sedimentaria de la Formación Cura-Mallín, Lonquimay, Chile. *Revista Geológica de Chile*, vol. 30, núm. 2, pág. 285-298.
- REDIAM. (2015). Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio. Red de Información Ambiental de Andalucía, España.
- Custodio E. y Llamas M. (1983). Hidrología subterránea. Tomo 1. Segunda edición. Universidad Politécnica de Barcelona. p. 332 - 341. Barcelona, España.
- Davidson, J. (1988). El jurásico y cretácico inferior en las nacientes del río Teno (Chile): Una revisión. Departamento de Geología y Geofísica, Universidad de Chile. Tomo 1, 453 - 458 https://biblioteca.sernageomin.cl/opac/datafiles/5141ppA453_A458.pdf

- DCPRH. (2018). Diagnóstico de la Calidad de las aguas subterráneas de la Región del Maule. Ministerio de Obras Públicas. S.D.T. N° 409.
- DGA. (2012). Estudio Hidrogeológico Cuenca del Río Mataquito. Informe Final. Realizado por Aquaterra Ingenieros Ltda. 165.
- DGA. (2015). Evaluación de la disponibilidad de recursos hídricos subterráneos en el sector acuíferos Teno-Lontué. Departamento de Administración de Recursos Hídricos. Informe Técnico DARH N° 44.
- DGA. (2017). Inventario Nacional de Acuífero. División de Estudios y Planificación. SDT N° 403.
- DGA. (2022a). Derechos_Concedidos_VII_Region. Ministerio de Obras Públicas.
- DGA. (2022b). Decretos zonas escasez historico (p.1).
<https://dga.mop.gob.cl/administracionrecursoshidricos/decretosZonasEscasez/Paginas/default.aspx>
- Escobar, F., Guzmán, R., Vieira, C. (1977). AVANCE GEOLÓGICO DE LAS HOJAS RANCAGUA - CURICÓ, TALCA - LINARES, CHANCO, CONCEPCIÓN - CHILLÁN. Instituto de Investigaciones Geológicas. República de Chile. *Economica*, 1–7.
- García, B., Marquez, N., Iba, S., & Julio, E. Z. A. (2014). Estudio del comportamiento hidrológico de una pequeña cuenca forestal .
- Godoy, E. (2012). Sobre la variable marco geotectónico de las formaciones Abanico y Farellones y sus equivalentes al ser de los 35°LS. *Revista de La Asociación Geológica Argentina*, 69(4), 570–577.
- González, A. (2008). Análisis estructural entre los valles del Río Tinguiririca y Teno, Cordillera Principal de Chile Central: Microsismicidad y Geología Superficial. *Departamento de Geología*, 90.
- Grupo Medioambiental del Sistema de las Naciones Unidas. (2021). Escasez Hidrica en Chile: Desafíos pendientes. Naciones Unidas, 1–8.
[https://chile.un.org/sites/default/files/2021-03/PB_Recursos_Hídricos_FINAL_17 de marzo.pdf](https://chile.un.org/sites/default/files/2021-03/PB_Recursos_Hídricos_FINAL_17_de_marzo.pdf)
- Hevia, A. (2014). Evolución Tectono-Estratigráfica de Teno, Vertiente Occidental de la Cordillera Principal. Departamento de Geología, Universidad de Chile.
- Klohn, C. (1960). Geología de la Cordillera de los Andes de Chile Central. *Instituto de Investigaciones Geológicas, Boletín n°*, 95.
- Mardones, V., Peña, M., Pairoa, S., Ammirati, J. B., & Leisen, M. (2021). Architecture, Kinematics, and Tectonic Evolution of the Principal Cordillera of the Andes in Central

- Chile (~33.5°S): Insights From Detrital Zircon U-Pb Geochronology and Seismotectonics Implications. *Tectonics*, 40(7). <https://doi.org/10.1029/2020TC006499>
- Martínez, R., Osorio, R. (1963). Consideraciones preliminares sobre la presencia de carofitas fósiles en la formación Colimapu. *Instituto de Ingenieros de Minas de Chile*. Santiago de Chile. 28 - 38. <https://biblioteca.sernageomin.cl/opac/DataFiles/consideraciones.pdf>
- MINVU. (2019). Plan Regulador Intercomunal De Talca. SEREMI MINVU. Región del Maule.
- Moreno, Karen, & Pino, Mario. (2002). Huellas de dinosaurios en la Formación Baños del Flaco (Titoniano-Jurásico Superior), VI Región, Chile: paleoecología y paleoambiente. *Revista geológica de Chile*, 29(2), 191-206. <https://dx.doi.org/10.4067/S0716-02082002000200003>
- Muñoz, J., Niemeyer, H. (1984). Petrología de la formación Trapa-Trapa y consideraciones acerca del volcanismo mioceno entre los 36° y 39° lat. S -Cordillera principal-. *Revista Geológica de Chile:Una Revista Internacional sobre Geología Andina*, 23, 53–67.
- Muñoz, M., Tapia, F., Persico, M., Benoit, M., Charrier, R., Farías, M., & Rojas, A. (2018). Tectónica extensional durante la evolución del Cretácico Tardío de los Andes Centrales del Sur: Evidencia de la cordillera principal de Chile a ~35°S. *Tectonofísica*, 744, 93–117. doi:10.1016/j.tecto.2018.06.009
- Nasi, C., & Thiele, R. (1982). Estratigrafía del Jurásico y Cretácico de la Cordillera de la Costa, al Sur del Río Maipo, entre Melipilla y Laguna de Aculeo (Chile Central). *Revista Geológica de Chile*, 16(16), 81–99.
- Piquer, J., Castelli, J. C., Charrier, R., & Yáñez, G. (2010). El cenozoico del alto río Teno, Cordillera principal, Chile central: Estratigrafía, plutonismo y su relación con estructuras profundas. *Andean Geology*, 37(1), 32–53. <https://doi.org/10.5027/andgeov37n1-a2>
- Radic, J. P. (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*, 37(1), 220–246. <https://doi.org/10.5027/andgeov37n1-a09>
- Reckmann, O. (2009). Demanda de agua por parte de los cultivos. Nodo Tecnológico de Riego En El Secano Región de O'Higgins. Fase II, 51–72.
- Rossel, P., Oliveros, V., Mescua, J., Tapia, F., Ducea, M. N., Calderón, S., Charrier, R., & Hoffman, D. (2014). The Upper Jurassic Volcanism of the Río Damas-Tordillo Formation (33°-35.5°s): Insights on Petrogenesis, Chronology, Provenance and Tectonic Implications. *Andean Geology*, 41(3), 529–557. <https://doi.org/10.5027/andgeoV41n3-a03>
- Sánchez Martínez, Marcela (2001). Geografía Física Y Desarrollo Sustentable. *Métodos De Estimación De Evapotranspiración Utilizados En Chile1*, pp. 3–7.

- Sánchez San Román, F. J. (2022). Ley Darcy. 1–14. <http://hidrologia.usal.es>
- Santibañez, F. (2017). El cambio climático y los recursos hídricos de Chile. *Agricultura Chilena, Reflexiones y Desafíos Al 2030*, 2, 147–178. <https://www.odepa.gob.cl/wp-content/uploads/2018/01/cambioClim12parte.pdf>
- SARRICOLEA, P., HERRERA-OSSANDON, M., & MESEGUER-RUIZ, Ó. (2017). Climatic regionalisation of continental Chile. *Journal of Maps*, Vol 13(2), pp 66-73.
- SERNAGEOMIN, 2003. Mapa Geológico de Chile: versión digital. Servicio Nacional de Geología y Minería, Publicación Geológica Digital, No. 4 (CD-ROM, versión 1.0, 2003). Santiago.
- STRUCKMEIER W.F. & MARGAT, J. (1995). *Hydrogeological Maps. A Guide and a Standard Legend. International Contributions to Hydrogeology. Volumen 17.*
- Thiele, R., Morel, R., Norte, A. L., Del, Y. S. U. R., Mataquito, R. I. O., & G, R. M. (1981). Tectónica triásico-jurásica en la cordillera de la costa, al norte y sur del río mataquito (34°45' - 35°1s' lat. s), Chile. *Revista Geológica de Chile*, 6(13–14), 49–61.
- Vergara, M. (1978). Comentario sobre la edad de las formaciones cola de zorro y farellones, Chile central. Una revisión. *Revista Geológica de Chile*, 59-61
- Vergara, M., & Muñoz, J. (1982). La formación Cola de Zorro en la alta cordillera Andina Chilena (36°-39°Lat. S), sus características petrográficas y petrológicas: Una revisión. *Revista Geológica de Chile*, 17(17), 31–46.

7 ANEXOS

SOLO USO ACADÉMICO

ANEXO 1.1 - HIDROLOGÍA

ANEXO 3.1-1

PRECIPITACIONES MENSUALES (mm)
ESTADÍSTICAS RELLENADAS Y CORREGIDAS

Estación: CURICÓ

Año	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	Annual
1982 / 1983	16.0	134.0	384.0	209.0	97.0	156.0	33.0	1.0	0.0	7.0	0.0	0.0	1037.0
1983 / 1984	16.5	52.5	150.0	123.5	120.0	24.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	3.0	490.7
1984 / 1985	24.5	190.5	144.0	393.0	107.5	60.0	47.0	6.0	0.0	0.0	0.0	32.0	1004.5
1985 / 1986	20.0	128.5	31.5	132.5	6.0	56.0	69.5	0.0	0.0	0.0	0.7	20.0	464.7
1986 / 1987	84.5	225.0	216.5	49.0	123.5	15.0	12.0	95.5	0.0	0.0	0.0	13.0	834.0
1987 / 1988	20.0	84.5	37.5	411.5	164.0	79.0	33.0	0.0	0.0	0.0	0.0	32.5	862.0
1988 / 1989	8.0	20.0	106.8	81.5	107.1	25.6	7.8	8.6	0.0	2.5	0.0	2.2	370.1
1989 / 1990	1.8	31.2	74.2	128.5	124.6	29.7	12.6	9.6	16.6	1.9	0.0	43.7	474.4
1990 / 1991	36.0	27.1	34.7	88.7	44.0	94.6	31.5	10.6	0.0	8.2	0.0	0.0	375.4
1991 / 1992	29.9	191.7	172.2	181.3	21.0	82.6	44.4	8.0	47.5	0.0	0.0	26.1	804.7
1992 / 1993	48.4	400.5	337.4	57.2	107.3	34.3	2.8	6.9	0.0	4.0	0.0	0.0	998.8
1993 / 1994	34.6	209.7	125.1	106.1	37.3	10.8	18.0	6.2	7.6	0.0	0.0	0.0	555.4
1994 / 1995	78.8	111.6	145.2	113.2	24.3	24.6	18.5	0.0	2.2	0.0	0.0	0.0	518.4
1995 / 1996	94.9	20.5	180.9	160.1	107.8	14.1	24.7	0.0	0.0	0.0	0.0	9.8	612.8
1996 / 1997	36.4	31.7	70.9	64.7	123.3	0.0	2.5	14.0	4.3	0.0	6.0	0.0	353.8
1997 / 1998	45.0	79.1	349.8	80.3	123.2	102.4	138.7	29.8	4.5	0.0	0.0	0.0	952.8
1998 / 1999	26.5	33.3	48.4	0.0	5.7	49.7	0.0	0.0	7.0	0.0	2.5	10.5	183.6
1999 / 2000	16.8	62.3	122.4	63.2	137.0	195.3	11.7	0.0	0.0	0.0	34.6	0.0	643.3
2000 / 2001	6.7	18.6	568.3	34.6	12.3	189.0	0.0	6.0	0.0	2.0	0.0	0.0	837.5
2001 / 2002	32.1	174.3	23.7	299.2	163.5	7.7	5.5	5.0	0.0	0.0	14.3	91.7	817.0
2002 / 2003	27.1	245.6	160.3	120.9	315.4	67.9	24.1	1.0	8.0	40.9	0.0	0.0	1011.2
2003 / 2004	8.0	95.8	200.0	83.7	24.5	42.3	15.2	48.8	5.3	0.0	0.0	20.3	543.9
2004 / 2005	69.2	21.5	123.2	108.0	62.1	65.7	50.5	17.5	5.2	0.0	0.0	13.0	535.9
2005 / 2006	4.3	268.6	290.2	90.0	214.4	32.5	5.5	36.0	3.5	0.0	1.0	0.0	946.0
2006 / 2007	13.5	30.2	234.8	207.9	102.6	37.0	49.3	0.0	12.0	2.3	40.1	4.5	734.2
2007 / 2008	6.0	26.7	105.5	62.0	95.1	3.5	5.5	0.0	0.0	0.0	0.0	8.0	312.3
2008 / 2009	45.0	201.1	148.2	139.5	103.8	28.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	665.6
2009 / 2010	0.0	102.4	153.5	92.8	114.8	69.3	34.1	10.4	0.0	4.0	0.0	0.0	581.3
2010 / 2011	0.0	44.5	145.9	117.1	25.7	15.7	14.8	15.2	22.0	10.3	0.4	19.1	430.7
2011 / 2012	58.1	8.3	75.2	76.9	150.2	10.1	10.0	8.2	0.0	0.0	1.5	0.0	398.5
2012 / 2013	1.0	80.5	165.9	28.7	85.8	0.5	76.0	5.0	94.8	0.5	6.0	0.0	544.7
2013 / 2014	0.0	102.3	48.6	114.8	70.2	19.0	3.2	0.0	0.0	0.0	0.0	12.5	370.6
2014 / 2015	15.4	134.3	190.0	54.5	89.0	78.0	1.5	18.8	14.4	0.0	0.0	3.6	599.5
2015 / 2016	15.6	24.2	21.8	164.6	183.2	65.9	72.0	8.4	0.0	4.0	0.0	0.0	559.7
2016 / 2017	176.2	26.5	15.8	155.4	5.6	9.6	36.0	0.0	1.5	2.4	1.0	0.2	430.2
2017 / 2018	21.0	91.0	182.2	46.8	127.8	28.6	28.4	24.4	0.0	0.0	1.0	30.9	582.1
2018 / 2019	8.0	45.2	84.2	102.3	21.8	7.0	15.2	2.9	0.0	0.0	1.0	2.0	289.5
2019 / 2020	1.2	75.4	72.7	27.4	7.0	28.0	5.0	0.0	0.6	0.0	0.0	0.0	217.3

PRECIPITACIONES MENSUALES (mm)
ESTADÍSTICAS RELLENADAS Y CORREGIDAS

Estación: LONTUÉ

Año	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	Annual
1982 / 1983	16.0	159.5	406.5	205.0	114.5	185.0	41.5	4.0	0.0	15.5	4.0	0.0	1151.5
1983 / 1984	19.5	60.5	180.0	145.0	104.5	32.0	2.5	0.0	0.0	0.0	2.5	4.5	551.0
1984 / 1985	23.0	214.5	187.5	283.5	97.5	86.5	46.5	4.0	0.0	0.0	0.0	34.0	977.0
1985 / 1986	34.0	142.5	32.0	162.0	6.5	73.0	71.5	0.0	0.0	0.0	0.0	24.5	546.0
1986 / 1987	85.5	223.0	339.5	47.0	102.9	16.0	23.7	77.0	0.0	0.0	0.0	31.5	946.1
1987 / 1988	4.0	95.2	39.0	410.5	114.0	73.5	57.0	0.0	0.0	0.0	0.0	29.0	822.2
1988 / 1989	9.5	17.0	160.0	86.0	135.5	29.5	8.5	9.5	0.0	1.5	0.0	5.5	462.5
1989 / 1990	2.5	31.0	58.5	139.5	150.5	23.5	18.0	10.5	15.9	1.5	0.0	39.5	490.9
1990 / 1991	6.0	30.5	39.0	83.0	40.0	105.0	43.5	20.5	1.5	9.0	0.0	0.0	378.0
1991 / 1992	33.0	188.5	124.0	112.0	39.0	51.0	67.0	7.5	96.5	0.0	0.0	25.5	744.0
1992 / 1993	4.5	395.5	264.0	5.0	49.0	27.0	0.8	6.0	0.0	0.0	0.0	0.0	751.8
1993 / 1994	71.3	199.9	113.0	97.0	48.6	9.2	27.1	14.0	4.5	0.0	0.0	0.0	584.6
1994 / 1995	85.0	76.6	142.5	132.7	27.5	23.6	15.4	0.2	2.3	0.0	0.0	0.0	505.8
1995 / 1996	137.8	19.2	165.3	190.2	87.2	19.5	44.5	0.0	0.0	0.0	0.3	6.5	670.5
1996 / 1997	40.5	35.2	80.7	49.0	104.8	1.0	5.5	12.5	4.5	0.4	5.0	0.0	339.1
1997 / 1998	51.6	67.5	327.2	83.0	104.5	82.8	151.0	19.8	2.5	0.0	0.0	0.0	889.9
1998 / 1999	23.2	26.5	31.5	0.5	6.0	59.0	0.0	0.0	7.5	0.0	4.0	10.0	168.2
1999 / 2000	11.0	59.0	154.5	78.5	124.0	186.1	12.0	0.0	0.0	0.0	38.0	0.0	663.1
2000 / 2001	3.5	21.5	439.0	22.5	22.6	177.9	4.5	8.0	0.0	10.0	0.0	0.0	709.5
2001 / 2002	35.5	183.5	28.5	297.0	121.0	8.0	3.0	3.5	0.0	0.0	18.0	83.2	781.2
2002 / 2003	34.2	236.0	132.5	122.0	326.5	62.1	26.5	0.0	4.5	32.5	0.0	0.0	976.8
2003 / 2004	10.0	81.0	159.5	30.7	28.5	41.0	17.0	50.6	5.0	0.0	0.0	23.5	446.8
2004 / 2005	88.0	21.0	107.5	119.0	42.5	49.0	53.5	27.5	7.0	0.0	0.0	16.0	531.0
2005 / 2006	3.0	263.5	300.5	92.5	213.5	31.5	8.5	55.0	0.0	0.0	1.0	0.0	969.0
2006 / 2007	9.5	19.5	278.9	182.9	94.5	24.0	69.0	0.0	11.5	0.0	56.5	7.0	753.3
2007 / 2008	24.0	13.0	102.9	86.5	64.0	5.5	3.5	0.0	0.0	0.0	0.0	7.5	306.9
2008 / 2009	41.0	198.5	142.5	125.0	98.0	32.0	4.5	3.0	0.0	0.0	0.0	0.0	644.5
2009 / 2010	0.0	109.5	176.5	103.0	104.0	79.0	30.5	11.0	0.0	0.5	0.0	0.0	614.0
2010 / 2011	0.0	45.5	131.5	103.0	35.5	17.0	23.5	17.0	14.5	9.5	0.0	18.0	415.0
2011 / 2012	56.0	10.5	93.0	38.0	124.0	17.5	5.5	13.5	0.0	0.0	3.5	0.0	361.5
2012 / 2013	0.0	92.0	137.5	30.0	97.5	5.0	75.0	4.5	110.5	0.0	12.0	0.0	564.0
2013 / 2014	0.0	92.5	43.5	135.5	76.0	27.5	5.7	0.0	0.0	0.0	0.0	14.0	394.7
2014 / 2015	8.5	86.0	187.0	60.0	87.0	97.5	2.6	15.5	11.5	0.0	0.0	5.5	561.1
2015 / 2016	18.2	24.0	18.6	168.3	141.3	77.2	74.6	7.4	0.0	3.4	0.0	0.0	533.0
2016 / 2017	195.8	41.6	15.2	157.0	5.2	12.2	41.7	0.0	1.1	3.8	0.0	1.4	475.1
2017 / 2018	34.6	79.6	156.0	68.8	153.4	29.6	39.8	26.6	0.0	0.0	1.4	29.9	619.8
2018 / 2019	7.4	43.6	90.3	99.3	21.8	9.6	19.4	4.5	0.0	0.0	0.0	0.0	296.0
2019 / 2020	2.5	64.6	69.9	31.4	1.0	36.6	3.2	0.0	1.3	0.0	0.0	0.0	210.5

PRECIPITACIONES MENSUALES (mm)
ESTADÍSTICAS RELLENADAS Y CORREGIDAS

Estación: EL GUINDO

Año	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	Anual
1982 / 1983	25.5	218.0	293.0	119.5	88.5	164.1	50.5	4.5	0.0	11.5	0.9	0.0	976.0
1983 / 1984	19.0	74.5	106.7	155.8	96.0	40.0	0.0	0.0	1.0	0.0	7.5	5.0	505.5
1984 / 1985	30.0	247.0	178.0	353.5	77.5	85.0	69.0	13.0	0.0	0.0	0.0	27.5	1080.5
1985 / 1986	41.0	102.0	57.0	154.0	11.5	61.5	84.0	15.0	0.0	4.0	0.0	26.0	556.0
1986 / 1987	126.5	234.7	264.3	62.5	107.5	22.5	41.0	98.5	0.0	0.0	0.0	55.6	1013.1
1987 / 1988	5.0	97.0	35.0	370.0	140.5	69.0	53.0	0.0	0.0	0.0	0.0	29.0	798.5
1988 / 1989	26.5	28.0	160.7	83.9	130.5	33.5	5.0	15.0	0.0	3.0	0.0	6.5	492.6
1989 / 1990	1.5	30.5	73.0	157.0	106.5	23.0	23.0	7.0	15.0	2.0	5.0	64.8	508.3
1990 / 1991	41.0	42.0	36.5	66.5	27.5	112.0	10.0	21.5	0.0	2.0	0.0	0.0	359.0
1991 / 1992	45.5	204.0	117.5	0.0	21.0	47.0	30.0	10.0	63.5	0.0	0.0	28.5	567.0
1992 / 1993	17.5	345.0	287.5	46.5	66.5	13.0	10.5	3.0	0.0	3.0	0.0	0.0	792.5
1993 / 1994	77.0	151.4	119.0	69.5	59.5	11.5	10.0	13.0	9.0	0.0	0.0	2.0	521.9
1994 / 1995	83.8	72.0	160.0	157.5	29.0	43.0	31.5	4.0	6.5	0.0	0.0	0.0	587.3
1995 / 1996	111.0	31.5	117.0	187.5	95.0	19.0	29.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	591.0
1996 / 1997	39.0	42.1	105.0	23.5	68.0	0.0	6.5	31.0	6.0	1.0	0.0	0.0	322.1
1997 / 1998	43.0	88.0	327.5	88.0	167.0	123.0	193.0	20.0	2.0	0.0	0.0	0.0	1051.5
1998 / 1999	52.0	27.4	16.0	0.0	13.5	56.0	0.0	0.0	2.5	0.0	8.0	11.0	186.4
1999 / 2000	10.0	66.5	199.5	98.0	135.2	202.0	12.0	0.0	0.5	0.0	44.0	0.0	767.7
2000 / 2001	5.5	45.0	418.5	22.0	16.0	176.0	3.5	0.0	0.0	25.0	0.0	0.0	711.5
2001 / 2002	43.0	190.5	56.0	357.5	169.5	5.0	4.5	7.0	0.0	0.0	20.0	113.5	966.5
2002 / 2003	24.0	230.0	161.0	170.5	288.0	88.0	40.5	7.0	0.0	44.0	0.0	0.0	1053.0
2003 / 2004	10.0	89.5	143.5	86.0	42.0	53.5	29.0	48.0	7.0	0.0	0.0	32.0	540.5
2004 / 2005	97.0	17.5	114.0	139.0	59.0	62.0	54.0	16.0	15.0	0.0	0.0	24.0	597.5
2005 / 2006	1.0	280.0	324.5	90.5	219.5	27.5	9.0	48.0	6.0	0.0	2.5	0.0	1008.5
2006 / 2007	20.0	60.0	277.0	152.5	137.0	43.5	79.0	0.0	15.0	0.0	51.0	13.0	848.0
2007 / 2008	24.0	24.0	73.0	120.0	97.0	12.5	5.0	0.0	4.0	0.0	0.0	7.0	366.5
2008 / 2009	43.0	235.0	162.0	164.0	94.0	24.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	722.0
2009 / 2010	0.0	134.0	223.0	96.0	102.0	45.0	31.0	14.0	0.0	4.0	0.0	0.0	649.0
2010 / 2011	0.0	61.5	169.5	115.5	38.0	20.1	17.0	28.0	2.0	22.0	0.0	14.0	487.6
2011 / 2012	80.0	27.0	114.0	90.0	131.0	14.0	3.0	10.0	0.0	0.0	5.0	0.0	474.0
2012 / 2013	0.0	119.0	159.5	20.0	111.0	1.0	92.0	8.3	81.5	0.0	8.0	0.0	600.3
2013 / 2014	0.0	131.0	65.5	133.0	69.0	40.0	10.5	0.0	0.0	0.0	0.0	16.0	465.0
2014 / 2015	9.0	109.5	248.5	124.0	114.0	97.5	7.0	14.0	17.2	0.0	0.0	6.6	747.3
2015 / 2016	22.2	39.0	30.2	186.9	192.2	93.0	90.0	6.0	0.0	0.5	0.0	0.0	660.0
2016 / 2017	136.0	54.0	16.2	124.1	21.0	14.9	45.1	0.0	2.1	2.0	0.0	0.0	415.4
2017 / 2018	42.2	104.4	246.0	63.0	146.0	34.0	13.0	30.0	0.0	0.0	1.7	38.9	719.2
2018 / 2019	15.7	59.5	103.3	105.4	32.8	12.4	20.0	5.9	5.0	0.0	0.0	0.0	359.9
2019 / 2020	0.0	97.0	90.1	44.0	14.6	14.0	14.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	273.7

PRECIPITACIONES MENSUALES (mm)
ESTADÍSTICAS RELLENADAS Y CORREGIDAS

Estación: CONVENTO VIEJO

Año	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	Anual
1982 / 1983	17.2	174.5	549.8	252.5	131.4	193.5	48.2	3.4	0.2	0.9	2.0	0.1	1373.7
1983 / 1984	18.8	60.0	189.3	144.3	100.4	43.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.8	557.8
1984 / 1985	19.5	194.7	109.0	380.1	92.2	70.4	50.7	2.4	0.0	0.0	0.0	21.0	940.0
1985 / 1986	19.5	122.1	27.3	130.8	5.6	29.2	49.9	0.6	0.0	0.0	0.0	12.3	397.3
1986 / 1987	51.4	248.7	210.9	29.8	118.1	19.4	9.8	74.5	0.0	0.0	0.0	2.0	764.6
1987 / 1988	14.3	96.4	31.7	459.3	158.7	46.1	46.8	0.0	0.0	0.0	0.0	44.6	897.9
1988 / 1989	6.3	10.2	107.0	92.2	117.7	27.5	0.4	12.3	1.5	0.8	0.0	0.8	376.7
1989 / 1990	7.3	34.7	48.8	148.9	149.9	22.2	8.4	1.8	1.5	0.8	0.0	40.3	464.6
1990 / 1991	20.0	51.9	31.4	110.4	53.3	85.9	38.1	14.8	7.1	1.0	0.0	0.0	413.9
1991 / 1992	51.7	134.3	185.4	168.8	20.0	66.6	44.7	12.9	55.6	0.0	0.0	10.7	750.7
1992 / 1993	41.4	333.4	333.7	58.0	121.2	28.5	3.8	0.5	0.0	2.0	0.0	0.0	922.5
1993 / 1994	34.8	253.1	217.2	106.4	43.6	8.1	23.8	9.0	4.0	0.0	0.0	0.0	700.0
1994 / 1995	107.5	70.6	128.9	191.1	11.3	53.5	12.4	0.0	5.8	0.0	0.0	0.0	581.1
1995 / 1996	98.4	7.8	203.1	166.4	119.0	12.3	11.2	0.0	0.0	0.0	0.0	17.3	635.5
1996 / 1997	40.0	25.2	105.6	59.1	153.3	2.3	9.1	10.0	2.5	1.0	3.2	0.0	411.3
1997 / 1998	49.9	144.3	368.0	59.1	149.5	114.1	147.1	29.4	1.5	0.0	1.5	0.9	1065.3
1998 / 1999	24.0	32.7	31.5	0.6	7.7	40.9	0.0	0.0	0.0	0.0	1.5	5.8	144.7
1999 / 2000	14.5	60.6	131.5	56.7	194.4	172.9	18.4	0.0	1.2	0.0	57.0	0.0	707.2
2000 / 2001	6.0	22.5	589.8	48.5	19.1	219.6	6.6	1.8	0.0	0.8	0.0	0.0	914.7
2001 / 2002	32.4	182.8	34.0	335.3	200.5	8.0	12.5	1.5	0.0	0.0	6.5	55.5	869.0
2002 / 2003	22.7	235.3	129.0	132.5	331.0	52.0	19.5	2.0	1.5	16.8	0.0	0.0	942.3
2003 / 2004	0.4	114.5	204.5	109.2	21.5	49.0	15.0	34.0	0.5	0.0	0.0	25.5	574.1
2004 / 2005	66.5	26.1	103.4	121.0	79.0	55.3	36.3	22.2	5.5	0.5	0.0	15.0	530.8
2005 / 2006	5.0	289.2	329.5	121.0	242.0	24.0	11.5	40.0	4.0	0.0	1.5	0.0	1067.7
2006 / 2007	41.5	48.0	215.5	203.5	117.0	43.0	79.5	0.0	7.5	0.0	47.0	6.0	808.5
2007 / 2008	3.0	31.0	89.0	91.5	105.3	3.5	2.0	2.0	0.0	0.0	0.0	11.0	338.3
2008 / 2009	27.5	249.0	136.5	162.0	161.5	19.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	756.0
2009 / 2010	0.0	76.8	177.7	31.6	134.1	75.7	26.5	5.6	0.0	0.0	0.0	0.0	528.0
2010 / 2011	0.0	49.0	165.7	95.5	15.9	7.0	0.3	7.5	8.2	12.0	0.0	19.8	380.9
2011 / 2012	102.8	0.0	63.7	91.1	145.1	13.3	0.0	5.5	0.0	0.0	0.0	0.0	421.5
2012 / 2013	0.0	134.7	182.5	2.5	60.6	1.7	82.8	8.5	97.6	0.0	0.0	0.0	570.9
2013 / 2014	0.0	122.4	28.0	128.2	72.3	13.6	2.2	0.0	0.0	0.0	0.0	14.0	380.7
2014 / 2015	12.3	109.0	155.5	48.5	109.0	59.0	0.0	39.1	10.0	0.0	0.0	4.1	546.5
2015 / 2016	0.0	13.5	31.5	145.5	183.4	64.7	108.5	16.9	0.0	11.2	0.0	0.0	575.2
2016 / 2017	160.5	31.2	19.5	168.7	1.9	3.0	39.6	0.0	0.0	0.0	0.0	1.6	426.0
2017 / 2018	15.0	95.0	201.2	82.6	76.9	24.2	22.6	18.0	0.0	0.0	0.5	31.7	567.7
2018 / 2019	5.2	46.6	79.0	107.4	17.0	0.0	14.2	2.8	0.0	0.0	0.0	0.0	272.2
2019 / 2020	1.5	71.0	80.6	15.1	1.8	17.8	4.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	192.3

PRECIPITACIONES MENSUALES (mm)
ESTADÍSTICAS RELLENADAS Y CORREGIDAS

Estación: SANTA SUSANA

Año	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	Anual
1985 / 1986	33.2	125.1	36.0	60.2	13.0	24.0	47.3	0.1	0.0	0.0	0.0	3.1	342.0
1986 / 1987	79.5	224.8	272.0	35.0	142.5	26.0	13.0	86.5	0.0	0.0	0.0	8.5	887.8
1987 / 1988	24.0	94.4	44.0	462.0	197.0	69.0	79.5	0.0	0.0	0.0	0.0	30.0	999.9
1988 / 1989	6.5	14.5	118.7	99.0	144.0	37.0	4.0	15.0	0.6	0.0	0.0	4.2	443.5
1989 / 1990	8.4	28.3	51.5	134.4	171.4	29.0	20.7	0.0	1.0	0.0	0.0	45.0	489.7
1990 / 1991	24.4	48.5	49.5	141.0	91.0	127.0	45.0	17.0	1.0	10.5	0.0	0.0	554.9
1991 / 1992	36.4	304.5	184.7	218.3	22.5	67.9	76.1	18.5	39.0	0.0	0.0	15.9	983.8
1992 / 1993	47.0	374.0	303.6	19.4	14.3	34.2	1.3	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	794.1
1993 / 1994	46.4	229.3	195.5	85.2	46.5	7.1	27.0	21.0	11.5	0.0	0.0	0.0	669.5
1994 / 1995	116.0	102.0	156.9	306.8	18.0	78.0	25.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	803.2
1995 / 1996	93.0	10.0	224.0	248.0	129.0	11.5	16.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	731.5
1996 / 1997	0.0	7.0	87.5	63.9	190.1	6.5	9.1	19.0	11.9	3.3	3.2	2.2	403.7
1997 / 1998	74.8	164.3	483.9	138.6	175.8	157.0	192.4	41.7	0.0	0.0	5.5	0.4	1434.4
1998 / 1999	53.5	49.4	39.5	0.0	22.9	47.5	0.0	0.0	0.0	0.0	1.4	8.6	222.8
1999 / 2000	18.4	66.7	167.2	84.3	208.0	214.6	25.0	0.5	0.2	0.0	49.5	0.0	834.4
2000 / 2001	18.4	29.3	612.2	73.9	19.8	244.4	9.4	6.8	0.0	0.0	0.0	0.0	1014.2
2001 / 2002	46.6	214.8	45.8	416.1	192.3	15.6	10.9	6.4	0.0	0.0	4.0	91.4	1043.9
2002 / 2003	54.8	244.6	182.8	157.3	419.7	63.6	35.5	8.0	2.5	28.7	0.0	0.0	1197.5
2003 / 2004	0.0	115.3	281.3	131.0	37.0	70.9	30.0	48.0	1.8	0.0	0.0	47.5	762.8
2004 / 2005	75.8	39.5	127.1	156.5	102.0	90.4	47.5	32.0	5.0	0.0	0.0	17.0	692.8
2005 / 2006	4.5	344.0	412.0	152.2	338.0	28.4	24.7	43.9	7.7	0.0	0.0	0.0	1355.4
2006 / 2007	62.0	78.5	261.0	241.7	176.5	72.7	91.7	0.0	17.0	0.0	41.5	7.0	1049.6
2007 / 2008	3.0	42.5	97.5	111.7	126.6	12.0	9.5	2.0	0.0	0.0	0.0	11.0	415.8
2008 / 2009	34.0	284.5	171.0	236.4	202.0	35.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	963.2
2009 / 2010	0.0	131.4	199.6	68.2	190.7	115.3	48.2	18.0	0.0	1.0	0.0	0.0	772.4
2010 / 2011	5.0	64.0	208.5	135.4	39.8	11.7	27.7	18.0	12.7	16.5	0.0	19.2	558.5
2011 / 2012	106.4	2.0	90.5	122.5	215.7	26.4	0.5	12.0	0.0	0.0	5.0	0.0	581.0
2012 / 2013	7.5	133.5	256.3	4.0	122.1	5.0	164.5	16.0	104.5	0.5	0.0	0.0	813.9
2013 / 2014	0.0	134.0	92.5	158.0	129.0	39.5	17.0	0.0	0.0	0.0	0.0	26.4	596.4
2014 / 2015	17.0	174.4	219.9	122.6	150.9	71.7	1.8	65.0	26.4	0.0	2.5	15.7	867.9
2015 / 2016	2.8	14.5	91.0	178.2	294.9	109.5	120.2	3.3	0.0	10.5	0.0	0.0	824.9
2016 / 2017	138.5	58.7	23.1	211.3	14.4	11.1	56.1	2.3	0.0	0.0	0.0	1.1	516.7
2017 / 2018	39.0	113.4	201.9	77.4	161.8	37.6	34.0	32.0	0.0	0.0	0.7	31.2	729.0
2018 / 2019	13.2	62.9	112.1	133.5	34.1	7.6	23.9	5.7	0.0	0.0	0.0	3.0	395.9
2019 / 2020	2.0	88.0	149.7	36.5	4.5	23.6	26.0	0.0	3.0	0.0	0.0	0.0	333.3

PRECIPITACIONES MENSUALES (mm)
ESTADÍSTICAS RELLENADAS Y CORREGIDAS

Estación: LOS QUEÑES

AÑO	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	Annual
1982 / 1983	17.5	299.0	882.0	448.0	242.4	330.6	172.0	27.0	0.0	11.0	7.0	0.0	2436.5
1983 / 1984	39.0	149.0	323.8	257.3	172.7	103.0	8.6	0.5	0.0	0.1	0.0	12.2	1066.2
1984 / 1985	49.0	422.8	198.5	586.0	168.0	175.4	153.0	48.2	0.0	0.8	0.0	21.0	1822.7
1985 / 1986	46.7	201.0	83.0	269.5	19.3	63.0	145.8	0.9	0.0	0.5	0.0	15.1	844.8
1986 / 1987	130.0	420.5	480.5	35.0	284.5	29.5	35.7	100.4	0.0	0.0	0.0	15.0	1531.1
1987 / 1988	54.5	146.2	84.0	678.0	333.5	127.0	158.7	0.0	0.0	0.0	0.0	19.5	1601.4
1988 / 1989	13.5	40.5	184.5	187.5	235.5	47.5	13.0	38.0	0.7	0.0	0.0	13.0	773.7
1989 / 1990	16.0	81.6	122.2	220.0	342.7	50.1	31.0	1.2	9.0	5.8	0.0	104.9	984.5
1990 / 1991	52.6	75.2	83.4	173.2	136.9	199.4	65.1	31.3	0.0	1.8	0.0	0.0	818.9
1991 / 1992	109.2	312.9	299.3	298.5	36.2	142.9	118.2	4.8	99.4	2.4	0.6	9.2	1433.6
1992 / 1993	160.9	592.7	585.8	112.2	168.1	98.3	26.6	17.0	0.0	6.0	0.0	0.0	1767.6
1993 / 1994	70.9	429.2	415.7	199.0	72.0	41.4	55.3	54.9	58.8	0.0	0.0	1.8	1399.0
1994 / 1995	129.8	161.9	294.6	351.0	35.3	109.7	49.5	0.2	33.0	0.0	13.7	0.0	1178.7
1995 / 1996	167.0	52.8	382.6	339.6	195.5	43.9	77.5	0.0	0.0	2.6	0.0	12.8	1274.3
1996 / 1997	73.4	54.7	248.3	100.3	303.4	9.0	19.1	18.5	6.0	5.0	7.7	8.6	854.0
1997 / 1998	143.1	308.8	683.0	277.3	271.2	305.1	296.0	69.6	7.6	0.0	1.4	0.9	2364.0
1998 / 1999	96.0	77.1	74.5	0.0	14.4	78.3	0.0	0.2	0.0	0.0	6.2	28.2	374.9
1999 / 2000	28.7	80.6	321.9	57.3	288.7	311.3	38.4	6.6	3.2	0.0	101.6	0.0	1238.3
2000 / 2001	21.6	31.2	887.2	139.5	43.3	425.9	8.5	16.4	0.0	1.0	0.0	0.9	1575.5
2001 / 2002	56.0	378.9	73.3	577.5	327.7	24.8	13.0	9.9	0.0	0.2	1.0	72.0	1534.3
2002 / 2003	77.7	365.5	257.5	194.1	692.8	145.3	71.5	30.2	3.5	87.0	0.0	0.0	1925.1
2003 / 2004	0.3	130.0	324.3	154.6	28.4	142.1	39.6	59.5	3.9	0.0	0.0	85.7	968.4
2004 / 2005	131.0	35.9	202.7	271.8	137.6	165.3	90.1	55.8	9.0	14.0	0.0	28.2	1141.4
2005 / 2006	11.1	521.6	549.0	223.6	454.9	43.8	54.0	71.5	16.7	0.0	1.8	0.0	1948.0
2006 / 2007	57.3	110.8	360.5	424.1	246.2	99.0	141.8	0.4	28.0	0.0	30.3	9.7	1508.1
2007 / 2008	1.1	41.5	174.9	190.7	186.2	7.6	18.3	13.6	0.0	0.0	0.0	17.0	650.9
2008 / 2009	56.9	493.0	204.3	218.5	338.0	44.3	2.1	0.0	0.0	0.0	0.8	0.0	1357.9
2009 / 2010	0.0	183.4	227.0	85.6	263.6	186.4	88.2	28.2	0.0	1.4	0.0	0.0	1063.8
2010 / 2011	5.3	74.7	314.3	175.3	49.2	24.1	46.6	25.2	11.6	16.0	0.8	33.0	776.1
2011 / 2012	132.1	1.8	145.4	244.2	261.8	78.2	11.6	25.0	0.0	0.2	3.7	0.0	904.0
2012 / 2013	13.9	200.6	356.4	22.9	131.4	2.8	116.6	2.8	211.9	0.2	0.0	0.1	1059.6
2013 / 2014	0.0	190.8	79.5	130.4	155.4	53.0	20.4	0.0	0.0	0.0	0.0	30.5	660.0
2014 / 2015	36.0	207.3	257.5	155.5	241.1	188.3	10.3	48.2	32.9	0.0	2.0	21.0	1200.1
2015 / 2016	3.3	27.5	158.7	327.3	423.2	164.5	194.2	3.1	0.0	17.3	0.0	0.0	1319.1
2016 / 2017	372.0	90.2	30.0	306.5	31.0	36.0	97.9	10.7	3.5	0.0	0.0	6.6	984.4
2017 / 2018	68.5	147.0	268.0	127.5	176.0	83.3	102.0	6.0	0.0	0.0	0.0	32.6	1010.9
2018 / 2019	9.0	18.6	155.7	174.4	110.6	199.7	96.6	18.1	0.0	0.0	0.0	0.0	782.7
2019 / 2020	1.0	114.5	186.0	67.0	8.0	50.9	9.0	0.0	1.5	0.0	0.0	0.0	437.9

PRECIPITACIONES MENSUALES (mm)
ESTADÍSTICAS RELLENADAS Y CORREGIDAS

Estación: EL MANZANO

Año	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	Anual
1982 / 1983	24.0	276.5	915.5	393.0	220.5	314.5	132.0	4.5	2.5	9.0	3.5	0.0	2295.5
1983 / 1984	32.5	123.0	332.5	250.5	165.0	110.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8.5	1022.5
1984 / 1985	39.0	401.5	185.0	639.5	162.5	127.0	129.0	14.0	0.0	0.1	0.0	25.5	1723.1
1985 / 1986	35.5	237.0	70.0	266.5	13.0	40.0	118.8	0.0	0.0	0.0	0.0	17.5	798.3
1986 / 1987	152.5	319.6	406.0	31.0	208.0	24.0	31.5	104.0	0.0	0.0	0.0	5.9	1282.5
1987 / 1988	37.5	154.0	44.5	717.0	324.0	114.0	147.0	0.0	0.0	0.0	0.0	27.5	1565.5
1988 / 1989	19.0	26.5	172.0	153.5	243.5	44.0	6.5	19.5	1.0	0.0	0.0	10.0	695.5
1989 / 1990	16.5	52.5	93.5	222.0	292.5	30.0	18.0	5.0	3.0	3.0	0.0	75.5	811.5
1990 / 1991	31.0	60.0	58.9	152.5	109.0	156.0	66.4	34.0	1.0	6.0	0.0	0.0	674.8
1991 / 1992	81.0	331.0	255.0	262.0	26.0	108.0	116.0	10.0	78.0	0.0	0.0	18.0	1285.0
1992 / 1993	115.0	538.0	526.0	74.0	137.0	58.0	20.1	2.0	0.0	1.0	0.0	0.0	1471.1
1993 / 1994	51.0	379.0	338.6	185.9	63.0	20.0	41.0	29.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1107.5
1994 / 1995	153.0	98.0	205.0	371.0	11.0	116.0	41.0	5.0	26.0	0.0	12.0	0.0	1038.0
1995 / 1996	164.0	35.0	381.0	337.0	231.0	54.0	63.0	0.0	0.0	2.0	0.0	11.0	1278.0
1996 / 1997	48.0	40.0	280.0	102.0	320.0	2.0	2.0	22.0	7.0	3.0	5.0	7.0	838.0
1997 / 1998	133.0	281.0	683.0	267.0	273.0	303.0	280.0	67.0	7.0	0.0	2.0	1.0	2297.0
1998 / 1999	62.0	64.0	63.1	0.0	16.0	67.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.0	30.0	307.1
1999 / 2000	18.0	67.0	299.0	85.0	327.0	304.0	34.0	0.0	0.0	0.0	103.0	0.0	1237.0
2000 / 2001	28.0	39.0	932.0	128.0	34.0	409.0	10.0	8.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1588.0
2001 / 2002	55.0	312.0	63.0	531.0	320.0	26.0	11.0	5.0	0.0	0.0	0.0	80.0	1403.0
2002 / 2003	66.0	401.0	264.0	232.0	599.0	130.0	68.0	14.0	4.0	36.0	0.0	0.0	1814.0
2003 / 2004	0.0	150.0	351.0	183.0	32.0	143.0	65.0	71.0	2.0	0.0	0.0	54.0	1051.0
2004 / 2005	116.0	45.0	196.0	243.0	151.0	175.0	76.0	40.0	0.0	8.0	0.0	22.0	1072.0
2005 / 2006	5.0	560.0	639.0	206.0	496.0	40.0	46.0	69.0	15.0	0.0	2.0	0.0	2078.0
2006 / 2007	58.0	112.0	337.0	434.0	254.0	123.0	159.0	2.0	24.0	0.0	36.0	11.0	1550.0
2007 / 2008	1.0	43.0	165.0	212.0	192.0	12.0	10.5	4.0	0.0	0.0	0.0	22.0	661.5
2008 / 2009	44.0	457.5	230.0	273.0	305.0	35.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1344.5
2009 / 2010	0.0	169.0	246.0	106.0	257.5	177.0	96.5	21.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1073.0
2010 / 2011	0.0	83.0	330.0	195.0	60.0	19.5	30.0	23.0	12.0	35.0	0.0	19.5	807.0
2011 / 2012	192.5	0.0	141.0	247.5	245.5	62.5	2.5	22.5	0.0	0.0	0.5	0.0	914.5
2012 / 2013	3.0	229.0	346.5	14.5	125.9	6.5	142.5	6.5	214.5	0.0	0.0	0.0	1088.9
2013 / 2014	0.0	189.0	71.5	199.5	135.5	49.5	30.5	0.0	0.0	0.0	0.0	29.5	705.0
2014 / 2015	22.0	197.0	246.5	130.0	192.0	121.0	0.0	55.5	29.4	0.0	2.0	18.5	1013.9
2015 / 2016	4.5	22.0	109.0	289.0	366.9	112.5	172.0	6.0	0.0	15.0	0.0	0.0	1096.9
2016 / 2017	259.5	67.0	31.0	285.5	17.0	26.7	88.4	8.9	1.4	0.0	0.0	4.0	789.4
2017 / 2018	54.0	149.0	324.5	83.0	192.5	62.0	57.0	37.5	0.0	0.0	0.0	27.0	986.5
2018 / 2019	10.9	16.0	143.3	172.2	106.5	182.2	87.2	15.4	0.0	0.0	0.0	1.0	734.7
2019 / 2020	3.0	94.5	223.6	57.5	8.5	28.5	9.1	0.1	1.0	0.0	0.0	0.0	425.8

PRECIPITACIONES MENSUALES (mm)
ESTADÍSTICAS RELLENADAS Y CORREGIDAS

Estación: MONTE OSCURO

Año	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	Anual
1994 / 1995	153.2	178.4	355.0	457.0	53.0	134.0	53.0	1.0	21.0	0.0	0.0	0.0	1405.6
1995 / 1996	216.0	48.0	422.0	425.0	255.6	70.0	61.0	0.0	0.0	0.0	0.0	34.0	1531.6
1996 / 1997	51.0	48.0	195.0	102.0	359.0	9.0	22.0	17.0	6.0	0.0	31.0	6.0	846.0
1997 / 1998	175.0	282.0	824.0	166.0	250.0	335.5	256.6	80.0	9.0	0.0	0.0	1.0	2379.1
1998 / 1999	115.0	62.0	88.0	0.0	23.0	89.0	0.0	0.0	5.0	0.0	4.0	22.0	408.0
1999 / 2000	29.0	88.8	405.0	117.0	356.0	271.2	30.0	0.0	0.0	0.0	118.0	0.0	1415.0
2000 / 2001	36.0	56.0	1072.0	119.0	27.0	363.0	8.0	20.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1701.0
2001 / 2002	59.0	347.0	111.0	671.5	376.5	53.0	13.0	5.8	0.0	0.0	14.0	201.0	1851.8
2002 / 2003	63.0	395.0	275.0	246.0	747.0	146.0	101.0	24.0	23.0	62.0	0.0	0.0	2082.0
2003 / 2004	4.0	168.0	359.0	159.0	32.0	133.0	96.0	76.0	14.0	0.0	0.0	66.0	1107.0
2004 / 2005	144.0	44.0	208.0	199.0	134.0	169.0	90.0	50.0	6.0	0.0	0.0	17.0	1061.0
2005 / 2006	7.0	549.0	583.0	242.0	534.0	48.0	34.0	56.0	20.0	0.0	5.0	0.0	2078.0
2006 / 2007	86.0	109.0	399.0	436.0	311.0	106.0	131.0	2.0	21.0	0.0	40.0	12.0	1653.0
2007 / 2008	3.0	46.0	164.0	252.0	183.0	14.0	16.0	6.0	0.0	0.0	0.0	13.0	697.0
2008 / 2009	57.0	484.0	214.0	287.0	314.0	31.0	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1389.0
2009 / 2010	0.0	211.0	259.0	178.0	260.0	207.0	95.0	31.0	0.0	3.0	0.0	3.0	1247.0
2010 / 2011	8.0	96.0	309.0	243.0	144.0	21.0	39.0	30.0	22.0	25.0	0.0	24.0	961.0
2011 / 2012	171.0	8.0	191.0	220.0	318.0	55.0	6.0	23.0	0.0	2.0	5.0	0.0	999.0
2012 / 2013	6.0	238.0	315.0	23.0	131.0	9.6	115.0	13.0	179.0	0.0	3.0	0.5	1033.1
2013 / 2014	5.0	194.5	97.0	226.0	128.0	56.0	37.0	0.0	0.0	0.0	0.0	26.0	769.5
2014 / 2015	26.0	231.5	323.0	119.2	249.0	104.0	0.0	55.0	25.0	0.0	0.0	4.0	1136.7
2015 / 2016	15.8	28.0	55.9	338.4	373.0	132.4	170.0	8.0	0.0	17.0	0.0	0.0	1138.5
2016 / 2017	306.2	70.0	23.0	346.0	21.0	40.8	90.5	13.3	4.8	1.0	0.0	1.4	918.0
2017 / 2018	68.0	153.0	350.0	119.0	240.0	64.0	19.0	49.0	0.0	0.0	0.0	44.6	1106.6
2018 / 2019	17.2	24.9	161.9	195.7	126.4	183.2	89.4	20.4	0.0	0.0	0.0	3.0	822.0
2019 / 2020	0.0	106.0	244.0	63.0	12.0	56.0	17.0	0.0	1.7	0.0	0.0	0.0	499.7

PRECIPITACIONES MENSUALES (mm)
ESTADÍSTICAS RELLENADAS Y CORREGIDAS

Estación: POTRERO GRANDE

Año	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	Anual
1982 / 1983	23.6	287.1	740.9	330.2	203.0	300.5	152.1	8.5	3.0	13.9	2.0	0.0	2064.8
1983 / 1984	27.3	118.4	301.7	210.1	137.1	66.7	7.0	0.0	2.0	0.0	0.0	7.2	877.5
1984 / 1985	23.0	304.5	191.5	527.5	126.7	134.2	92.8	15.1	0.0	0.0	0.0	26.0	1441.3
1985 / 1986	59.0	257.6	63.6	237.0	10.0	76.0	147.0	1.7	0.0	1.3	1.0	20.0	874.2
1986 / 1987	116.0	256.5	412.6	66.5	170.5	33.0	25.5	92.2	0.0	0.0	0.0	17.7	1190.5
1987 / 1988	20.5	80.4	45.7	530.5	208.5	130.2	79.6	0.5	0.0	0.0	0.0	39.5	1135.4
1988 / 1989	12.8	34.8	236.4	152.7	227.6	37.3	14.0	10.5	0.0	1.2	0.0	9.3	736.6
1989 / 1990	8.0	44.3	136.8	197.0	259.9	42.4	30.0	6.6	9.9	5.5	0.3	75.4	816.1
1990 / 1991	51.0	46.8	54.2	122.7	68.6	154.8	62.3	33.0	0.0	4.2	0.0	0.0	597.6
1991 / 1992	63.9	370.2	242.0	298.4	32.4	103.7	93.7	24.7	80.3	0.0	0.0	28.7	1338.0
1992 / 1993	106.6	521.2	434.7	116.3	100.6	58.6	12.9	8.5	0.2	4.1	0.0	0.0	1363.7
1993 / 1994	59.0	328.2	267.2	150.1	81.7	12.5	29.5	26.7	21.6	0.0	0.0	0.0	976.5
1994 / 1995	153.2	146.6	193.7	242.9	40.2	66.3	42.7	2.5	16.4	0.0	0.0	0.0	904.5
1995 / 1996	127.2	34.9	341.5	293.7	204.3	33.4	42.8	0.0	0.0	0.0	0.0	18.9	1096.7
1996 / 1997	73.5	54.9	162.2	72.0	171.2	2.9	4.9	17.1	4.0	0.2	22.7	0.0	585.6
1997 / 1998	113.3	156.5	517.0	225.4	165.4	211.5	246.4	33.7	5.4	0.0	0.0	1.2	1675.8
1998 / 1999	88.3	50.8	46.4	0.0	18.4	76.5	0.0	0.0	5.2	0.0	2.0	23.7	311.3
1999 / 2000	21.4	88.8	237.8	98.0	282.3	273.8	19.0	0.0	1.5	0.0	76.5	0.0	1099.1
2000 / 2001	15.3	47.3	812.0	75.7	38.7	268.6	8.2	29.7	0.0	6.9	0.0	0.0	1302.4
2001 / 2002	66.5	261.3	77.1	555.3	287.0	18.5	6.2	7.5	0.0	0.0	17.0	233.8	1530.2
2002 / 2003	44.6	337.3	219.9	201.0	558.4	117.7	74.7	19.7	15.0	38.2	0.0	0.0	1626.5
2003 / 2004	4.8	122.5	217.6	84.9	37.8	91.3	62.5	86.3	11.0	0.0	0.0	46.0	764.7
2004 / 2005	170.5	33.0	174.7	211.2	105.5	147.0	64.2	35.2	10.0	1.5	0.7	17.5	971.0
2005 / 2006	4.5	411.6	467.2	177.0	417.0	49.0	26.5	87.0	8.6	0.0	3.0	0.0	1651.4
2006 / 2007	60.5	86.0	385.5	350.0	227.5	84.3	107.0	0.5	31.0	2.5	40.5	10.3	1385.6
2007 / 2008	7.5	39.5	158.5	190.0	164.9	17.0	17.9	2.5	0.0	0.0	0.0	8.0	605.8
2008 / 2009	43.0	401.2	219.0	244.6	234.0	40.0	2.2	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	1184.3
2009 / 2010	0.0	185.0	246.5	204.5	190.1	102.7	60.9	21.0	0.0	6.5	0.0	0.0	1017.2
2010 / 2011	1.5	72.3	234.5	168.3	102.0	11.0	33.0	21.0	17.0	22.0	0.0	25.5	708.1
2011 / 2012	101.0	22.0	141.4	157.5	250.2	29.3	9.0	18.5	0.0	0.0	5.2	0.0	734.1
2012 / 2013	5.7	125.6	218.5	33.5	100.2	11.7	124.0	19.0	154.5	0.0	22.0	0.0	814.7
2013 / 2014	0.0	151.0	77.7	182.5	96.0	45.5	14.4	0.0	0.0	0.0	0.0	26.5	593.6
2014 / 2015	14.5	188.0	268.0	117.9	181.0	114.4	2.8	31.0	22.0	0.0	0.0	0.3	939.9
2015 / 2016	19.0	32.5	60.0	223.5	271.5	103.5	117.0	2.2	0.0	10.0	0.0	1.5	840.7
2016 / 2017	237.0	54.4	18.2	179.2	17.0	29.0	73.9	8.9	3.4	12.0	0.0	1.3	634.4
2017 / 2018	56.8	98.8	296.6	87.5	152.5	49.3	60.5	5.2	0.0	0.0	0.0	39.7	846.9
2018 / 2019	13.3	21.9	130.1	151.9	90.0	146.9	72.9	14.8	0.0	0.0	0.0	1.0	642.6
2019 / 2020	4.5	125.7	136.0	42.5	17.0	49.2	10.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	385.4

PRECIPITACIONES MENSUALES (mm)
ESTADÍSTICAS RELLENADAS Y CORREGIDAS

Estación: RÍO TENO DESPUÉS DE JUNTA CON CLARO

Año	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	Anual
1999 / 2000	27.8	77.8	310.5	55.3	275.3	301.5	36.6	4.5	2.0	0.0	103.8	0.0	1195.1
2000 / 2001	22.6	28.1	854.4	133.2	37.0	379.5	5.0	10.0	0.0	1.0	0.0	0.3	1471.1
2001 / 2002	50.0	350.5	67.0	540.0	297.7	23.8	13.5	7.7	0.0	0.0	0.8	73.7	1424.7
2002 / 2003	63.5	347.3	222.2	191.1	626.0	137.0	62.8	26.7	3.5	91.3	0.0	0.0	1771.4
2003 / 2004	2.0	124.3	346.1	149.3	37.0	128.6	40.9	48.3	2.9	0.0	0.3	66.4	946.1
2004 / 2005	125.6	32.8	220.0	246.2	129.8	147.9	88.2	52.3	8.4	14.7	0.0	28.6	1094.5
2005 / 2006	12.7	482.9	563.7	209.6	440.8	47.9	68.0	63.4	14.5	0.0	1.4	0.8	1905.7
2006 / 2007	54.4	108.2	343.8	423.8	265.1	89.9	145.7	0.6	28.2	0.0	36.1	9.4	1505.2
2007 / 2008	0.6	0.5	165.5	228.8	185.7	8.6	22.9	19.0	0.0	0.0	0.6	19.8	652.0
2008 / 2009	52.9	465.9	208.5	208.5	330.8	45.9	2.3	0.0	0.3	0.8	2.6	0.0	1318.5
2009 / 2010	0.0	169.9	207.1	85.4	250.6	176.7	92.4	26.8	0.3	1.3	0.0	0.0	1010.5
2010 / 2011	8.8	64.6	295.3	172.8	46.4	20.3	41.3	21.8	12.3	16.3	14.4	25.1	739.4
2011 / 2012	132.4	1.0	124.2	237.6	238.3	71.9	11.1	25.0	6.2	1.3	4.7	0.0	853.7
2012 / 2013	11.1	203.0	354.2	26.8	124.0	4.0	107.1	2.3	206.5	1.3	5.2	1.9	1047.4
2013 / 2014	0.3	148.4	76.4	123.2	130.7	45.8	18.5	0.0	0.0	0.3	0.0	23.8	567.4
2014 / 2015	4.8	52.5	196.5	129.4	190.0	128.7	9.9	46.9	26.3	0.0	2.4	18.8	806.2
2015 / 2016	1.1	20.1	118.7	262.4	313.6	121.6	143.7	1.1	0.0	17.3	0.0	0.0	999.6
2016 / 2017	277.7	77.1	27.4	226.2	25.0	31.7	86.2	11.8	3.4	0.0	0.0	6.3	772.7
2017 / 2018	59.1	132.3	229.3	95.3	147.1	74.8	69.8	36.7	0.0	0.0	0.0	28.8	873.2
2018 / 2019	10.6	4.3	132.8	160.8	102.2	177.3	85.1	18.0	0.0	0.0	0.0	0.6	691.8
2019 / 2020	1.6	77.4	14.3	43.7	6.9	40.3	9.7	0.0	1.8	0.0	0.0	0.0	195.7

PRECIPITACIONES MENSUALES (mm)
ESTADÍSTICAS RELLENADAS Y CORREGIDAS

Estación: FUNDO EL RADAL

Año	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	Anual
1992 / 1993	143.1	510.0	504.2	114.8	127.9	105.4	56.2	16.8	0.0	0.0	0.0	0.0	1578.4
1993 / 1994	117.7	518.8	555.3	244.1	60.9	163.3	69.5	63.8	51.7	0.0	0.0	5.2	1850.3
1994 / 1995	212.0	199.7	505.6	638.8	66.4	129.8	58.7	0.0	38.0	0.0	6.0	0.0	1855.0
1995 / 1996	302.3	1.2	580.9	609.9	246.2	116.2	88.2	0.0	0.0	2.2	15.0	25.5	1987.6
1996 / 1997	70.3	139.0	357.8	108.2	361.3	11.0	28.9	35.5	0.0	8.6	25.5	5.5	1151.6
1997 / 1998	227.4	387.6	857.5	340.0	232.1	388.2	402.3	14.8	2.6	0.0	3.0	0.0	2855.5
1998 / 1999	137.5	64.9	111.8	0.0	46.0	105.4	0.0	0.0	5.4	0.0	17.1	31.0	519.1
1999 / 2000	43.2	119.6	472.6	137.8	420.6	408.7	2.8	0.0	0.0	0.0	126.6	0.0	1731.9
2000 / 2001	53.6	124.7	1331.6	156.3	56.2	417.1	14.8	55.7	0.0	62.8	0.0	0.0	2272.8
2001 / 2002	131.8	435.1	225.0	836.1	393.3	43.0	8.9	14.4	0.0	0.0	45.0	416.5	2549.1
2002 / 2003	81.5	475.5	413.1	309.6	763.4	203.5	142.8	26.1	23.0	89.9	0.0	0.0	2528.4
2003 / 2004	8.6	153.1	429.1	221.2	58.9	170.8	150.8	110.2	23.1	0.0	3.4	32.7	1361.9
2004 / 2005	347.7	45.0	327.8	329.3	133.6	285.3	137.2	61.6	25.0	5.4	0.0	17.4	1715.3
2005 / 2006	0.0	723.3	755.4	350.9	616.6	72.3	52.5	89.2	30.8	0.0	15.4	0.0	2706.4
2006 / 2007	78.3	162.9	575.8	496.6	446.7	135.4	201.8	0.0	24.6	0.0	43.4	27.2	2192.7
2007 / 2008	8.4	57.1	227.5	366.0	189.0	49.2	39.5	4.1	0.0	0.0	0.0	11.9	952.7
2008 / 2009	104.7	577.5	306.8	394.1	429.1	64.8	6.1	0.0	7.4	0.0	0.0	0.0	1890.5
2009 / 2010	0.0	353.9	315.2	413.1	296.8	202.0	109.5	43.7	0.0	14.1	0.0	0.0	1748.3
2010 / 2011	0.0	99.0	312.6	276.2	96.1	14.9	47.8	31.0	25.9	43.8	0.0	31.0	978.3
2011 / 2012	180.6	55.6	271.0	294.4	312.0	41.0	21.5	41.4	0.0	0.0	9.4	0.0	1226.9
2012 / 2013	17.2	227.8	299.2	93.1	165.0	4.2	177.6	16.0	182.6	0.0	42.0	0.0	1224.7
2013 / 2014	0.0	270.0	174.0	227.8	132.5	37.6	94.1	0.0	0.0	0.0	0.0	44.2	980.2
2014 / 2015	9.7	206.6	377.2	234.2	332.4	191.6	10.2	43.0	34.0	0.0	0.0	22.0	1460.9
2015 / 2016	37.0	56.0	133.0	335.5	702.9	203.6	178.6	3.0	0.0	14.8	0.0	0.0	1664.4
2016 / 2017	341.0	112.2	39.6	352.3	99.6	63.9	128.5	15.2	3.9	11.0	0.8	0.6	1168.7
2017 / 2018	126.6	168.1	500.2	169.7	241.8	36.5	95.9	10.8	0.0	1.1	0.0	66.9	1417.6
2018 / 2019	27.2	59.1	241.5	269.0	146.6	245.4	127.0	22.1	0.0	8.7	1.8	6.1	1154.5
2019 / 2020	5.0	293.3	240.1	116.7	54.7	113.2	10.1	2.0	1.9	0.0	0.0	0.0	837.0

PRECIPITACIONES MENSUALES (mm)
ESTADÍSTICAS RELLENADAS Y CORREGIDAS

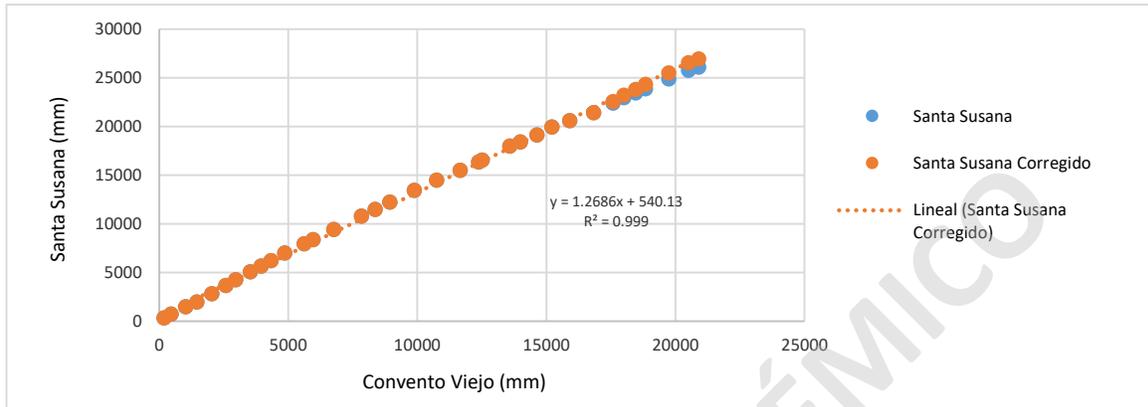
Estación: LA RUFINA

Año	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	Anual
1982 / 1983	15.0	270.0	718.2	480.0	213.0	256.5	95.5	8.0	0.0	15.0	3.0	0.0	2074.2
1983 / 1984	36.0	128.0	227.0	218.0	143.0	81.0	8.2	0.0	0.0	0.0	0.0	4.3	845.5
1984 / 1985	3.8	320.7	129.5	464.1	140.5	145.0	104.3	33.4	0.0	0.0	0.0	21.2	1362.5
1985 / 1986	23.0	192.7	53.4	206.2	14.1	56.3	113.1	0.0	0.0	0.0	0.0	17.0	675.8
1986 / 1987	113.5	385.3	414.4	35.3	220.6	12.2	36.4	70.1	0.0	0.0	0.0	5.2	1293.0
1987 / 1988	26.3	161.7	92.4	587.2	274.6	105.7	124.4	0.0	0.0	0.0	0.0	30.0	1402.3
1988 / 1989	18.0	17.7	164.7	148.9	249.2	55.3	5.1	28.3	0.0	0.0	0.0	2.1	689.3
1989 / 1990	20.2	74.6	63.4	175.7	367.4	32.2	20.2	4.1	13.1	0.0	0.0	100.3	871.2
1990 / 1991	35.3	62.1	39.2	142.2	114.2	123.7	43.1	44.1	0.0	0.0	0.0	0.0	603.9
1991 / 1992	62.0	218.7	279.6	273.5	33.0	125.2	50.0	3.1	103.2	0.0	0.0	12.1	1160.4
1992 / 1993	174.5	516.7	453.7	58.2	158.1	84.1	10.1	18.1	0.0	2.0	0.0	0.0	1475.5
1993 / 1994	121.1	360.3	460.1	220.0	67.1	47.0	35.0	38.0	56.0	0.0	0.0	0.0	1404.6
1994 / 1995	120.0	209.0	203.1	461.2	17.0	87.8	27.1	0.0	36.0	0.0	9.0	0.0	1170.2
1995 / 1996	180.1	22.0	360.1	242.0	122.2	48.0	44.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1018.4
1996 / 1997	67.1	37.0	219.2	79.1	232.2	16.0	24.1	5.0	9.0	0.3	0.0	15.1	704.1
1997 / 1998	98.0	272.1	638.8	155.2	258.4	267.0	218.0	54.2	10.0	0.0	0.0	0.0	1971.7
1998 / 1999	85.4	58.2	91.1	0.0	0.0	77.1	0.0	0.0	0.0	0.0	7.1	12.1	331.0
1999 / 2000	9.1	52.2	148.1	110.3	309.1	322.2	30.1	0.0	0.0	0.0	77.1	0.0	1058.2
2000 / 2001	9.0	28.0	875.5	118.0	19.1	278.5	5.0	16.0	0.0	2.0	0.0	5.0	1356.1
2001 / 2002	62.1	376.4	62.4	583.1	282.1	21.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	20.1	1407.3
2002 / 2003	23.0	276.1	272.1	237.0	574.1	144.0	56.0	14.0	0.0	64.0	0.0	0.0	1660.3
2003 / 2004	0.0	158.0	334.0	169.0	10.0	138.0	50.0	103.0	0.0	0.0	0.0	70.0	1032.0
2004 / 2005	116.0	22.0	189.0	191.0	80.0	146.0	52.0	72.0	0.0	0.0	0.0	20.0	888.0
2005 / 2006	6.0	281.0	472.0	162.0	377.0	13.0	19.0	48.0	7.0	0.0	0.0	0.0	1385.0
2006 / 2007	57.0	122.5	321.0	416.0	170.5	69.0	116.0	0.0	0.0	0.0	31.0	10.0	1313.0
2007 / 2008	0.0	29.0	142.0	149.0	103.6	0.0	5.0	19.0	0.0	0.0	0.0	23.0	470.6
2008 / 2009	62.0	411.5	199.0	167.0	359.0	41.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1239.5
2009 / 2010	0.0	122.0	220.0	49.5	227.1	213.0	90.9	17.0	0.0	0.0	0.0	0.0	939.5
2010 / 2011	0.0	74.0	281.0	124.0	14.0	11.0	46.0	35.0	6.0	0.0	0.0	27.0	618.0
2011 / 2012	145.0	0.0	141.0	141.0	143.0	33.9	11.0	18.0	0.0	0.0	8.0	0.0	640.9
2012 / 2013	11.0	161.0	398.0	10.0	82.0	0.0	98.0	0.0	123.0	0.0	0.0	0.0	883.0
2013 / 2014	0.0	236.0	75.0	55.0	80.0	40.0	10.0	0.0	0.0	13.0	0.0	24.0	533.0
2014 / 2015	23.0	93.1	163.0	80.0	152.0	101.0	15.0	28.0	17.0	0.0	0.0	18.0	690.1
2015 / 2016	0.0	10.6	72.0	237.0	308.0	43.8	149.0	5.0	0.0	16.0	0.0	0.0	841.4
2016 / 2017	300.0	67.0	46.0	181.0	23.0	17.1	72.0	6.0	2.0	0.0	0.0	3.9	718.0
2017 / 2018	73.0	116.0	237.0	67.0	133.2	43.0	77.0	53.0	0.0	0.0	0.0	28.0	827.2
2018 / 2019	1.8	6.9	122.0	139.0	78.0	167.0	71.0	15.0	0.0	0.0	0.0	0.0	600.7
2019 / 2020	4.0	76.0	119.0	52.0	0.0	31.0	5.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	287.0

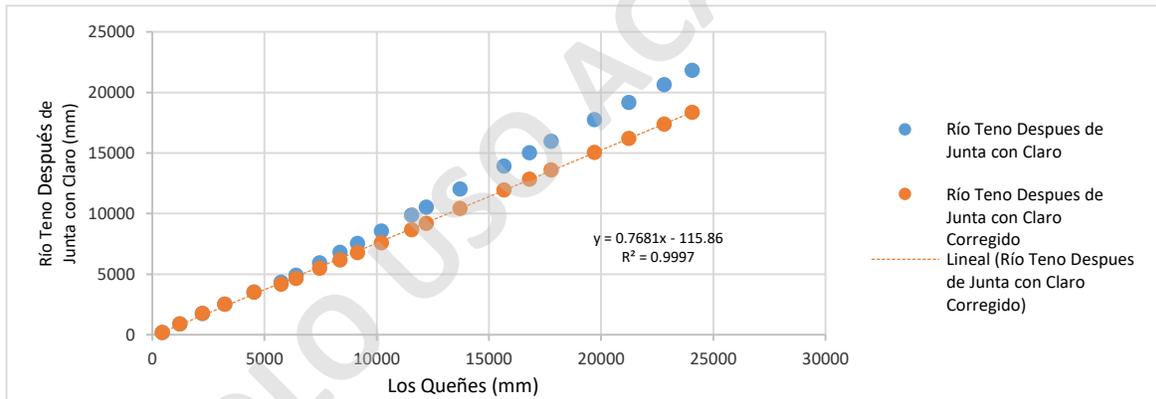
ANEXO 3.1-2

CURVAS DOBLE ACUMULADAS PRECIPITACIONES ANUALES (mm)

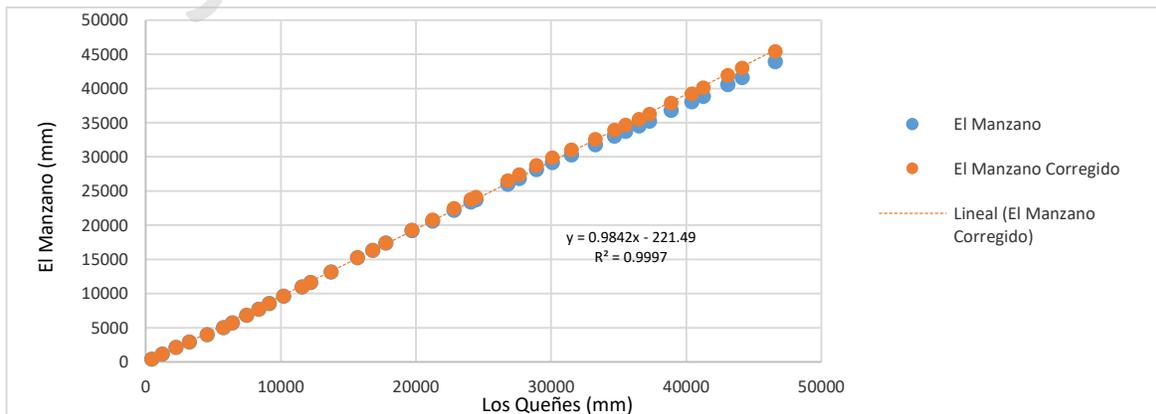
Estación: SANTA SUSANA



Estación: RÍO TENO DESPUÉS DE JUNTA CON CLARO



Estación: EL MANZANO



ANEXO 3.1-3

CALCULO DE LA PRECIPITACIÓN MEDIA CON EL MÉTODO DE LAS ISOYETAS

PERIODO 1982 – 2007

Sector	Valor Isoyetas		Promedio Isoyeta	Área km ²	A*Prom
	MIN	MAX			
1	481	608	545	300	163,618
2	608	780	694	482	334,784
3	780	951	865	245	212,100
4	951	1,122	1,036	181	187,845
5	1,122	1,293	1,208	250	302,473
6	1,293	1,464	1,379	715	985,316
7	1,464	1,636	1,550	640	991,310
8	1,636	1,807	1,721	513	882,132
9	1,807	1,978	1,892	330	623,746
10	1,978	2,149	2,064	429	885,843
11	2,149	2,320	2,235	456	1,019,847
12	2,320	2,413	2,367	107	252,602
Total				4648	6841617
Precipitación Media Anual					1472

PERIODO 2008 - 2020

Sector	Valor Isoyetas		Promedio Isoyeta	Area km2	A*Prom
	MIN	MAX			
1	275	325	300	61	18,386
2	325	451	388	370	143,493
3	451	577	514	372	191,045
4	577	703	640	258	165,029
5	703	829	766	381	291,988
6	829	955	892	665	593,518
7	955	1,082	1,019	564	574,374
8	1,082	1,208	1,145	586	670,895
9	1,208	1,334	1,271	417	529,540
10	1,334	1,460	1,397	412	576,061
11	1,460	1,586	1,523	448	682,884
12	1,586	1,678	1,632	114	186,680
Total				4,648	4,623,893
Precipitación media (mm)					995

ANEXO 3.2 – MARCO GEOFÍSICO

La Figura 7-1 presenta la planta del perfil gravimétrico sobre una imagen topográfica. En él se observan los 6 perfiles realizados en la cuenca del río Mataquito.

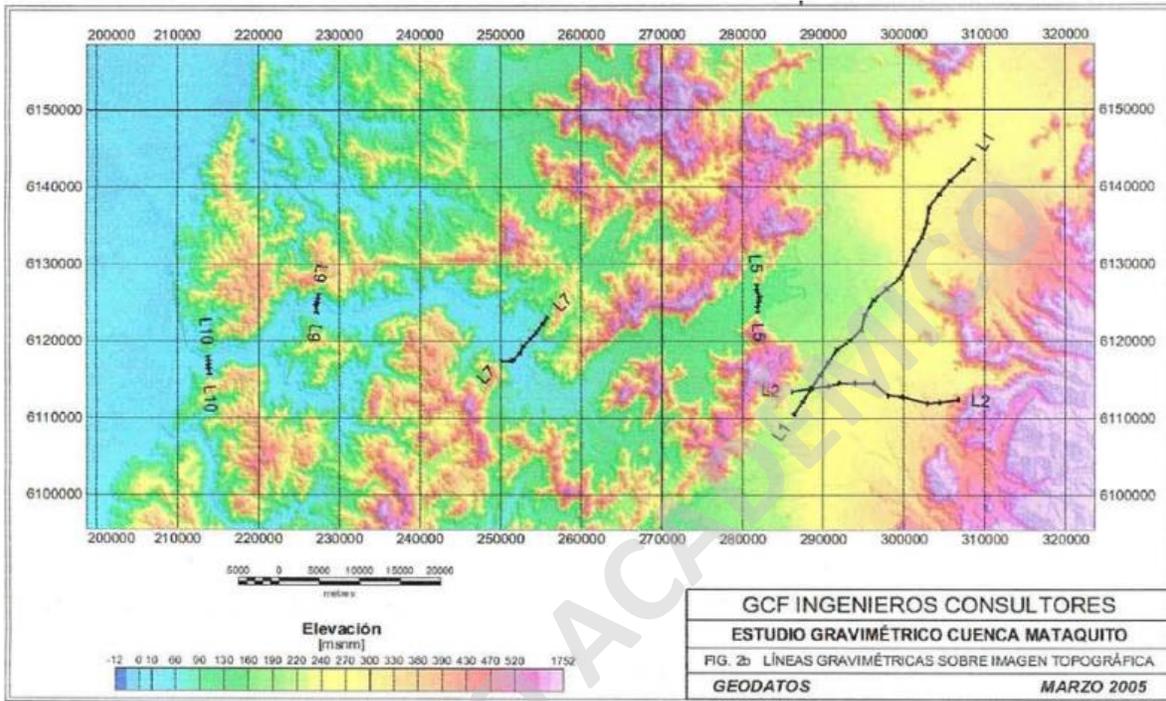


Figura 7-1: Perfiles Gravimétricos valle del Mataquito. Elaborado por GCF INGENIEROS CONSULTORES, 2005.

PROSPECCIÓN GEOFÍSICA

Información obtenida del levantamiento gravimétrico realizado por Aquaterra (2012), y CNR-GCF (2006).

Perfil 1					
Punto	Norte (m)	Este (m)	Cota Terreno (m)	Gravedad (mGal)	Profundidad Roca (m)
115	6,140,552	310,149	331.22	979,581.94	325
116	6,140,007	311,195	348.31	979,578.38	239
117	6,139,202	312,455	369.52	979,574.67	105
118	6,137,858	313,807	388.03	979,570.60	38
119	6,137,893	314,346	390.25	979,569.22	30

Perfil 2					
Punto	Norte (m)	Este (m)	Cota Terreno (m)	Gravedad (mGal)	Profundidad Roca (m)
1	6,145,792	301,094	299.3	979,607.06	0
2	6,145,419	301,704	277.9	979,310.03	72
3	6,144,882	302,557	273.5	979,608.26	148
4	6,144,259	303,545	272.1	979,605.52	220
5	6,143,358	304,973	279.5	979,599.59	349
6	6,141,727	305,415	290.4	979,596.84	406
7	6,141,381	306,819	305.6	979,590.39	439
8	6,140,708	307,998	320.9	979,585.50	458
9	6,139,305	309,263	338.9	979,582.73	348
10	6,137,664	310,392	355.3	979,579.87	277
11	6,136,415	311,744	374.4	979,575.19	239
12	6,135,570	312,561	385.8	979,572.46	220
13	6,135,089	313,139	393.9	979,570.04	200
14	6,133,860	314,683	421.4	979,565.22	72
15	6,132,575	316,044	438.5	979,559.18	129
16	6,131,330	317,492	464.4	979,549.36	258
17	6,130,300	319,103	482.4	979,545.30	167
18	6,129,409	320,667	505.7	979,538.13	181
19	6,129,818	321,206	523.8	979,535.66	57
20	6,128,642	322,166	514.4	979,537.80	0

Perfil 3					
Punto	Norte (m)	Este (m)	Cota Terreno (m)	Gravedad (mGal)	Profundidad Roca (m)
14	6,135,570	312,561	385.8	979,572.46	220
21	6,134,189	312,030	386.4	979,570.46	263
22	6,134,115	310,732	367.4	979,575.72	263
23	6,134,056	310,229	363.4	979,578.05	263
24	6,132,940	310,172	377.9	979,574.59	239
25	6,132,069	309,986	378.6	979,573.92	210
26	6,130,673	309,858	348.9	979,578.20	167
27	6,129,194	309,763	341.2	979,578.65	181
28	6,129,226	308,652	328.9	979,583.49	183
29	6,127,665	308,933	327.8	979,584.22	91
30	6,126,251	308,845	337.3	979,581.33	0

Perfil 4					
Punto	Norte (m)	Este (m)	Cota Terreno (m)	Gravedad (mGal)	Profundidad Roca (m)
31	6,144,462	299,492	287.3	979,614.76	0
32	6,143,425	299,759	262.8	979,617.88	239
33	6,141,981	300,094	257.7	979,617.54	477
34	6,140,371	299,715	254.0	979,620.46	573
35	6,139,679	298,401	252.5	979,623.70	525
36	6,139,087	296,404	249.8	979,630.29	320
37	6,139,259	294,946	239.7	979,630.50	387

38	6,139,270	293,047	230.2	979,632.60	387
39	6,137,517	292,441	222.7	979,639.04	377
40	6,136,969	292,238	217.8	979,641.65	353
41	6,136,788	291,121	216.9	979,645.18	229
42	6,137,012	290,131	211.0	979,650.51	0

Perfil 5					
Punto	Norte (m)	Este (m)	Cota Terreno (m)	Gravedad (mGal)	Profundidad Roca (m)
43	6,133,386	287,995	186.3	979,654.45	0
44	6,132,477	289,567	191.5	979,653.60	115
45	6,132,153	291,313	200.5	979,648.27	115
46	6,131,407	293,123	206.1	979,645.05	38
47	6,129,795	294,075	203.0	979,642.26	134
48	6,128,022	294,767	203.6	979,643.09	38
49	6,126,686	294,873	203.9	979,643.27	57
50	6,126,504	296,115	213.5	979,638.67	0
51	6,124,634	296,106	205.6	979,635.03	325
52	6,124,081	297,044	212.3	979,629.88	363
53	6,122,638	298,370	225.7	979,622.70	400
54	6,121,592	299,774	238.3	979,620.66	191
55	6,120,888	301,285	250.6	979,615.42	95
56	6,121,243	302,167	260.8	979,612.19	0

Perfil 6					
Punto	Norte (m)	Este (m)	Cota Terreno (m)	Gravedad (mGal)	Profundidad Roca (m)
57	6,119,351	304,983	271.97	979,610.98	0
58	6,118,578	303,789	272.24	979,609.72	153
59	6,117,482	302,525	280.59	979,608.83	243
60	6,117,174	301,117	277.77	979,610.61	229
61	6,115,927	300,297	285.55	979,611.00	243
62	6,115,122	299,767	289.70	979,610.71	291
63	6,114,424	299,130	288.04	979,612.39	282
64	6,111,337	299,763	311.13	979,610.22	439
65	6,107,683	299,241	324.03	979,611.16	305
66	6,106,083	298,421	315.41	979,615.75	205
67	6,104,463	297,486	298.87	979,621.17	150
68	6,102,817	298,744	309.41	979,617.63	229

Perfil 6-A					
Punto	Norte (m)	Este (m)	Cota Terreno (m)	Gravedad (mGal)	Profundidad Roca (m)
59	6,117,482	302,525	280.59	979,608.83	243
69	6,118,638	301,891	269.41	979,610.94	177
70	6,119,949	301,861	271.40	979,611.54	0
71	6,120,394	300,836	251.39	979,615.57	162
72	6,121,219	300,150	241.25	979,618.45	215
73	6,122,330	301,166	238.97	979,616.54	215
74	6,122,973	302,290	241.42	979,615.15	115

Perfil 7					
Punto	Norte (m)	Este (m)	Cota Terreno (m)	Gravedad (mGal)	Profundidad Roca (m)
75	6,123,612	281,811	149.97	979,673.81	0
76	6,124,327	282,395	153.76	979,670.09	100
77	6,124,799	284,197	158.90	979,666.83	100
78	6,125,116	285,719	159.80	979,666.04	38
79	6,124,968	285,923	163.11	979,665.03	38
80	6,125,257	286,521	163.83	979,663.99	38
81	6,124,090	287,705	173.92	979,659.74	119
82	6,122,964	289,090	182.16	979,655.28	220
83	6,121,390	289,956	193.59	979,654.80	157
84	6,120,162	290,719	201.58	979,650.97	200
85	6,118,913	292,082	215.25	979,644.83	277
86	6,118,083	293,326	225.69	979,638.76	358
87	6,116,993	294,346	237.70	979,632.75	458
88	6,115,435	293,643	242.35	979,631.66	505
89	6,115,655	294,972	250.81	979,627.43	558
90	6,114,149	296,098	267.49	979,621.14	616
91	6,112,867	297,564	284.12	979,616.10	597
92	6,111,929	298,027	296.52	979,613.69	558
64	6,111,337	299,763	311.13	979,610.22	439
93	6,109,986	300,810	328.28	979,607.46	339
94	6,109,342	300,324	332.84	979,606.33	396
95	6,108,019	301,334	348.01	979,604.16	300
96	6,106,888	302,235	365.20	979,601.36	200
97	6,106,217	302,735	371.10	979,601.08	138
98	6,105,924	303,604	387.07	979,599.05	0

Perfil 8					
Punto	Norte (m)	Este (m)	Cota Terreno (m)	Gravedad (mGal)	Profundidad Roca (m)
99	6,129,183	305,862	300.34	979,600.26	0
100	6,129,031	303,942	280.31	979,608.21	15
101	6,128,973	302,493	264.50	979,614.10	30
102	6,128,818	301,108	254.82	979,617.62	90
103	6,128,295	299,851	243.50	979,620.78	190
104	6,127,480	298,901	232.22	979,624.05	260
105	6,127,306	297,983	225.48	979,628.10	221
106	6,127,336	296,887	222.40	979,635.30	0

Perfil 9					
Punto	Norte (m)	Este (m)	Cota Terreno (m)	Gravedad (mGal)	Profundidad Roca (m)
107	6,137,929	308,593	352.69	979,581.88	260
108	6,136,321	308,100	347.76	979,584.16	220

109	6,136,398	306,526	335.63	979,589.98	220
110	6,134,126	307,471	346.66	979,587.56	86
111	6,133,725	307,279	344.79	979,588.22	86
112	6,132,329	306,540	336.00	979,591.59	29
113	6,130,899	306,037	304.39	979,598.25	62
114	6,128,544	305,704	275.80	979,604.47	0

Perfil 10					
Punto	Norte (m)	Este (m)	Cota Terreno (m)	Gravedad (mGal)	Profundidad Roca (m)
120	6,139,729	298,564	252.47	979,623.13	525
121	6,138,304	299,433	263.98	979,618.99	611
122	6,137,131	299,626	266.68	979,618.39	620
123	6,136,797	299,311	267.42	979,618.88	606
124	6,136,074	299,358	265.62	979,619.36	592
125	6,134,286	298,976	246.40	979,623.69	601
126	6,132,751	297,784	231.52	979,628.46	539
127	6,133,332	296,926	233.51	979,630.00	444
128	6,133,743	295,651	230.76	979,633.55	272
129	6,132,748	295,746	224.17	979,635.16	300
130	6,132,411	294,335	216.07	979,642.03	57

Perfil 11					
Punto	Norte (m)	Este (m)	Cota Terreno (m)	Gravedad (mGal)	Profundidad Roca (m)
131	6,121,278	300,084	238.06	979,618.89	215
132	6,119,675	299,183	243.58	979,617.90	396
133	6,118,248	298,523	254.11	979,616.98	477
134	6,118,418	297,514	242.94	979,621.56	492
135	6,117,931	295,844	237.23	979,627.01	515
136	6,118,181	296,332	234.62	979,625.66	530

En la Figura 7-2 se muestra el trazado en planta de los 12 perfiles, incluyendo la ubicación e identificación de cada uno de los puntos gravimétricos medido. Los resultados de la campaña de gravimetría permiten construir la Figura 5.1 del Capítulo 5 de Geofísica.

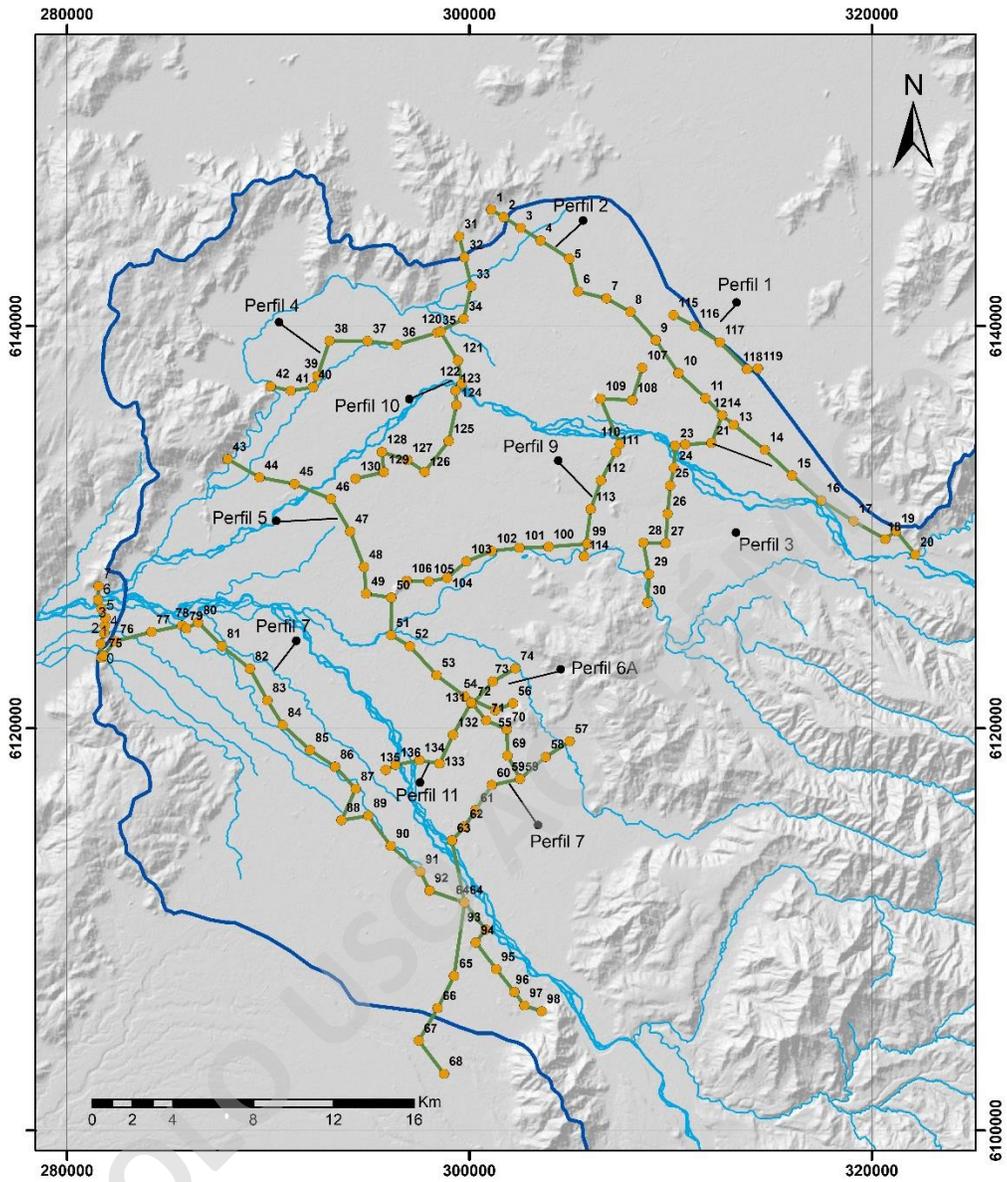


Figura 7-2: Planta perfiles gravimétricos. Fuente: Elaboración propia.

ANEXO 3.3 – MARCO HIDROGEOLÓGICO

ANEXO 3.3-1

ESTRATIGRAFÍA CUATERNARIA

Tablas con pozos catastrados utilizados para la elaboración de perfiles geológicos e hidrogeológicos.

Perfil A-A'				Perfil B-B'			
N° Expediente	Desde (m)	Hasta (m)	Litología	N° Expediente	Desde (m)	Hasta (m)	Litología
1395	0	10	Grava	747	0	1	Arena arcillosa
1395	10	50	Grava	747	1	4	Arena gravosa
1395	50	70	Grava	747	4	7	Arena arcillosa
1395	70	97	Grava	747	7	8	Arena arcillosa
969	0	118	Grava	747	8	9	Arena arcillosa
981	0	4	Suelo orgánico	747	9	15	Arena arcillosa
981	4	16	Grava	747	15	18	Arena arcillosa
981	16	17	Arena	747	18	27	Arena arcillosa
981	17	23	Grava	747	27	30	Grava arcillosa
981	23	31	Arena	747	30	38	Grava arcillosa
981	31	51	Grava arcillosa	747	38	41	Grava arcillosa
981	51	66	Grava arcillosa	747	41	42	Grava arcillosa
981	66	74	Arena gravosa	747	42	49.5	Grava arcillosa
981	74	80	Arena arcillosa	747	49.5	55	Arena arcillosa
4342	0	3	Suelo orgánico	747	55	59	Arena arcillosa
4342	3	19	Grava arcillosa	747	59	61	Grava arcillosa
4342	19	39	Grava	747	61	63.5	Grava arcillosa
4342	39	52	Arena gravosa	747	63.5	69	Arena arcillosa
1531	0	42	Grava	747	69	85	Arena arcillosa
1531	42	60	Grava	1428	0	2	Suelo orgánico
1531	60	82	Grava	1428	2	8	Grava arcillosa
1531	82	91	Arena gravosa	1428	8	12	Grava arcillosa
4086	0	4	Arena arcillosa	1428	12	13	Grava
4086	4	20	Grava arcillosa	1428	13	20	Arena arcillosa
4086	20	30	Grava arcillosa	1428	20	25	Arena arcillosa
4086	30	51	Grava arcillosa	1428	25	48	Grava arcillosa
976	0	7	Grava arcillosa	1428	48	57	Arena
976	7	13	Grava arcillosa	1428	57	60	Arena
976	13	19	Grava arcillosa	761	0	1	Suelo orgánico
976	19	25	Arena arcillosa	761	1	9	Arena limosa
976	25	31	Arena gravosa	761	9	18	Grava
976	31	37	Grava	761	18	24	Arena gravosa
976	37	43	Grava	761	24	34	Arena gravosa
976	43	50	Grava	761	34	53	Arena gravosa
976	50	55	Grava	761	53	68	Grava
976	55	61	Grava	761	68	80	Arena gravosa
976	61	67	Grava	750	0	1	Suelo orgánico
976	67	74	Arcilla	750	1	14	Arena gravosa
983	0	7	Grava	750	14	20	Arena gravosa
983	7	13	Arena gravosa	750	20	25	Arena gravosa
983	13	19	Grava	750	25	29	Arena gravosa
983	19	25	Grava	750	29	40	Arena arcillosa
983	25	31	Grava	750	40	50	Arena arcillosa
983	31	37	Grava	1458	0	0.3	Suelo orgánico
983	37	43	Arena gravosa	1458	0.3	25	Grava
983	43	49	Grava	1458	25	27	Grava
983	49	55	Grava	1458	27	33	Arena gravosa
983	55	61	Grava	1458	33	38	Arena arcillosa
983	61	67	Grava	1458	38	41	Grava
758	0	20	Grava	1458	41	45	Grava
758	20	50	Grava	1458	45	47	Arena arcillosa
1309	0	24	Grava	1458	47	50	Grava
1309	24	27	Grava	850	0	1	Suelo orgánico
1309	27	30	Grava	850	1	14	Arena arcillosa
1309	30	36	Grava	850	14	19	Arena gravosa
1309	36	48	Grava	850	19	21	Arena arcillosa
1309	48	51	Grava	850	21	26	Arcilla
1309	51	54	Grava	850	26	31	Arcilla

1309	54	57	Arena gravosa	850	31	45	Grava arcillosa
1309	57	60	Arena	850	45	50	Arena
1309	60	63	Grava	1307	0	1	Suelo orgánico
1309	63	72	Arena gravosa	1307	1	20	Grava
				1307	20	26	Arena
				1307	26	29	Arena arcillosa
				1307	29	35	Grava
Perfil C-C'				1307	35	46	Grava
N° Expediente	Desde (m)	Hasta (m)	Litología	1307	46	55	Arena arcillosa
1134	0	8	Grava	1307	55	60	Arena
1134	8	18.4	Grava	1307	60	71	Arena
1134	18.4	30.5	Grava	1307	71	80	Arena gravosa
1134	30.5	35.7	Grava	1307	80	90	Arena gravosa
1134	35.7	48.9	Grava	1307	90	102.5	Arena gravosa
1134	48.9	55	Grava	1445	0	7	Grava
1134	55	70	Grava	1445	7	13	Grava
1160	0	10	Grava	1445	13	19	Grava
1160	10	20	Grava arcillosa	1445	19	25	Grava
1160	20	50	Grava	1445	25	31	Grava
4887	0	2	Suelo orgánico	1445	31	37	Grava
4887	2	22	Grava arcillosa	1445	37	43	Grava
4887	22	45	Grava	1445	43	50	Grava
4887	45	66	Arena gravosa	916	0	2	Grava
1301	0	2	Suelo orgánico	916	2	26	Grava
1301	2	30	Grava	916	26	28	Grava
1301	30	32	Grava	916	28	38	Grava
1301	32	38	Grava	916	38	44	Arena gravosa
1315	0	1	Suelo orgánico	4362	0	4	Suelo orgánico
1315	1	40	Grava	4362	4	15	Grava arcillosa
126	0	1	Suelo orgánico	4362	15	31	Grava
126	1	18	Grava arcillosa	4362	31	42	Arena gravosa
126	18	33	Grava	4192	0	1	Suelo orgánico
126	33	54	Arena gravosa	4192	1	10	Grava
1314	0	0.8	Suelo orgánico	4192	10	30	Grava
1314	0.8	8	Grava	4192	30	42	Grava
1314	8	23	Grava	4034	0	1	Arcilla
1314	23	25	Arena	4034	1	10	Arcilla
1314	25	30	Arena gravosa	4034	10	61	Grava arcillosa
1314	30	35	Arena	4467	0	4	Suelo orgánico
1314	35	42	Arena gravosa	4467	4	44	Grava
1314	42	46	Arena gravosa	975	0	1	Suelo orgánico
1314	46	60	Arena gravosa	975	1	15	Grava
1314	60	68	Arena gravosa	975	15	18	Arena
1314	68	70	Arena	975	18	48	Grava
4737	0	2	Suelo orgánico	975	48	60	Arena
4737	2	10	Arena	1261	0	18	Grava
4737	10	25	Grava arcillosa	1261	18	23	Arena arcillosa
4737	25	50	Grava	1261	23	32	Grava
4696	0	2	Suelo orgánico	1261	32	38	Grava
4696	2	10	Arena	1261	38	43	Grava
4696	10	27	Grava arcillosa	1261	43	50	Grava
4696	27	42	Grava	1261	50	53.5	Arcilla
1380	0	7	Grava	1261	53.5	59	Arena arcillosa
1380	7	13	Grava arcillosa	1261	59	68	Grava
1380	13	15.5	Grava arcillosa	1261	68	80	Grava
1380	15.5	15.8	Grava arcillosa	939	0	38	Arena arcillosa
1380	15.8	17.15	Grava	939	30	50	Grava
1380	17.15	40.5	Grava arcillosa	939	50	68	Grava
1380	40.5	43.5	Grava	1235	0	1	Suelo orgánico
1380	43.5	54	Grava arcillosa	1235	1	38	Grava
1380	54	57	Grava	1235	38	40	Grava arcillosa
1380	57	59	Arena gravosa	1235	40	58	Grava
1380	59	61	Grava arcillosa				
1380	61	63	Grava				
1380	63	97	Grava arcillosa				
1380	97	102	Grava				
				Perfil D-D'			
1380	102	127	Grava arcillosa	N° Expediente	Desde (m)	Hasta (m)	Litología
				1302	0	3	Suelo orgánico
				1302	3	31	Grava

					1302	31	43	Arena
Perfil E-E'					1302	43	55	Arcilla
N° Expediente	Desde (m)	Hasta (m)	Litología		1315	0	1	Suelo orgánico
1380	0	7	Grava		1315	1	40	Grava
1380	7	13	Grava arcillosa		3970	0	2	Suelo orgánico
1380	13	15.5	Grava		3970	2	18	Arena gravosa
1380	15.5	15.8	Grava arcillosa		3970	18	24	Arena gravosa
1380	15.8	17.15	Grava		3970	24	28	Grava
1380	17.15	40.5	Grava arcillosa		3970	28	39	Grava
1380	40.5	43.5	Grava		3970	39	42	Arena
1380	43.5	54	Grava arcillosa		3970	42	44	Arena
1380	54	59	Grava		3970	44	50	Arena gravosa
1380	59	61	Grava arcillosa		3970	50	54	Grava
1380	61	63	Grava		1699	0	10	Grava
1380	63	97	Grava arcillosa		1699	10	17	Grava
1380	97	102	Grava		1699	17	24	Arcilla
1380	102	127	Grava arcillosa		1699	24	29	Arena arcillosa
4696	0	2	Suelo orgánico		1699	29	35	Arcilla
4696	2	10	Arena		1699	35	40	Grava
4696	10	27	Grava arcillosa		5295	0	2	Suelo orgánico
4696	27	42	Grava		5295	2	14	Grava arcillosa
4737	0	2	Suelo orgánico		5295	14	56	Grava
4737	2	10	Arena		1318	0	10	Grava
4737	10	25	Grava arcillosa		1318	10	20.5	Grava
4737	25	50	Grava		1318	20.5	22.3	Arcilla
1314	0	0.8	Suelo orgánico		1318	22.3	31	Arena
1314	0.8	8	Grava		1318	31	39	Grava
1314	8	23	Grava		1318	39	40	Grava Arcillosa
1314	23	25	Arena		1318	40	50.5	Grava
1314	25	30	Arena gravosa		1318	50.5	51	Arena
1314	30	35	Arena		1318	51	61	Grava
1314	35	42	Arena gravosa		849	0	1	Suelo orgánico
1314	42	46	Arena gravosa		849	1	8	Grava
1314	46	60	Arena gravosa		849	8	14	Arena
1314	60	68	Arena gravosa		849	14	20	Grava
1314	68	70	Arena		849	20	35	Arena
126	0	1	Suelo orgánico		849	35	50	Arena gravosa
126	1	18	Grava arcillosa		849	50	60	Arena gravosa
126	18	33	Grava		4678	0	3	Suelo orgánico
126	33	54	Arena gravosa		4678	3	18	Grava arcillosa
1324	0	1	Suelo orgánico		4678	18	34	Grava
1324	1	10	Grava		4678	34	43	Arena gravosa
1324	10	12	Arcilla		1397	0	9	Grava
1324	12	46	Grava		1397	9	12	Grava
1324	46	52	Arcilla		1397	12	30	Grava
1324	52	60	Grava		1397	30	36	Arena gravosa
1324	60	80	Grava		1397	36	52	Grava
1052	0	0.5	Suelo orgánico		761	0	1	Suelo orgánico
1052	0.5	2.5	Grava		761	1	9	Arena limosa
1052	2.5	7	Arena gravosa		761	9	18	Grava
1052	7	15	Grava		761	18	24	Arena gravosa
1052	15	24	Arena gravosa		761	24	34	Arena gravosa
1052	24	40	Arena gravosa		761	34	53	Arena gravosa
1052	40	60	Grava arcillosa		761	53	68	Grava
974	0	1	Suelo orgánico		761	68	80	Arena gravosa
974	1	9	Grava		4726	0	2	Suelo orgánico
974	9	11	Grava		4726	2	20	Grava arcillosa
974	11	13	Grava		4726	20	42	Grava
974	13	28	Grava arcillosa		4726	42	68	Grava
974	28	33	Arcilla		5183	0	1	Suelo orgánico
974	33	40	Grava		5183	1	21	Grava arcillosa
974	40	45	Grava arcillosa		5183	21	50	Grava
974	45	50	Arena arcillosa		5183	50	94	Grava
1514	0	62	Grava		969	0	118	Grava
1307	0	1	Suelo orgánico		1395	0	10	Grava
1307	1	20	Grava		1395	10	50	Grava
1307	20	26	Arena		1395	50	70	Grava
1307	26	29	Arena arcillosa		1395	70	97	Grava

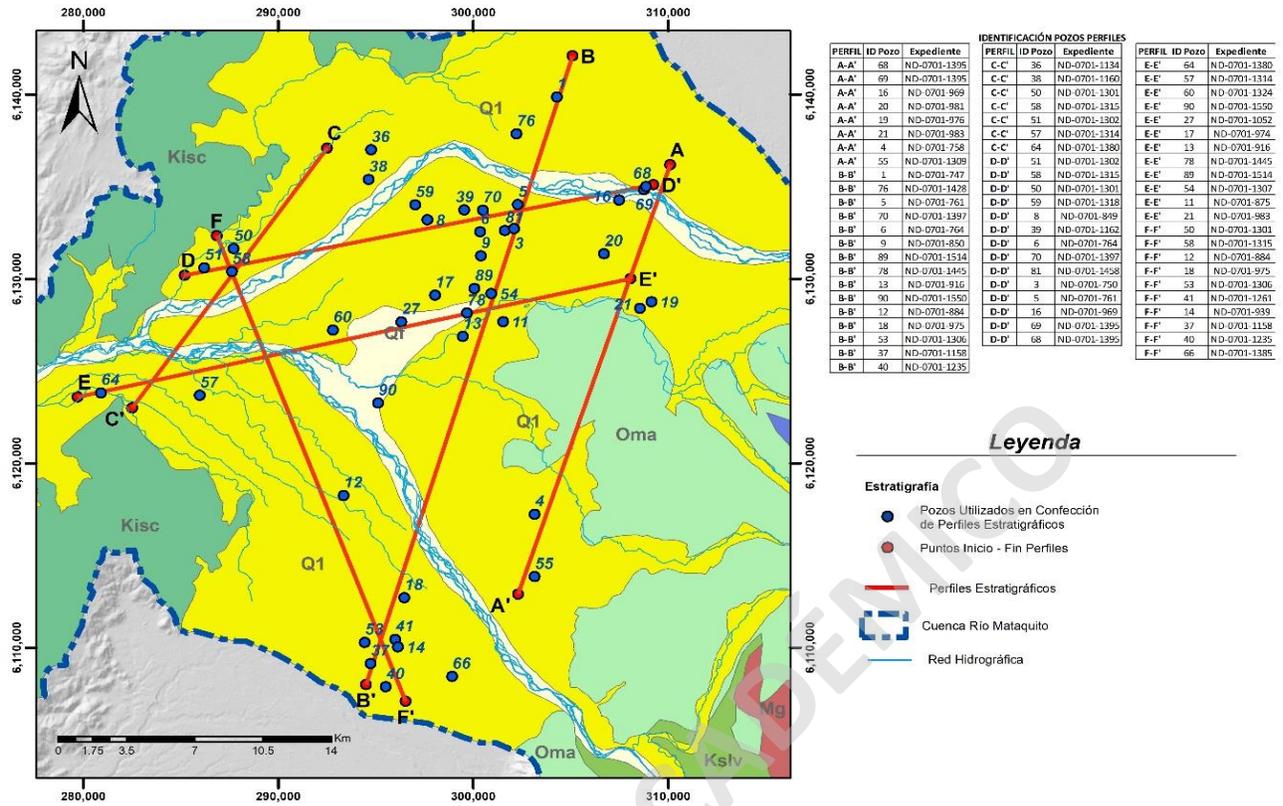


Figura 7-6: Trazado perfiles estratigráficos efectuados por la DGA. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la DGA, 2012.

Figura 7-7: Trazado perfiles estratigráficos efectuados por la DGA. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la DGA, 2012.

ANEXO 3.3-2

CUEVAS EQUIPOTENCIALES

Base de datos generado de los expedientes administrativos de la DGA con información de niveles estáticos medidos en sondajes. Periodo entre 2017 - 2022

N°	Código Expediente	Comuna	Uso del Ag	Latitud	Longitud	Cota	NE	Cota-NE	Fecha Resolución
1	ND-0701-3997	Romeral	Riego	6131654	302456	272	23.14	249	2020-22
2	ND-0701-4311	Molina	Riego	6108513	292277	262	9.4	253	2020-22
3	ND-0701-4310	Curicó	Riego	6119248	299469	258	15.46	243	2020-22
4	ND-0701-4326	Molina	Riego	6106830	298623	325	23.9	301	2020-22
5	ND-0701-4467	Curicó	Riego	6115983	300915	292	17.54	274	2020-22
6	ND-0701-4331	Molina	Riego	6109305	296320	296	14.18	282	2020-22
7	ND-0701-4400	Curicó	Riego	6121645	303315	258	8.76	249	2020-22
8	ND-0701-4397	Sagrada	Riego	6122927	282745	164	2.8	161	2020-22
9	ND-0701-4407	Rauco	Riego	6138552	291494	226	4.16	222	2020-22
10	ND-0701-4197	Molina	Riego	6112489	296975	292	19.79	272	2020-22
11	ND-0701-4391	Teno	Bebida/Uso	6129525	318856	469	5.3	464	2020-22
12	ND-0701-4396	Romeral	Riego	6132751	304936	331	61.34	270	2020-22
13	ND-0701-4323	Teno	Riego	6141857	290121	225	2.31	223	2020-22
14	ND-0701-4266	Romeral	Riego	6130415	308952	342	13.28	329	2020-22
15	ND-0701-4343	Curicó	Riego	6127189	302662	262	11.4	251	2020-22
16	ND-0701-4353	Curicó	Riego	6117278	298891	270	11.5	259	2020-22
17	ND-0701-4289	Molina	Riego	6110448	288629	240	5.64	234	2020-22
18	ND-0701-4360	Rauco	Riego	6129509	285515	172	2.3	170	2020-22
19	ND-0701-4314	Curicó	Riego	6131275	295409	224	3.65	220	2020-22
20	ND-0701-4341	Teno	Riego	6139023	293552	236	6.3	230	2020-22
21	ND-0701-4342	Romeral	Riego	6131071	305239	300	9.4	291	2020-22
22	ND-0701-4344	Teno	Riego	6135963	305722	325	8.6	316	2020-22
23	ND-0701-4362	Curico	Riego	6125363	298833	229	7.6	221	2020-22
24	ND-0701-4381	Sagrada	Riego	6122642	286800	181	3.1	178	2020-22
25	ND-0701-4399	Teno	Riego	6137896	294834	241	9	232	2020-22
26	ND-0701-4269	Curicó	Bebida/Uso	6124658	301067	236	2.89	233	2020-22
27	ND-0701-4273	Romeral	Riego	6126952	298560	233	9.05	224	2020-22
28	ND-0701-4319	Sagrada	Riego	6124592	286633	174	12.39	162	2020-22
29	ND-0701-4259	Rauco	Riego	6133360	289919	204	0	204	2020-22
30	ND-0701-4309	Teno	Riego	6139815	297702	256	6.1	250	2020-22
31	ND-0701-4312	Teno	Riego	6138678	299111	266	26.12	240	2020-22
32	ND-0701-4322	Sagrada	Riego	6121642	289096	193	2.32	191	2020-22
33	ND-0701-4316	Curico	Bebida/Uso	6121713	299951	241	7.53	233	2020-22
34	ND-0701-4278	Teno	Riego	6135243	309745	361	64	297	2020-22
35	ND-0701-4279	Molina	Riego	6112240	288658	233	3.55	229	2020-22
36	ND-0701-4321	Sagrada	Riego	6121484	289971	198	3.1	195	2020-22
37	ND-0701-4161	Molina	Riego	6117839	295669	245	2.74	242	2020-22
38	ND-0701-4258	Molina	Uso Industrial	6115973	294218	248	4.35	244	2020-22
39	ND-0701-4285	Teno	Riego	6140128	309890	336	63	273	2020-22
40	ND-0701-4315	Curico	Riego	6135059	297274	252	16.88	235	2020-22
41	ND-0701-4297	Sagrada	Otros Usos	6120908	294371	219	4.5	215	2020-22
42	ND-0701-4329	Romeral	Riego	6130438	302487	271	33.1	238	2019
43	ND-0701-4375	Curico	Riego	6121856	298081	231	1.15	230	2019
44	ND-0701-4376	Curico	Riego	6123058	297462	223	1.47	222	2019
45	ND-0701-4035	Rauco	Riego	6134105	290678	209	1.5	208	2019
46	ND-0701-4255	Curico	Riego	6125437	300590	241	15.48	226	2019
47	ND-0701-4292	Teno	Riego	6141175	301738	270	7.5	263	2019

48	ND-0701-4398	Sagrada	Riego	6125158	286788	171	2.65	168	2019
49	ND-0701-4240	Sagrada	Riego	6123748	289213	187	6.95	180	2019
50	ND-0701-4237	Sagrada	Riego	6121879	292658	209	1.75	207	2019
51	ND-0701-4186	Curico	Riego	6132901	295491	230	3	227	2019
52	ND-0701-4236	Molina	Riego	6110176	292833	261	4.3	257	2019
53	ND-0701-4252	Romeral	Riego	6131156	310790	381	86	295	2019
54	ND-0701-4210	Teno	Uso Industrial	6138144	304339	311	50.35	261	2019
55	ND-0701-4243	Romeral	Riego	6129369	308807	337	20	317	2019
56	ND-0701-4088	Romeral	Riego	6126672	298198	229	3.95	225	2019
57	ND-0701-4168	Romeral	Riego	6132535	302547	271	25	246	2019
58	ND-0701-4169	Romeral	Riego	6132224	302790	272	27	245	2019
59	ND-0701-4217	Teno	Riego	6141811	304157	281	15	266	2019
60	ND-0701-4225	Curico	Riego	6129927	291890	200	6.2	194	2019
61	ND-0701-4120	Molina	Riego	6111749	289077	236	3	233	2019
62	ND-0701-4216	Teno	Riego	6141820	305560	297	25	272	13/12/2018
63	ND-0701-4226	Teno	Riego	6134394	310737	372	89.4	283	13/12/2018
64	ND-0701-4223	Curico	Bebida/Uso	6122804	294907	214	2.7	211	12/12/2018
65	ND-0701-4244	Sagrada	Riego	6124580	285107	167	3.8	163	12/12/2018
66	ND-0701-4164	Romeral	Riego	6129964	310906	363	64	299	31/10/2018
67	ND-0701-4127	Romeral	Bebida/Uso	6131187	306036	311	38.1	273	24/10/2018
68	ND-0701-4148	Teno	Riego	6138387	298432	264	1.78	262	24/10/2018
69	ND-0701-4175	Curico	Riego	6130336	300150	251	17	234	8/10/2018
70	ND-0701-4201	Sagrada	Riego	6124280	287633	179	3.51	175	8/10/2018
71	ND-0701-4159	Romeral	Bebida/Uso	6133770	308501	360	78.3	282	5/10/2018
72	ND-0701-4154	Teno	Riego	6140642	303421	288	23.6	264	27/09/2018
73	ND-0701-4192	Curico	Riego	6120684	298438	241	1.7	239	27/09/2018
74	ND-0701-4204	Curico	Riego	6123100	303532	262	17	245	24/09/2018
75	ND-0701-4206	Curico	Riego	6122698	304335	272	11.1	261	24/09/2018
76	ND-0701-4052	Curico	Riego	6130411	296346	220	1.9	218	12/9/2018
77	ND-0701-4080	Sagrada	Riego	6124011	284645	170	4.8	165	12/1/2017
78	ND-0701-4082	Teno	Riego	6140536	293909	242	2.6	239	12/1/2017
79	ND-0701-4139	Curico	Riego	6112535	304870	340	5.5	335	12/1/2017
80	ND-0701-4146	Curico	Riego	6128569	287825	178	1.1	177	12/1/2017
81	ND-0701-4147	Sagrada	Riego	6123107	280843	155	6	149	11/27/2017
82	ND-0701-4156	Teno	Bebida/Uso	6143083	307976	302	27.45	275	11/22/2017
83	ND-0701-3990	Curico		6133643	301845	267	21	246	11/21/2017
84	ND-0701-4101	Teno	Riego	6139080	302552	299	38.4	261	11/21/2017
85	ND-0701-3580	Curico	Bebida/Uso	6124865	297633	221	2.68	218	11/6/2017
86	ND-0701-4087	Curico	Uso Industrial	6126049	297415	224	7	217	11/6/2017
87	ND-0701-4014	Curico	Riego	6129761	297056	226	18	208	10/18/2017
88	ND-0701-4086	Romeral	Riego	6129818	308444	334	38	296	10/16/2017
89	ND-0701-3645	Curico	Riego	6121573	298994	239	2.75	236	10/3/2017
90	ND-0701-3903	Curico	Riego	6133157	294760	228	2.3	226	10/2/2017
91	ND-0701-4020	Teno	Riego	6144752	302773	277	6.85	270	10/2/2017
92	ND-0701-4091	Curico	Riego	6131617	292151	208	2.76	205	8/11/2017
93	ND-0701-4117	Teno	Riego	6145496	306596	288	17	271	8/7/2017
94	ND-0701-3718	Curico	Riego	6134166	299625	252	14.22	238	6/9/2017
95	ND-0701-3906	Rauco	Riego	6136230	290522	220	3.6	216	6/7/2017
96	ND-0701-3566	Romeral	Riego	6129402	305208	300	40.57	259	5/26/2017
97	ND-0701-3733	Romeral		6128617	300890	255	26.2	229	5/25/2017
98	ND-0701-3914	Molina	Riego	6113522	296488	288	11.2	277	5/10/2017
99	ND-0701-3915	Molina	Riego	6113524	296491	288	10.9	277	5/10/2017
100	ND-0701-3998	Curicó	Riego	6130860	297306	228	5.3	223	5/10/2017
101	ND-0701-3929	Molina	Bebida/Uso	6111645	292461	257	3.52	253	5/8/2017
102	ND-0701-3943	Curicó	Riego	6133798	298708	247	6.68	240	5/8/2017
103	ND-0701-4033	Molina	Riego	6111064	289603	241	1.18	240	5/8/2017
104	ND-0701-4015	Teno	Riego	6137034	292950	232	6.2	226	3/1/2017
105	ND-0701-4046	Rauco	Riego	6138191	287577	217	3.6	213	3/1/2017
106	ND-0701-4047	Rauco		6132163	291724	207	2.15	205	3/1/2017

107	ND-0701-4727	Molina		6101109	308533	507	10.31	497	2019
108	ND-0701-4755	Romeral		6128147	312813	405	6.19	399	2019
109	ND-0701-4579	Teno		6131892	314628	421	44.87	376	2019
110	ND-0701-4730	Curicó		6127429	292110	195	2.53	192	2019
111	ND-0701-5323	Curicó		6129159	291557	196	1.56	194	2022
112	ND-0701-4927	Curicó		6128003	290737	188	1.32	187	2019
113	ND-0701-4614	Molina		6117410	291487	224	2.95	221	2019
114	ND-0701-5012	Sagrada		6117672	290133	215	3.3	212	2022
115	ND-0701-5329	Teno		6129529	318878	470	24.45	446	2020
116	ND-0701-4927	Teno		6129702	319660	495	47.04	448	2022
117	ND-0701-4940	Romeral		6121919	313145	357	10.2	347	2020
118	ND-0701-5064	Molina		6108068	299843	334	11.7	322	2021
119	ND-0701-4580	Curicó		6116080	303178	300	18.82	281	2019
120	ND-0701-5368	Curicó		6103065	309921	472	32	440	2018
121	ND-0701-5274	Curicó		6111367	303972	352	30.53	321	2021
122	ND-0701-5231	Curicó		6110813	302428	348	39.75	308	2021
123	ND-0701-5010	Curicó		6110187	303407	365	31.37	334	2021
124	ND-0701-4944	Curicó		6109724	302897	362	20.06	342	2020
125	ND-0701-4700	Rauco		6131367	286319	178	3.56	174	2019
126	ND-0701-5127	Teno		6139477	308477	337	71.26	266	2020
127	ND-0701-5077	Teno		6139979	308277	333	64.5	269	2021
128	ND-0701-4827	Teno		6135932	306858	336	17.03	319	2020
129	ND-0701-4344	Teno		6135929	305746	326	8.6	317	2018
130	ND-0701-4469	Teno		6138563	303881	306	35.04	271	2019
131	ND-0701-5331	Teno		6134236	314652	421	57.62	363	2022
132	ND-0701-5013	Romeral		6129068	313172	406	90.48	316	2020
133	ND-0701-4755	romeral		6128147	312813	402	6.19	396	2019
134	ND-0701-4736	Romeral		6128038	312579	400	6.27	394	2019
135	ND-0701-4964	Romeral		6128270	314844	428	85.41	343	2020
136	ND-0701-4859	Romeral		6127745	318528	474	49.68	424	2020
137	ND-0701-4761	Romeral		6124593	314489	395	1.6	393	2020
138	ND-0701-5230	Romeral		6127751	314666	422	39	383	2021
139	ND-0701-5293	Teno		6137019	300691	282	35	247	2022
140	ND-0701-4845	Teno		6137283	300754	282	32	250	2020
141	ND-0701-3944	Curicó		6136495	299054	273	24	249	2016
142	ND-0701-4812	Curicó		6134551	300950	281	40	241	2020
143	ND-0701-4811	Curicó		6134722	301000	283	11	273	2020
144	ND-0701-4684	Curicó		6134669	299517	256	21	235	2019
145	ND-0701-4553	Curicó		6134820	299230	258	17	241	2019
146	ND-0701-4804	Teno		6140508	306388	309	41	268	2019
147	ND-0701-4825	Teno		6132895	312224	391	18	373	2020
148	ND-0701-5209	Teno		6135449	308930	352	55	297	2021
149	ND-0701-5108	Rauco		6132895	291740	212	4	208	2021
150	ND-0701-4754	Rauco		6131518	292135	208	2	206	2021
151	ND-0701-5358	Molina		6134105	293048	221	9	212	2022
152	ND-0701-5336	Rauco		6133856	292866	218	4	214	2022
153	ND-0701-5250	Teno		6135016	293580	229	4	225	2022
154	ND-0701-4977	Teno		6135809	293417	229	5	224	2020
155	ND-0701-5211	Teno		6136212	295878	249	14	235	2021
156	ND-0701-5337	Teno		6138152	297026	257	27	230	2022
157	ND-0701-5237	Teno		6137106	296442	253	14	239	2021
158	ND-0701-4233	Teno	Riego	6140565	311747	353	69.07	284	2019
160	ND-0701-3996	Teno		6140844	314487	334	36.81	297	2015
161	ND-0701-5310	Teno		6141921	315007	324	34.02	290	2021
162	ND-0701-5103	Teno		6141760	315715	325	36.95	288	2021
163	ND-0701-5081	Teno		6141317	314905	331	29.3	302	2021

ANEXO 3.4 - BALANCE HÍDRICO

ANEXO 3.4-1

ESCORRENTÍA SUPERFICIAL

Tabla 7-1: Calculo de Escorrentía Superficial 2008 - 2020.

2008-2020					
Valor	MIN	MAX	Prom Isoyeta	Área	Prom*A
1	308	325	317	10,014,942	3,170,140,423
2	325	451	388	296,475,715	115,085,990,498
3	451	577	514	360,468,067	185,369,982,858
4	577	703	640	176,715,450	113,153,693,975
5	703	807	755	64,518,870	48,724,933,102
6	807	955	881	67,846,934	59,791,075,819
7	956	1,082	1,019	8,877,081	9,041,512,643
8	1,082	1,208	1,145	15,009,279	17,179,581,884
9	1,208	1,334	1,271	13,831,475	17,575,042,689
10	1,334	1,456	1,395	10,419,353	14,535,466,982
Total				1,024,177,167	583,627,420,872
Precipitación (mm)					570

	Cultivo	Ciudades	Total Es
m3/año	282,314,354	23,450,179	305,764,533
l/s	8,952	744	9,696

Tabla 7-2: Cálculo de Escorrentía Superficial 1982 - 2007.

1982 -2007					
VALUE	MIN	MAX	Prom Isoyeta	Área	Prom*A
1	515	608	561	180,559,219	101,381,797,489
2	608	780	694	467,296,982	324,287,876,947
3	780	951	865	191,037,606	165,279,232,804
4	951	1,122	1,036	62,482,900	64,755,326,854
5	1,122	1,293	1,208	43,024,513	51,954,882,442
6	1,293	1,464	1,379	34,964,215	48,207,780,387
7	1,464	1,636	1,550	15,812,187	24,508,137,970
8	1,636	1,807	1,721	10,403,662	17,906,525,196
9	1,807	1,978	1,892	5,417,060	10,251,079,350
10	1,978	2,122	2,050	13,178,823	27,018,057,991
Total				1,024,177,167	835,550,697,429
Precipitación (mm)					816

	Cultivo	Ciudades	Total Es
m3/año	404,155,286	33,570,782	437,726,068
l/s	12,816	1,065	13,880

ANEXO 3.4-2

EVAPOTRANSPIRACIÓN REAL

Estación: RÍO COLORADO

Año	T° media anual	Año	PP media anual	ETR	Proporción %
1982	6.8	1982	2265	481	21.2
1983	6.4	1983	1409	466	33.1
1984	5.9	1984	1978	478	24.2
1985	7.0	1985	1326	463	34.9
1986	7.1	1986	1944	478	24.6
1987	7.1	1987	1663	473	28.4
1988	6.7	1988	1047	449	42.9
1989	7.5	1989	1296	462	35.7
1990	7.1	1990	1225	459	37.5
1991	7.1	1991	1787	475	26.6
1992	6.6	1992	1832	476	26.0
1993	6.8	1993	1687	473	28.1
1994	7.5	1994	1393	466	33.4
1995	7.2	1995	1281	462	36.0
1996	7.1	1996	957	442	46.1
1997	7.3	1997	1899	477	25.1
1998	7.4	1998	847	430	50.8
1999	7.0	1999	1682	473	28.1
2000	6.5	2000	1820	476	26.1
2001	7.1	2001	2163	480	22.2
2002	6.6	2002	2314	481	20.8
2003	7.5	2003	1262	461	36.5
2004	7.2	2004	1807	476	26.3
2005	6.7	2005	2212	481	21.7
2006	7.6	2006	1918	477	24.9
2007	6.1	2007	1185	457	38.6
2008	7.1	2008	1516	473	31.2
2009	7.2	2009	1394	469	33.7
2010	6.3	2010	1298	466	35.9
2011	6.7	2011	1173	460	39.2
2012	7.3	2012	1575	474	30.1
2013	7.2	2013	1122	457	40.7
2014	6.7	2014	1266	464	36.7
2015	7.2	2015	1536	473	30.8
2016	7.5	2016	1403	470	33.5
2017	7.0	2017	1508	473	31.3
2018	7.3	2018	1269	464	36.6
2019	7.5	2019	951	444	46.7

Estación: POTRERO GRANDE

Año	T° media anual	Año	PP media anual	ETR	Proporción %
1982	12.8	1982	2096	686	32.7
1983	12.6	1983	886	571	64.4
1984	12.0	1984	1423	650	45.7
1985	12.6	1985	878	569	64.8
1986	12.7	1986	1195	626	52.4
1987	12.8	1987	1114	614	55.2
1988	12.4	1988	766	538	70.2
1989	13.1	1989	745	531	71.3
1990	12.6	1990	675	506	75.1
1991	13.0	1991	1314	640	48.7
1992	12.6	1992	1388	647	46.6
1993	12.9	1993	981	591	60.3
1994	13.0	1994	905	575	63.6
1995	12.8	1995	1078	609	56.5
1996	12.6	1996	582	467	80.3
1997	13.2	1997	1698	669	39.4
1998	12.9	1998	287	279	97.2
1999	12.2	1999	1048	604	57.6
2000	12.2	2000	1372	645	47.0
2001	12.8	2001	1286	637	49.5
2002	12.5	2002	1839	676	36.8
2003	12.7	2003	757	535	70.7
2004	13.2	2004	997	595	59.6
2005	13.3	2005	1668	667	40.0
2006	13.5	2006	1335	642	48.1
2007	12.1	2007	651	497	76.4
2008	13.7	2008	1192	633	53.1
2009	12.8	2009	1011	603	59.7
2010	12.3	2010	667	507	76.0
2011	12.6	2011	776	546	70.3
2012	13.2	2012	798	552	69.2
2013	12.8	2013	589	474	80.4
2014	12.8	2014	966	595	61.5
2015	13.0	2015	830	561	67.7
2016	12.5	2016	633	493	77.9
2017	13.4	2017	821	559	68.1
2018	13.4	2018	681	513	75.3
		2019	386	356	92.1

ESTACIÓN RÍO COLORADO	Promedio T° media anual	L	Promedio ETR	Promedio porcentaje
Promedio antes 2008	7.0	491.1	468.1	30.8
Promedio después 2008	7.1	495.1	465.6	35.5

ESTACIÓN POTRERO GRANDE	Promedio T° media anual	L	Promedio ETR	Promedio porcentaje
Promedio antes 2008	14.5	813.0	504.3	79.4
Promedio después 2008	15.3	863.1	413.0	90.8

ESTACIÓN RÍO COLORADO	Promedio T° media anual	L	Promedio ETR	Promedio porcentaje
Promedio antes 2008	7.0	491.1	468.1	30.8
Promedio después 2008	7.1	495.1	465.6	35.5

ESTACIÓN POTRERO GRANDE	Promedio T° media anual	L	Promedio ETR	Promedio porcentaje
Promedio antes 2008	14.5	813.0	504.3	79.4
Promedio después 2008	15.3	863.1	413.0	90.8

Estación: CURICÓ

Año	T° media anual	Año	PP media anual	ETR	Proporción %
1981	15.7	1982	1040.0	653.0	62.8
1982	14.4	1983	494.2	438.6	88.8
1983	15.1	1984	976.0	637.8	65.4
1984	13.5	1985	476.0	427.0	89.7
1985	14.5	1986	841.7	599.4	71.2
1986	14.5	1987	842.5	599.6	71.2
1987	14.8	1988	397.9	372.7	93.7
1988	13.8	1989	433.5	398.3	91.9
1989	14.0	1990	412.8	383.6	92.9
1990	13.4	1991	786.8	580.6	73.8
1991	13.8	1992	1020.9	648.7	63.5
1992	14.2	1993	559.4	477.3	85.3
1993	14.0	1994	518.4	453.5	87.5
1994	14.4	1995	603.0	500.7	83.0
1995	14.2	1996	357.6	342.0	95.6
1996	14.2	1997	958.8	633.5	66.1
1997	15.0	1998	170.6	175.6	102.9
1998	14.4	1999	621.7	510.2	82.1
1999	15.9	2000	870.1	608.4	69.9
2000	15.5	2001	713.0	551.9	77.4
2001	S/I	2002	1076.3	660.8	61.4
2002	S/I	2003	564.5	480.2	85.1
2003	S/I	2004	543.2	468.1	86.2
2004	S/I	2005	958.0	633.2	66.1
2005	S/I	2006	688.3	541.3	78.6
2006	S/I	2007	351.2	336.9	95.9
2007	S/I	2008	673.6	548.3	81.4
2008	S/I	2009	577.3	497.3	86.1
2009	S/I	2010	404.9	382.6	94.5
2010	16.3	2011	426.8	398.9	93.5
2011	16.6	2012	539.7	475.0	88.0
2012	17.3	2013	364.6	351.1	96.3
2013	14.6	2014	608.4	514.8	84.6
2014	14.0	2015	559.3	486.8	87.0
2015	14.7	2016	430.6	401.7	93.3
2016	15.0	2017	553.8	483.5	87.3
2017	15.2	2018	318.5	312.9	98.2
2018	14.7	2019	220.3	224.2	101.8
2019	14.9	2020	293.4	291.1	99.2

ESTACIÓN CURICÓ	Promedio T° media anual	L	Promedio ETR	Promedio porcentaje
Promedio antes 2008	14.5	813.0	504.3	79.4
Promedio después 2008	15.3	863.1	413.0	90.8

ESTACIÓN CURICÓ	Promedio T° media anual	L	Promedio ETR	Promedio porcentaje
Promedio antes 2008	14.5	813.0	504.3	79.4
Promedio después 2008	15.3	863.1	413.0	90.8

Estación: GENERAL FREIRE

Año	T° media anual	Año	PP media anual	ETR	Proporción %
1982	13.9	1982	1181	664	56.2
1983	13.6	1983	515	447	86.7
1984	13.2	1984	984	626	63.6
1985	13.6	1985	460	413	89.7
1986	13.8	1986	821	581	70.8
1987	14.1	1987	808	577	71.4
1988	13.3	1988	450	406	90.2
1989	13.8	1989	421	387	91.7
1990	13.4	1990	389	363	93.4
1991	13.6	1991	779	567	72.8
1992	13.6	1992	1041	638	61.3
1993	13.8	1993	561	472	84.2
1994	14.2	1994	523	451	86.3
1995	14.0	1995	606	495	81.8
1996	13.5	1996	363	344	94.7
1997	14.1	1997	1042	639	61.3
1998	14.3	1998	171	176	102.7
1999	14.5	1999	669	524	78.4
2000	14.0	2000	859	593	69.0
2001	14.3	2001	740	553	74.8
2002	13.9	2002	1064	643	60.4
2003	14.6	2003	525	452	86.1
2004	14.7	2004	546	464	85.0
2005	14.8	2005	957	619	64.7
2006	14.8	2006	754	559	74.0
2007	13.8	2007	351	335	95.3
2008	15.2	2008	674	337	50.1
2009	14.6	2009	563	536	95.3
2010	14.0	2010	376	480	127.8
2011	14.4	2011	391	356	91.3
2012	14.2	2012	625	368	58.9
2013	14.1	2013	345	513	148.9
2014	14.2	2014	640	332	51.8
2015	14.6	2015	548	521	95.1
2016	15.0	2016	490	472	96.2
2017	14.7	2017	658	437	66.4
2018	14.5	2018	414	529	127.7
2019	14.8	2019	163	385	235.6
2020	15.1	2020	438	169	38.5
2021	14.4	2021	327	402	122.9

ESTACIÓN GENERAL FREIRE	Promedio T° media anual	L	Promedio ETR	Promedio porcentaje
Promedio antes 2008	14.0	784.7	499.6	77.8
Promedio después 2008	14.6	817.8	416.9	85.2

ESTACIÓN GENERAL FREIRE	Promedio T° media anual	L	Promedio ETR	Promedio porcentaje
Promedio antes 2008	14.0	784.7	499.6	77.8
Promedio después 2008	14.6	817.8	416.9	85.2

Estación: CONVENTO VIEJO

Año	T° media anual	Año	PP media anual	ETR	Proporción %
1982	15.0	1982	1410.8	723	51.2
1983	14.5	1983	559	480	85.8
1984	14.1	1984	920.8	629	68.3
1985	14.4	1985	406	380	93.6
1986	14.6	1986	774.9	581	75.0
1987	14.9	1987	855.3	609	71.2
1988	14.3	1988	419.7	390	92.9
1989	15.0	1989	425.1	394	92.7
1990	14.4	1990	454	414	91.2
1991	14.4	1991	741	568	76.6
1992	14.4	1992	931.2	632	67.9
1993	14.5	1993	702	551	78.5
1994	15.0	1994	581.1	492	84.7
1995	14.9	1995	618.2	512	82.8
1996	14.8	1996	424.4	393	92.7
1997	15.4	1997	1067.1	666	62.4
1998	15.0	1998	139.8	145	103.8
1999	15.0	1999	657.5	531	80.8
2000	14.8	2000	970.9	643	66.2
2001	15.1	2001	807.8	593	73.4
2002	14.5	2002	987.5	647	65.6
2003	15.1	2003	565.4	483	85.5
2004	15.0	2004	540.8	469	86.8
2005	15.0	2005	1081.7	669	61.9
2006	14.8	2006	757	574	75.8
2007	13.5	2007	380.3	361	94.8
2008	14.9	2008	767	579	75.5
2009	14.1	2009	528	462	87.6
2010	14.2	2010	349.1	336	96.4
2011	14.5	2011	453.3	414	91.4
2012	15.1	2012	570.9	487	85.4
2013	14.6	2013	366.7	350	95.6
2014	14.7	2014	556.4	479	86.1
2015	14.8	2015	568.1	486	85.5
2016	14.2	2016	435.6	402	92.3
2017	15.9	2017	537.1	468	87.1
2018	15.6	2018	304.4	299	98.3
		2019	192.3	197	102.4
		2020	480.8	433	90.0

ESTACIÓN CONVENTO VIEJO	Promedio T° media anual	L	Promedio ETR	Promedio porcentaje
Promedio antes 2008	14.7	826.7	520.5	78.3
Promedio después 2008	14.8	830.8	414.9	89.3

Estación: EL MANZANO

Año	T° media anual	Año	PP media anual	ETR	Proporción %
1982	11.6	1982	2353	644	27.4
1983	11.3	1983	1027	568	55.3
1984	10.9	1984	1706	625	36.7
1985	11.6	1985	806	525	65.1
1986	11.8	1986	1294	599	46.3
1987	11.8	1987	1544	617	40.0
1988	11.4	1988	713	499	70.0
1989	12.0	1989	743	508	68.3
1990	11.7	1990	747	509	68.1
1991	11.6	1991	1273	597	46.9
1992	11.3	1992	1488	614	41.2
1993	11.5	1993	1109	579	52.3
1994	12.0	1994	1026	568	55.3
1995	11.7	1995	1277	598	46.8
1996	11.7	1996	836	532	63.6
1997	11.9	1997	2309	643	27.9
1998	12.1	1998	275	266	96.7
1999	11.5	1999	1169	587	50.2
2000	11.2	2000	1691	625	36.9
2001	11.6	2001	1323	602	45.5
2002	11.2	2002	1858	631	34.0
2003	11.9	2003	1033	569	55.1
2004	11.6	2004	1096	578	52.7
2005	11.4	2005	2106	639	30.3
2006	12.0	2006	1505	615	40.8
2007	10.6	2007	687	490	71.4
2008	11.7	2008	1367	609	44.5
2009	11.7	2009	1073	577	53.8
2010	10.9	2010	753	512	68.1
2011	11.3	2011	969	561	57.9
2012	11.7	2012	1089	580	53.2
2013	11.7	2013	676	488	72.3
2014	11.4	2014	1023	570	55.7
2015	11.8	2015	1102	581	52.7
2016	12.3	2016	800	525	65.6
2017	11.7	2017	964	560	58.1
2018	11.9	2018	761	515	67.7
2019	12.1	2019	427	374	87.6

ESTACIÓN EL MANZANO	Promedio T° media anual	L	Promedio ETR	Promedio porcentaje
Promedio antes 2008	11.6	666.9	570.2	50.9
Promedio después 2008	11.7	671.4	537.7	61.4

ESTACIÓN CONVENTO VIEJO	Promedio T° media anual	L	Promedio ETR	Promedio porcentaje
Promedio antes 2008	14.7	826.7	520.5	78.3
Promedio después 2008	14.8	830.8	414.9	89.3

ESTACIÓN EL MANZANO	Promedio T° media anual	L	Promedio ETR	Promedio porcentaje
Promedio antes 2008	11.6	666.9	570.2	50.9
Promedio después 2008	11.7	671.4	537.7	61.4

Estación: RÍO TENO CON CLARO

Año	T° media anual	Año	PP media anual	ETR	Proporción %
1982	8.0	1982	1999	514	25.7
1983	7.6	1983	1164	487	41.8
1984	7.2	1984	1503	503	33.5
1985	8.2	1985	980	472	48.2
1986	8.3	1986	1550	505	32.5
1987	8.3	1987	1343	497	37.0
1988	7.9	1988	800	449	56.1
1989	8.7	1989	1015	475	46.8
1990	8.3	1990	911	464	51.0
1991	8.2	1991	1378	498	36.2
1992	7.8	1992	1519	504	33.2
1993	8.0	1993	1360	498	36.6
1994	8.6	1994	1176	488	41.5
1995	8.3	1995	1056	479	45.3
1996	8.3	1996	758	442	58.3
1997	8.4	1997	1546	504	32.6
1998	8.6	1998	622	412	66.3
1999	8.3	1999	1298	495	38.1
2000	7.7	2000	1512	503	33.3
2001	8.3	2001	1814	511	28.2
2002	7.8	2002	1998	514	25.7
2003	8.7	2003	1069	480	44.9
2004	8.3	2004	1354	497	36.7
2005	7.9	2005	1944	514	26.4
2006	8.8	2006	1577	505	32.1
2007	7.3	2007	998	474	47.5
2008	8.3	2008	1317	499	37.9
2009	8.4	2009	1115	487	43.7
2010	7.5	2010	1095	486	44.3
2011	7.8	2011	930	470	50.5
2012	8.4	2012	1295	498	38.5
2013	8.3	2013	889	465	52.3
2014	7.9	2014	1053	482	45.8
2015	8.4	2015	1200	493	41.1
2016	8.7	2016	1056	482	45.7
2017	8.2	2017	1188	492	41.4
2018	8.6	2018	954	472	49.5
2019	8.8	2019	757	444	58.7

ESTACIÓN RÍO TENO CON CLARO	Promedio T° media anual	L	Promedio ETR	Promedio porcentaje
Promedio antes 2008	14.7	826.7	520.5	78.3
Promedio después 2008	14.8	830.8	414.9	89.3

ESTACIÓN RÍO TENO CON CLARO	Promedio T° media anual	L	Promedio ETR	Promedio porcentaje
Promedio antes 2008	14.7	826.7	520.5	78.3
Promedio después 2008	14.8	830.8	414.9	89.3

Estación: RÍO TENO INFIERNILLO

Año	T° media anual	Año	PP media anual	ETR	Proporción %
1982	6.7	1982	2055	478	23.3
1983	6.3	1983	1188	456	38.4
1984	6.0	1984	1578	470	29.8
1985	7.0	1985	1071	449	42.0
1986	7.1	1986	1586	470	29.6
1987	7.0	1987	1395	465	33.3
1988	6.7	1988	824	427	51.8
1989	7.5	1989	1008	445	44.1
1990	7.1	1990	935	439	46.9
1991	7.0	1991	1417	465	32.8
1992	6.6	1992	1448	466	32.2
1993	6.8	1993	1422	466	32.8
1994	7.4	1994	1202	457	38.0
1995	7.1	1995	1102	451	41.0
1996	7.1	1996	795	423	53.2
1997	7.2	1997	1600	470	29.4
1998	7.3	1998	659	400	60.7
1999	7.1	1999	1405	465	33.1
2000	6.5	2000	1591	470	29.6
2001	7.1	2001	1868	475	25.4
2002	6.6	2002	2031	478	23.5
2003	7.6	2003	1086	450	41.5
2004	7.1	2004	1410	465	33.0
2005	6.6	2005	2014	477	23.7
2006	7.6	2006	1626	471	29.0
2007	6.1	2007	1020	446	43.7
2008	7.1	2008	1379	468	33.9
2009	7.2	2009	1179	459	39.0
2010	6.3	2010	1122	456	40.7
2011	6.6	2011	989	447	45.2
2012	7.2	2012	1355	467	34.5
2013	7.2	2013	941	443	47.0
2014	6.7	2014	1106	455	41.1
2015	7.2	2015	1288	465	36.1
2016	7.5	2016	1099	455	41.4
2017	7.0	2017	1227	462	37.6
2018	7.4	2018	1014	449	44.3
2019	7.6	2019	794	426	53.6

ESTACIÓN RÍO TENO INFIERNILLO	Promedio T° media anual	L	Promedio ETR	Promedio porcentaje
Promedio antes 2008	6.9	489.9	457.5	36.2
Promedio después 2008	7.1	494.4	454.2	41.2

ESTACIÓN RÍO TENO INFIERNILLO	Promedio T° media anual	L	Promedio ETR	Promedio porcentaje
Promedio antes 2008	6.9	489.9	457.5	36.2
Promedio después 2008	7.1	494.4	454.2	41.2

ESTACIÓN RÍO TENO	Promedio T°	L	Promedio	Promedio
-------------------	-------------	---	----------	----------

ANEXO 3.4-3

RECARGA POR RIEGO

A continuación, se observan los cálculos y tablas ocupados para el cálculo de la recarga por riego

Tabla 7-3: Promedio mensual de la Evapotranspiración Potencial.

Eto (mm/mes)	Enero	Febreo	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
2008 - 2020	203.7	165.2	141.4	87.8	57.2	40.3	43.9	61.6	87.5	126.2	163.7	197.3

Tabla 7-4: Resultado de la Evapotranspiración de Cultivo (2008-2020).

CULTIVOS	ETC												Total (mm/año)
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
CEREZOS	209.8	170.2	110.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	60.6	108.0	165.7	824.6
MANZANO ROJO	220.0	178.4	135.7	72.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	60.6	111.3	173.6	952.5
KIWI	213.9	173.5	148.5	92.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	50.5	119.5	207.2	1005.2
MANZANO VERDE	220.0	178.4	135.7	72.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	60.6	111.3	173.6	952.5
NOGAL	224.1	127.2	70.7	17.6	0.0	0.0	0.0	0.0	17.5	56.8	98.2	187.4	799.5
AVELLANO	195.6	158.6	113.1	61.5	0.0	0.0	0.0	0.0	43.8	69.4	114.6	181.5	938.0
PERAL	220.0	178.4	135.7	72.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	60.6	111.3	173.6	952.5
CIRUELO	199.6	161.9	99.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	73.2	117.9	169.7	821.2
ARANDANO	203.7	165.2	127.3	70.2	0.0	0.0	0.0	43.1	61.3	101.0	147.3	197.3	1116.4
FRAMBUESA	213.9	128.9	70.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	26.3	69.4	131.0	207.2	847.2
DURAZNOS	183.3	132.2	106.1	57.1	0.0	0.0	0.0	0.0	48.1	82.0	122.8	177.6	909.1
MEMBRILLO	220.0	178.4	135.7	72.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	60.6	111.3	173.6	952.5
CAQUI	224.1	165.2	84.8	0.0	0.0	0.0	0.0	27.7	49.9	88.3	147.3	189.4	976.8
ALMENDRO	213.9	148.7	84.8	35.1	0.0	0.0	0.0	12.3	30.6	82.0	122.8	187.4	917.7
ZARZAPARRILLA ROJA	244.4	148.7	77.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	69.4	163.7	236.8	940.8
OLIVO	183.3	132.2	106.1	57.1	0.0	0.0	0.0	0.0	48.1	82.0	122.8	177.6	909.1
VID DE MESA	213.9	156.9	120.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	26.3	69.4	131.0	207.2	924.8
VID VINÍFERA	213.9	156.9	120.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	26.3	69.4	131.0	207.2	924.8
CHOCLO	138.5	99.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	29.8	68.1	134.2	181.5	651.3
TOMATE	199.6	132.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	59.5	116.1	188.3	226.9	922.5

Tabla 7-5: Superficie (Ha) según especie frutal-hortícola.

Frutales	Superficie (Ha)	Frutales	Superficie (Ha)	Frutales	Superficie (Ha)	Frutales	Superficie (Ha)
Cerezos	13384	Vid de mesa	104	Arándano	709	Alcachofa	65
Manzano Rojo	7325	Lechuga	238	Frambuesa	191	Arveja	60
kiwi	2290	Cebolla	92	Duraznos	83	Coliflor	77
Manzano verde	1443	Choclo	477	Membrillo	36	Melón	50
Nogal	959	Repollo	88	Caqui	21	Pimentón	87
Avellano	1084	Tomate	158	Almendro	16	Sandía	86
Peral	1172	Zanahoria	52	Zarzaparrilla roja	17	AjÍ	140
Ciruelo	772	Betarraga	107	Olivo	1605	Vid Vinífera	15223

Tabla 7-6: Demanda de agua según especie frutal y hortícola.

DEMANDA REAL				
CULTIVOS	Surco	Microaspersión	Goteo	Total
CEREZOS	24,353,330	30,900,329	121,529,288	176,782,947
MANZANO ROJO	40,001,899	36,258,871	23,281,221	99,541,992
KIWI	11,960,613	17,980,963	2,613,182	32,554,758
MANZANO VERDE	10,850,411	6,397,958	3,804,767	21,053,135
NOGAL	546,916	3,120,062	5,298,710	8,965,688
AVELLANO	654,637	765,258	10,247,507	11,667,401
PERAL	6,871,581	4,575,498	4,647,172	16,094,250
CIRUELO	4,654,345	657,639	4,096,138	9,408,122
ARÁNDANO	106,581	39,184	8,704,138	8,849,904
FRAMBUESA	2,087,850	0	754,077	2,841,927
DURAZNOS	1,148,245	43,421	223,270	1,414,936
MEMBRILLO	603,279	3,474	79,379	686,132
CAQUI	119,956	0	167,938	287,894
ALMENDRO	69,539	93,452	40,118	203,110
ZARZAPARRILLA ROJA	41,812	34,642	156,793	233,247
OLIVO	71,363	3,434	16,173,536	16,248,334
VID DE MESA	915,992	99,840	516,368	1,532,201
VID VINÍFERA	190,831,966	1,656,208	59,439,465	251,927,639
CHOCLO	6,903,610	0	0	6,903,610
TOMATE	3,239,140	0	0	3,239,140
TOTAL CUENCA (M3)				670,436,367

Tabla 7-7: Pérdida de agua por riego según especie frutal y hortícola.

PERDIDA POR RIEGO				
CULTIVOS	Surco	Microaspersión	Goteo	Total
CEREZOS	13,394,331	4,635,049	12,152,929	30,182,310
MANZANO ROJO	22,001,044	5,438,831	2,328,122	29,767,997
KIWI	6,578,337	2,697,144	261,318	9,536,800
MANZANO VERDE	5,967,726	959,694	380,477	7,307,896
NOGAL	300,804	468,009	529,871	1,298,684
AVELLANO	360,050	114,789	1,024,751	1,499,590
PERAL	3,779,369	686,325	464,717	4,930,411
CIRUELO	2,559,890	98,646	409,614	3,068,149
ARÁNDANO	58,620	5,878	870,414	934,911
FRAMBUESA	1,148,318	0	75,408	1,223,725
DURAZNOS	631,535	6,513	22,327	660,375
MEMBRILLO	331,804	521	7,938	340,263
CAQUI	65,976	0	16,794	82,770
ALMENDRO	38,246	14,018	4,012	56,276
ZARZAPARRILLA ROJA	22,996	5,196	15,679	43,872
OLIVO	39,250	515	1,617,354	1,657,119
VID DE MESA	503,796	14,976	51,637	570,409
VID VINÍFERA	104,957,581	248,431	5,943,946	111,149,959
CHOCLO	3,796,986	0	0	3,796,986
TOMATE	1,781,527	0	0	1,781,527
TOTAL CUENCA (M3)				209,890,028

Tabla 7-8: Resultado Percolación profunda según el método de riego y la especie frutal y hortícola.

PERCOLACIÓN PROFUNDA				
CULTIVOS	Surco	Microaspersión	Goteo	Total
CEREZOS	2,812,810	973,360	2,552,115	6,338,285
MANZANO ROJO	4,620,219	1,142,154	488,906	6,251,279
KIWI	1,381,451	566,400	54,877	2,002,728
MANZANO VERDE	1,253,222	201,536	79,900	1,534,658
NOGAL	63,169	98,282	111,273	272,724
AVELLANO	75,611	24,106	215,198	314,914
PERAL	793,668	144,128	97,591	1,035,386
CIRUELO	537,577	20,716	86,019	644,311
ARÁNDANO	12,310	1,234	182,787	196,331
FRAMBUESA	241,147	0	15,836	256,982
DURAZNOS	132,622	1,368	4,689	138,679
MEMBRILLO	69,679	109	1,667	71,455
CAQUI	13,855	0	3,527	17,382
ALMENDRO	8,032	2,944	842	11,818
ZARZAPARRILLA ROJA	4,829	1,091	3,293	9,213
OLIVO	8,242	108	339,644	347,995
VID DE MESA	105,797	3,145	10,844	119,786
VID VINÍFERA	22,041,092	52,171	1,248,229	23,341,491
CHOCLO	797,367	0	0	797,367
TOMATE	374,121	0	0	374,121
TOTAL CUENCA (M3)				44,076,906

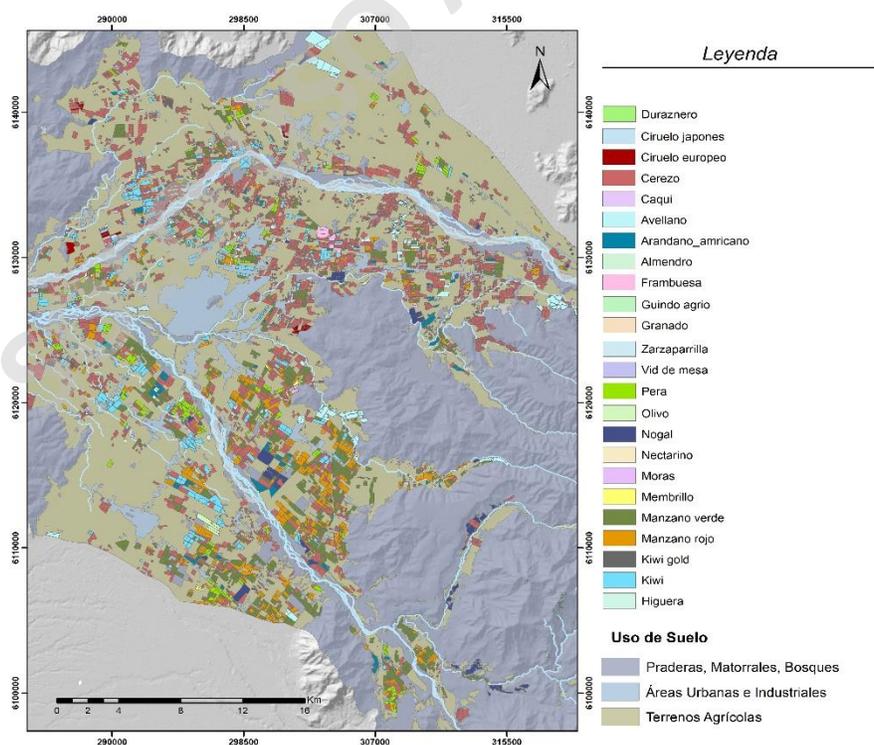


Figura 7-264: Área de las especies frutales predominantes en la cuenca. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de ICET (2022).