



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



**MODELAMIENTO HIDROGEOLÓGICO
CONCEPTUAL Y CARACTERIZACIÓN
HIDROQUÍMICA DE LA CUENCA DEL RÍO BIOBÍO,
COMPRENDIDA EN LA COMUNA DE
CHIGUAYANTE, REGIÓN DEL BIOBÍO, CHILE.**

Memoria para optar al Título de Geóloga

Bárbara Javiera Meneses Vega

Profesor Patrocinante:

Msc. Liubow Nikolaivna González Martínez

Profesores Comisión:

Dr. Luis Arturo Quinzio Sinn

Msc. Abraham Elías González Martínez

Concepción, 1 de julio de 2019



*Lo que sabemos
es una gota de agua;
lo que ignoramos
es el océano.*

Isaac Newton

ÍNDICE

	Página
RESUMEN	
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Generalidades	1
1.2. Objetivos y alcances del estudio	1
1.2.1. Objetivo general	1
1.2.2. Objetivos específicos	1
1.3. Ubicación y accesos	2
1.4. Metodología	3
1.4.1. Etapa de pre-terreno	4
1.4.2. Etapa de terreno	4
1.4.3. Trabajo de gabinete	5
1.5. Trabajos anteriores	6
1.6. Geomorfología	6
1.6.1. Geomorfología regional	6
1.6.2. Geomorfología local	9
1.7. Clima y vegetación	12
1.7.1. Clima	12
1.7.2. Vegetación	13
1.8. Hidrología	14
1.8.1. Cuenca del río Biobío	14
1.9. Agradecimientos	17
2. MARCO GEOLÓGICO	18
2.1. Marco geológico local	18
2.1.1. Rocas metamórficas	19
2.1.2. Rocas intrusivas	19
2.1.3. Depósitos Semi-consolidados y no consolidados	20
2.2. Estructuras	21
3. CARACTERIZACIÓN DE SUELOS	23
3.1. Series de suelo	23
3.1.1. Serie de suelo San Esteban (STN)	23
3.1.2. Serie de suelo Arenales (ARN)	25
3.2. Características hidráulicas del suelo	26
3.3. Usos de suelo	28
4. HIDROGEOLOGÍA	30
4.1. Unidades hidrogeológicas	30
4.2. Distribución espacial de las unidades hidrogeológicas	32
4.3. Tipo de acuífero	33
4.4. Características hidráulicas del acuífero	35
4.4.1. Pruebas de bombeo	36
4.5. Campaña de medición del nivel freático	39
4.5.1. Variación del nivel freático	39
4.5.2. Fluctuación del nivel freático durante la estación seca	42
4.6. Balance hídrico	44

4.6.1. Precipitaciones	45
4.6.2. Temperatura media ambiental	51
4.6.3. Evapotranspiración	53
4.6.4. Recarga	60
4.6.5. Escorrentía superficial	67
4.7. Modelo hidrogeológico conceptual	68
4.7.1. Superficie piezométrica	68
4.7.2. Caudal de flujo de agua subterránea	69
5. HIDROGEOQUÍMICA	75
5.1. Parámetros fisicoquímicos	75
5.1.1. Temperatura	76
5.1.2. Ph	77
5.1.3. Sólidos disueltos totales	78
5.1.4. Conductividad eléctrica	80
5.2. Composición química	81
5.2.1. Constituyentes mayoritarios	81
5.2.2. Constituyentes minoritarios y trazas	82
5.3. Evolución físicoquímica del agua	82
5.3.1. Temperatura y pH	83
5.3.2. Sólidos disueltos totales y conductividad eléctrica	83
5.4. Clasificación geoquímica del agua	84
5.4.1. Diagrama de Piper	84
5.4.2. Diagrama de Stiff	86
5.5. Calidad del agua subterránea	87
5.5.1. Calidad de agua potable	88
6. VULNERABILIDAD DEL ACUÍFERO	91
6.1. Generalidades	91
6.2. Método DRASTIC	91
7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	95
7.1. Conclusiones	95
7.2. Recomendaciones	98
8. REFERENCIAS	99
ANEXO	110

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1. 1 Ubicación geográfica de la comuna de Chiguayante	2
1. 2 Límites de la comuna de Chiguayante	3
1. 3 Rutas de acceso al área de estudio	4
1. 4 Unidades geomorfológicas de la región del Biobío	7
1. 5 Imagen 3D de la geomorfología de la comuna de Chiguayante	10
1. 6 Perfil topográfico del sector de Chiguayante	11
1. 7 Mapa de los diferentes tipos de clima que imperan en la región del Biobío	12
1 .8 Subcuencas de la hoya hidrográfica del Biobío	16

2 .1	Mapa geológico de la comuna de Chiguayante	18
3. 1	Series de suelo de la comuna de Chiguayante	23
3. 2	Diagrama triangular de las clases texturales básicas del suelo según el tamaño de partículas, de acuerdo con el USDA	27
3. 3	Mapa de usos de suelo de la comuna de Chiguayante	29
4. 1	Sistema de clasificación de acuíferos.....	32
4. 2	Topografía superficial	33
4. 3	Mapa de ubicación de perfiles esquemáticos de cortes transversales realizados en Chiguayante	34
4. 4	Esquematzación de: Acuífero libre (a), confinado (b)	34
4. 5	Distribución geográfica de los pozos de bombeo	37
4. 6	Distribución geográfica de captaciones catastradas	39
4. 7	Variación de la profundidad del nivel freático	41
4. 8	Cota de nivel freático	42
4. 9	Distribución geográfica de pozos medidos durante la segunda campaña de terreno	43
4.10	Ubicación geográfica de las estaciones meteorológicas.....	46
4.11	Diagrama textural para la determinación del grupo hidrológico del suelo	57
4.12	Superficie piezométrica de la unidad hidrogeológica UH-1	70
4.13	Esquema de perfil piezométrico tipo hiperbólico	71
4.14	Esquematzación de la conexión entre un río y un acuífero cuando el primero recibe aportes subterráneos	71
4.15	Esquematzación en 3D del funcionamiento hidrogeológico en Chiguayante ...	72
4.16	Perfil esquemático de los flujos de entrada acuífero de Chiguayante	73
4.17	Parámetros de la ley de Darcy en un acuífero libre	74
4.18	Ubicación geográfica de la sección "B".....	74
5. 1	Distribución de la temperatura	77
5. 2	Distribución del pH	78
5. 3	Distribución de sólidos disueltos totales	79
5. 4	Distribución de la conductividad eléctrica	80
5. 5	Clasificación de las aguas a partir del diagrama de Piper	84
5. 6	Clasificación de las aguas del acuífero de Chiguayante a partir del diagrama de Piper	85
5. 7	Diagrama de Stiff obtenido para cada muestra de agua analizada químicamente	86
5. 8	Mapa hidroquímico según la concentración de elementos mayoritarios ...	87
5. 9	Distribución de la concentración de elementos que superan la norma NCh409. a) Arsénico. b) Manganeseo	89
6. 1	Mapa de pendientes	93
6. 2	Mapa de vulnerabilidad del acuífero ante pesticidas y otros contaminantes.	94

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla	Página	
1. 1	Información recopilada y su contenido a analizar durante la primera etapa de este trabajo	16
1. 2	Área comprendida por cada subcuenca en la hoya hidrográfica del Biobío	16
3. 1	Proporción de arcilla, limo y arena para una profundidad de arraigamiento de 75 cm de la serie de suelo San Esteban	27

3. 2	Proporción de arcilla, limo y arena para una profundidad de arraigamiento de 75 cm de la serie de suelo Arenales	27
3. 3	Propiedades hidráulicas del suelo para las series de suelo San Esteban y Arenales a partir de la calculadora de propiedades hidráulicas utilizada por la USDA	28
3. 4	Reserva máxima de agua correspondiente a las series de suelo San Esteban y Arenales	29
3. 5	Clasificación de usos del suelo de la comuna de Chiguayante	29
4. 1	Descripción de las unidades hidrogeológicas	32
4. 2	Clasificación de las unidades hidrogeológicas del área de estudio	35
4. 3	Valores de parámetros hidráulicos para el acuífero de la comuna de Chiguayante	38
4. 4	Clasificación del acuífero según transmisividad	38
4. 5	Nivel estático y freático correspondiente a cada pozo catastrado en terreno	40
4. 6	Variación del nivel estático período invierno-verano para cada pozo medido en la segunda campaña de terreno	43
4. 7	Estaciones meteorológicas utilizadas para el análisis de precipitaciones	46
4. 8	Grupos hidrológicos de suelos, según las clasificaciones del <i>Natural Resource Conservation Service</i> (USDA-SCS, 1964)	56
4. 9	Condiciones antecedentes de humedad básicas empleadas por el método SCS. Estación Inactiva: Octubre-Marzo; Estación activa: abril-septiembre	57
4.10	Valores de Números de Curva (CN) de escorrentía para usos selectos de tierra agrícola, suburbana y urbana (condiciones antecedentes de humedad II, Ia = 0,2S)	58
4.11	Valores de CN ponderado para las series de suelo San Esteban y Arenales.....	58
4.12	Valores de abstracción máxima para las series de suelo San Esteban y Arenales	59
4.13	Propiedades hidráulicas del suelo ingresadas a la planilla Easy-balance v3.0 para la determinación de la evapotranspiración	60
4.14	Resultados mensuales de ETR obtenidos para la serie San Esteban, a partir de la planilla easy-balance v3.0	62
4.15	Resultados mensuales de ETR obtenidos para la serie Arenales, a partir de la planilla easy-balance v3.0	63
4.16	Resultados mensuales de la recarga obtenidos para la serie San Esteban, a partir de la planilla easy-balance v3.0	64
4.17	Resultados mensuales de la recarga obtenidos para la serie Arenales, a partir de la planilla easy-balance v3.0	65
4.18	Escorrentía superficial para las series de suelo San Esteban y Arenales	68
5. 1	Clasificación de los elementos según rango de concentración en las aguas subterráneas.....	81
5. 2	Valores de parámetros fisicoquímicos registrados en las estaciones de invierno y verano	83
5. 3	Comparación entre la concentración de elementos mayoritarios de las aguas presentes en Chiguayante y los valores típicos de aguas dulces	85
5. 4	Valores obtenidos para cada parámetro de calidad de agua potable requerido por la norma NCh409/2005	90
6. 1	Puntuación obtenida para cada parámetro de vulnerabilidad requerido por el método DRASTIC	92

6. 2	Categorización de vulnerabilidad a distintas profundidades del nivel freático, según la puntuación obtenida	94
9. 1	Frecuencia decreciente de elementos en aguas subterránea	96

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico		Página
4. 1	Variación del nivel estático período invierno-verano para cada pozo medido en la segunda campaña de terreno	44
4. 2	Comparación de promedio de precipitaciones entre estaciones Chiguayante y Estero Hualqui en desembocadura, años 2013 - 2016	47
4. 3	Comparación de promedio de precipitaciones entre estaciones Chiguayante y Concepción, periodo 2013 - 2016	48
4. 4	Comparación de promedio de precipitaciones entre estaciones Chiguayante y Las Pataguas, periodo 2013 - 2016	48
4. 5	Comparación de promedio de precipitaciones entre estaciones Chiguayante y Estero Nonguén frente u. Biobío, periodo 2013 - 2016	48
4. 6	Comparación de promedio de precipitaciones entre estaciones Chiguayante y Río Andalién en puente Trinitarias, periodo 2013 - 2016	49
4. 7	Comparación de precipitación acumulada entre estaciones Chiguayante y Las Pataguas, periodo 2014 - 2015	49
4. 8	Comparación de precipitación acumulada entre estaciones Chiguayante y Río Andalién, periodo 2014 - 2015	50
4. 9	Comparación de precipitaciones acumuladas y promediadas entre la estación Chiguayante y las estaciones contiguas, años 2014 - 2015	50
4.10	Comparación de temperatura ambiental entre las estaciones de Chiguayante y Concepción, año 2013	51
4.11	Comparación de temperatura ambiental entre las estaciones de Chiguayante y Concepción, año 2014	51
4.12	Comparación de temperatura ambiental entre las estaciones de Chiguayante, Concepción y Las Pataguas, año 2015	52
4.13	Comparación de temperatura ambiental entre las estaciones de Chiguayante, Concepción y Las Pataguas, año 2016	52
4.14	Evolución temporal de precipitación (en azul, estación Las Pataguas) y temperatura (en rojo, estación Concepción) desde el año 1993 a 2015	53
4.15	Evolución temporal de la precipitación (P), ETP y ETR a lo largo de un año hidrológico para la serie San Esteban	61
4.16	Evolución temporal de la precipitación (P), ETP y ETR a lo largo de un año hidrológico para la serie Arenales	61
4.17	Relación entre la precipitación y la recarga para la serie San Esteban, durante el periodo 1993 - 2015	66
4.18	Relación entre la precipitación y la recarga para la serie Arenales, durante el periodo 1993 - 2015	66
5. 1	Distribución estadística de los parámetros fisicoquímicos en aguas subterráneas	75
5. 2	Distribución estadística de los parámetros fisicoquímicos en afloramientos de agua subterránea (manantiales)	76

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía	Página
1. 1 Diaclasas presentes en el Batolito de la Costa de la zona de estudio	22
1. 2 Diaclasas presentes en el Batolito de la Costa de la zona de estudio, afloramiento de agua subterránea	22



RESUMEN

La comuna de Chiguayante, enmarcada territorialmente en la cuenca del río Biobío, entre las coordenadas geográficas $36^{\circ} 51'$ y $36^{\circ} 57'$ sur y $73^{\circ} 00'$ y $73^{\circ} 03'$ oeste, posee un acuífero de tipo libre, compuesto por sedimentos de arenas fluviales no consolidadas y semi-consolidadas, finas a gruesas, de alrededor de 100 m de espesor depositadas como terrazas por el río Biobío durante el Cuaternario, constituyendo la unidad hidrogeológica UH-1, cuya porosidad, de tipo primaria (intergranular), permite una alta transmisión de agua subterránea. Los límites laterales del acuífero lo componen las unidades hidrogeológicas UH-2 (rocas intrusivas del batolito de la costa) y UH-3 (serie oriental del basamento metamórfico), donde su importancia hidrogeológica se limita a la presencia de estructuras (diaclasas), conformando un acuitardo y un acucludo, respectivamente, de bajo a muy bajo potencial hídrico.

Durante la época invernal, el nivel freático en el acuífero varía entre 0,38m y 16,4m de profundidad., alcanzado cotas desde 32,46 m s.n.m. al este del acuífero; hasta 8,93 m s.n.m, al oeste. Lo anterior, establece que el movimiento del agua subterránea es sentido este-oeste, con un gradiente hidráulico que varía entre 0,0024 y 0,022, hasta descargar al río Biobío, el cual posee características de río ganador o efluente. En la época estival, el nivel freático tiende a descender en hasta 1,68m de profundidad.

El promedio de precipitación anual en la comuna de Chiguayante, de origen pluvial, es de 1022,5 mm, de los cuales el 33% genera evapotranspiración; 21%, escorrentía superficial; y 46% se infiltra hacia las profundidades del acuífero, constituyendo una recarga de 472,52 mm/año.

Los parámetros fisicoquímicos (esencialmente sólidos disueltos totales y conductividad eléctrica) establecen que las aguas subterráneas tienen muy poca evolución, dado el corto trayecto que éstas recorren hasta la zona de descarga, lo que es evidenciado, además, a partir de los análisis químicos obtenidos de 12 muestras de agua monitoreadas en el área de estudio, cuyos diagramas de Piper y Stiff las clasifica como del tipo bicarbonatadas cálcicas con leves tendencias a los iones sodio y magnesio. Según el método DRASTIC, y en base a las características físicas e hidráulicas del acuífero, éste posee una vulnerabilidad muy alta a la contaminación por pesticidas y otros contaminantes en zonas donde el nivel freático se encuentra más cercano a la superficie y hasta una profundidad de 4,6 m (este del área de estudio), y a medida que aumenta la profundidad y hasta los 22,9 m, se mantiene en una categoría de alta vulnerabilidad.

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Generalidades

En la presente memoria, realizada para optar al Título de Geóloga y que ha sido desarrollada con el apoyo del departamento de Ciencias de la Tierra de la Universidad de Concepción, se realiza un levantamiento hidrogeológico conceptual de la comuna de Chiguayante, para entender el comportamiento del agua subterránea en aquella zona y sus características hidroquímicas, así como también se evalúa la vulnerabilidad del acuífero, estimación que permite anteponerse frente a escenarios futuros, tales como contaminación debido al uso de pesticidas u otro tipo de sustancias.

1.2. Objetivos y alcances del estudio

1.2.1. Objetivo general

El objetivo general del presente estudio es comprender la dinámica hidrogeológica en la zona de la comuna de Chiguayante, la cual está situada en la cuenca del río Biobío, con el fin de crear una herramienta de apoyo para mejorar la gestión del recurso de agua subterránea.

1.2.2. Objetivos específicos

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

1. Describir y caracterizar las series de suelo presentes en el área de estudio.
2. Definir y caracterizar unidades hidrogeológicas.
3. Determinar el tipo de acuífero
4. Realizar un balance hídrico para determinar parámetros de evapotranspiración, escorrentía superficial y recarga.
5. Trazar la superficie piezométrica a partir de las mediciones del nivel freático de pozos ubicados dentro del límite urbano de la comuna de Chiguayante.
6. Analizar y clasificar las aguas subterráneas, a partir de la interpretación de análisis químicos y de los parámetros fisicoquímicos medidos en terreno.
7. Evaluar la vulnerabilidad del acuífero ante una eventual contaminación.
8. Desarrollar un modelo conceptual que represente el funcionamiento del acuífero.
9. Elaborar un informe que incluya mapas temáticos de la zona de estudio.

1.3. Ubicación y accesos

El área de estudio corresponde a la comuna de Chiguayante, la cual está ubicada en la ribera oriente del Río Biobío, entre los paralelos $36^{\circ} 51'$ y $36^{\circ} 57'$ de latitud sur y los meridianos $73^{\circ} 00'$ y $73^{\circ} 03'$ de longitud oeste (Figura 1.1), y a unos 11 km de la ciudad de Concepción, capital de la provincia homónima y de la Región del Biobío.

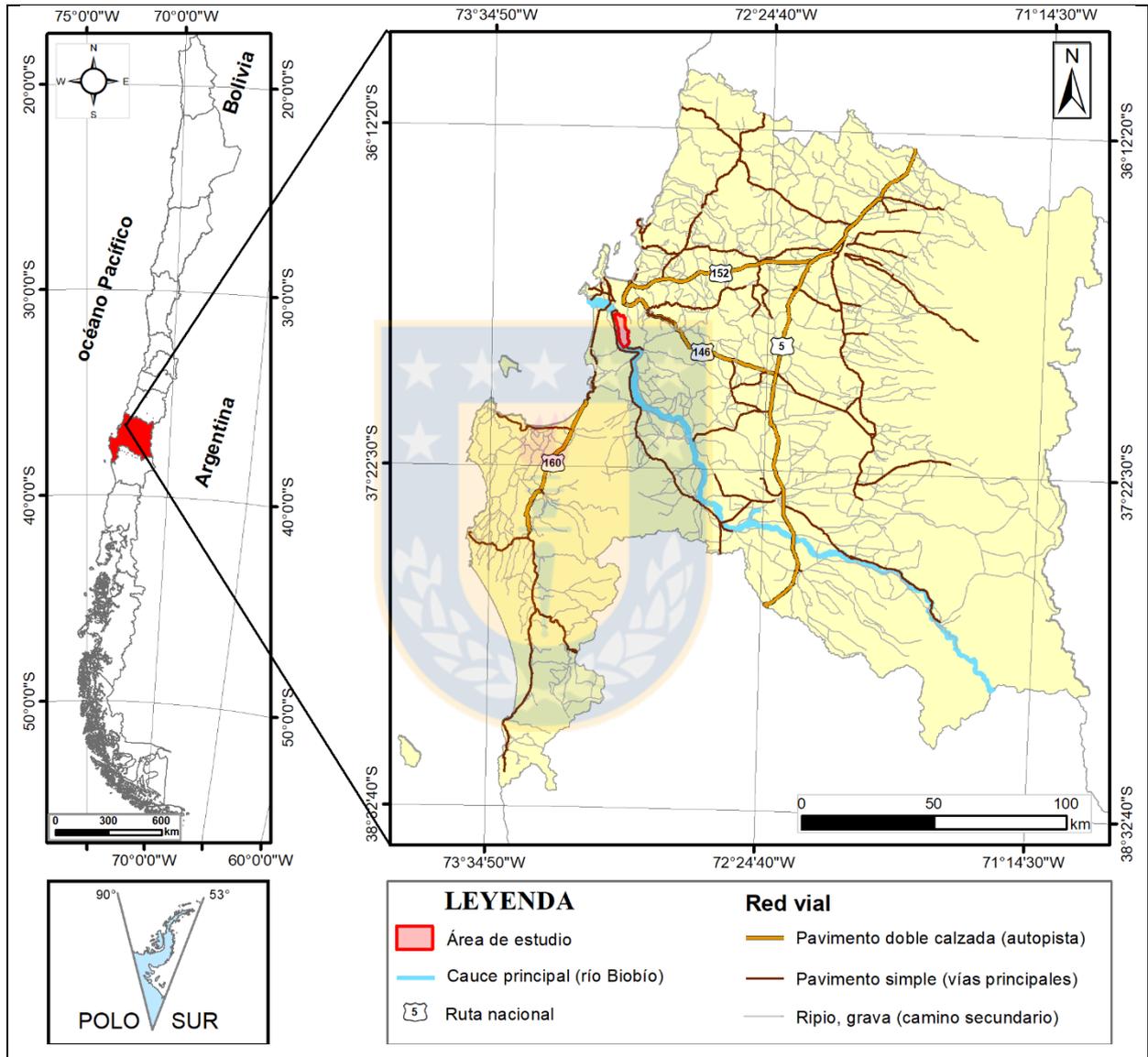


Figura 1.1: Ubicación geográfica de la comuna de Chiguayante.

La comuna de Chiguayante está limitada en el norte por la calle Sanders y en el sur por el Estero La Leonera. Este límite separa a Chiguayante, tanto de la comuna de Concepción, por el norte como de la comuna de Hualqui, por el sur. Por el este, el límite urbano de la ciudad

corresponde a la curva de nivel 50 m s.n.m. de la Cordillera de la Costa; mientras que, por el oeste, la ribera del Río Biobío (Figura 1.2).

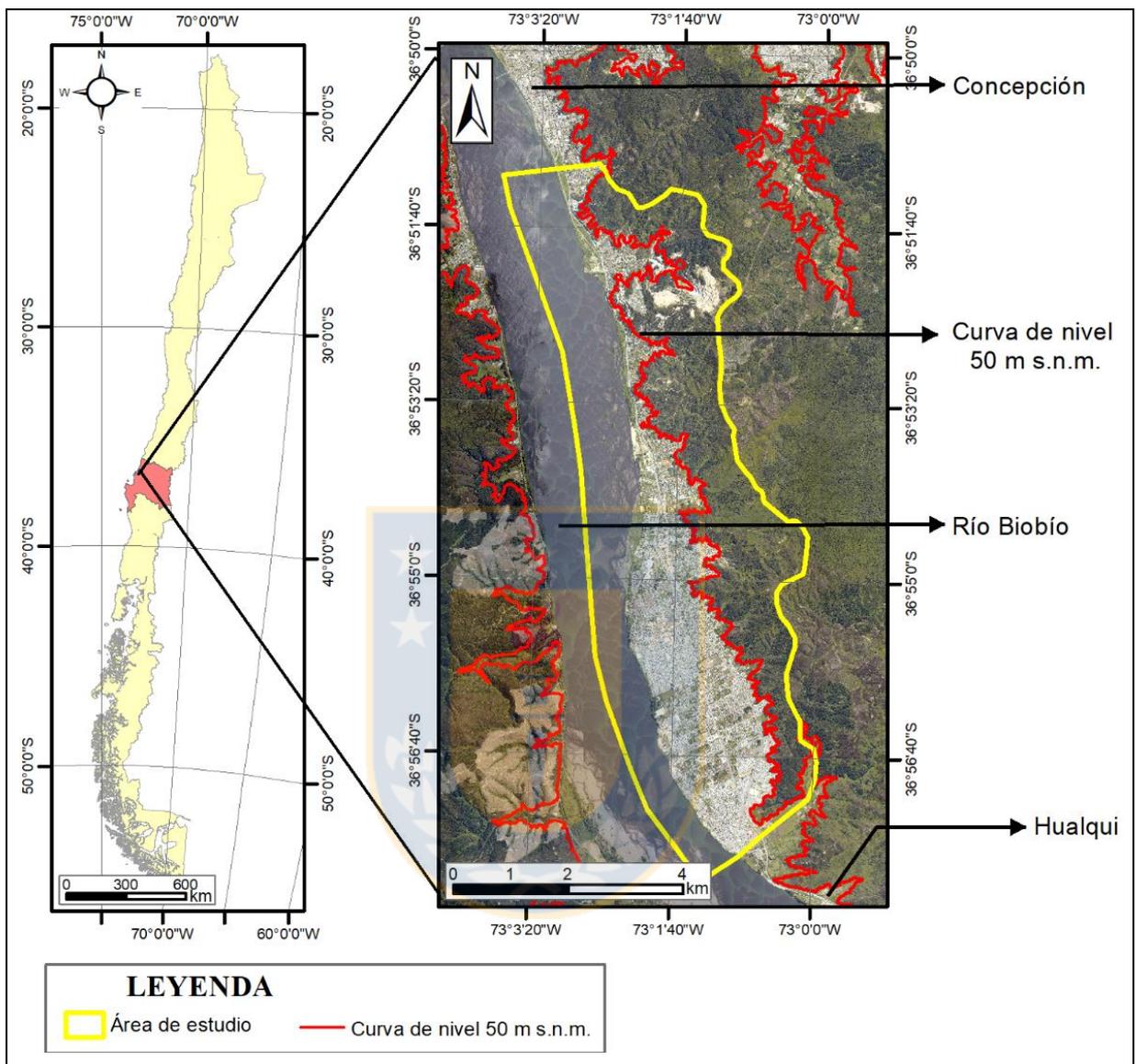


Figura 1.2: Límites de la comuna de Chiguayante.

El ingreso a la comuna de Chiguayante se efectúa desde la ciudad de Concepción a través del camino Concepción-Chiguayante, el cual comienza en Avda. Pedro de Valdivia. Desde la localidad de Hualqui también existe una vía pavimentada, la ruta O-60, que conecta con la zona sur del área de estudio (Figura 1.3).

1.4. Metodología

El método de trabajo para este estudio incluye tres etapas:

1.4.1. Etapa de pre-terreno

Consiste en la búsqueda y recopilación de información y antecedentes, con respecto a la geología, hidrología e hidrogeología, del área de estudio. Igualmente, ha sido realizada una compilación de antecedentes técnicos de pozos ubicados en el área de estudio, incluidos en las carpetas de los expedientes de solicitudes de derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas.

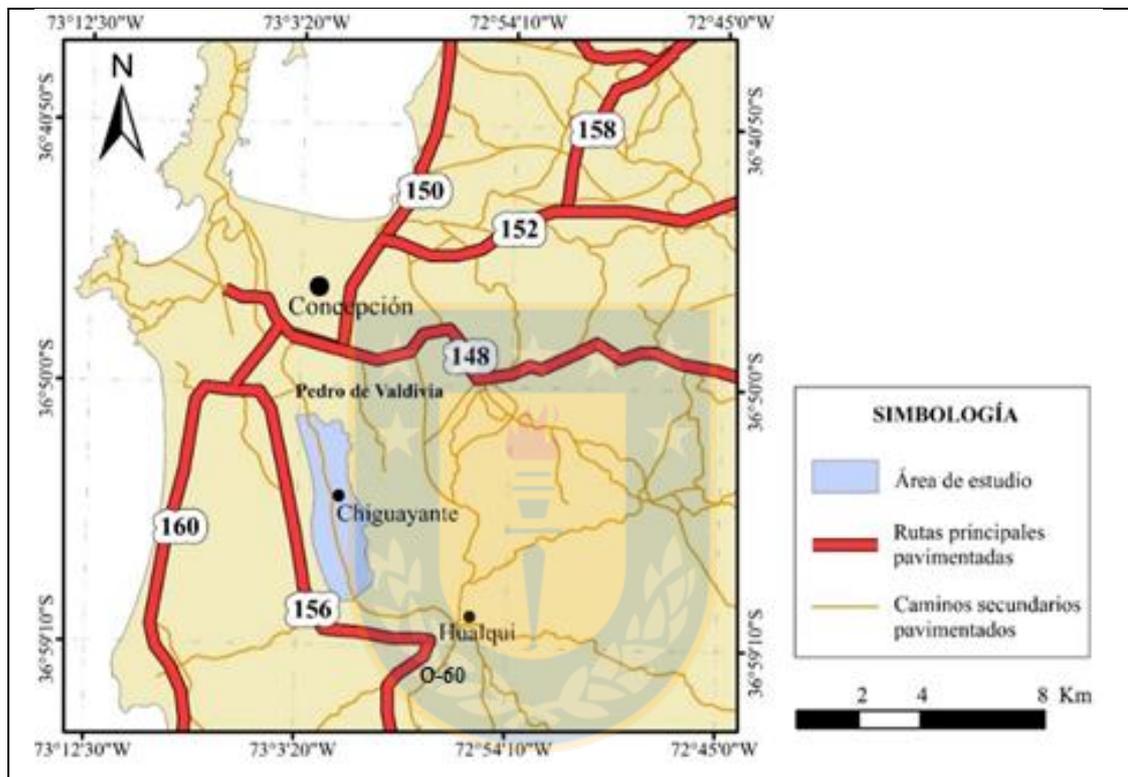


Figura 1.3: Rutas de acceso al área de estudio.

1.4.2. Etapa de terreno

En esta etapa se hicieron dos campañas de terreno. La primera, ejecutada en el periodo de invierno desde el 5 de agosto hasta el 7 de septiembre del 2016, cuya finalidad consistió, principalmente, en la medición de niveles estáticos de 46 pozos distribuidos en la comuna de Chiguayante, así como también de parámetros fisicoquímicos *in situ* (pH, temperatura, conductividad eléctrica y sólidos disueltos totales). Los parámetros fisicoquímicos fueron medidos, además, en 12 manantiales ubicados al este del área de estudio. Cabe destacar, que

durante las salidas de terreno se ha hecho un reconocimiento de la geología y geomorfología del área de estudio.

La segunda campaña de terreno se efectuó el 13 de marzo del 2017, con el objetivo de observar las variaciones del nivel estático y de los parámetros fisicoquímicos en la época estival. Para ello, se hicieron mediciones en 13 pozos, cuya distribución abarca toda el área de estudio.

En forma paralela, 12 muestras de agua extraídas durante la primera campaña de terreno fueron enviadas para análisis químico al laboratorio analítico ACME de Vancouver (Canadá), para determinar la composición química del agua, a partir del análisis de 75 parámetros (elementos mayoritarios, alcalinidad y aniones).

Los materiales utilizados durante esta etapa son los siguientes:

- Navegador GPS marca Garmin, modelo e-Trex.
- Medidor de pH/CE/TDS/temperatura marca Hanna, modelo HI 98129.
- Medidor de nivel de agua marca Solinst, modelo 101 P2.
- Lupa mineralógica marca Bausch and Lomb de 20x.
- Lápiz rayador con punta de tungsteno e imán.
- Martillo geológico Estwing.
- Balde para extraer agua del acuífero y determinar el caudal de los manantiales.
- Botellas plásticas.
- Cámara fotográfica de celular Motorola XT1040.
- Libreta de terreno empastada.
- Chaleco reflectante y lentes de seguridad.
- Zapatos de seguridad y sombrero para el sol.

1.4.3. Trabajo de gabinete

En esta etapa se realiza la interpretación de toda la información adquirida durante las etapas pre-terreno y terreno. Para ello, han sido utilizados los siguientes programas de computación:

- AQTESOLV versión de prueba: determinación de características hidráulicas del acuífero, tales como transmisividad, conductividad hidráulica y coeficiente de almacenamiento al ingresar datos de ensayos de bombeo realizados en dos casas particulares, en la antigua empresa de madera MASISA y en el recinto deportivo Estadio Español.

- AquiferTest Pro v.4.2: verificación de los parámetros hidráulicos obtenidos a partir del programa AQTEVOLV.
- Adobe illustrator CC 2015: esquematización de la estratigrafía de pozos adquiridos de los expedientes publicados por la DGA.
- ArcGIS v.10.1.: confección de mapas geológico, topográfico, hidrológico, de usos de suelo, satelital, modelo conceptual, entre otros.

1.5. Trabajos anteriores

Los trabajos anteriores utilizados en este informe debido a su implicancia con la hidrogeología son los siguientes:

- Coyne et bellier – europact (1995): realiza una caracterización general de la cuenca del Biobío para mejorar la gestión de los recursos hídricos.
- CIREN (1999): efectúa un estudio agrológico de las distintas regiones de Chile, en el que se incluye la descripción de cada serie de suelo con cuadros analíticos de propiedades físicas, químicas y fisicoquímicas.
- DGA (2003-2011): Publica en red las características de pozos en la comuna, extraída del Catastro Público de Aguas en la Dirección General de Aguas.
- Geología de campo II, Universidad de Concepción (2009): Reconocimiento y descripción de la geología de un área de estudio comprendida en la Provincia de Concepción, definiendo y caracterizando las diferentes unidades litológicas.
- Instituto de investigaciones agropecuarias (2010): Caracteriza hidrogeológicamente la cuenca del Biobío a partir de la medición de niveles estáticos ubicados en los principales acuíferos de la región.
- Aquaterra ingenieros limitada (2012): Levanta información hidrogeológica de la cuenca del Biobío y, a partir de ello, el desarrollo de un modelo conceptual.
- Aqualogy medioambiente Chile S.A. (2014): Realiza un estudio hidrogeológico en diferentes cuencas de la región del Biobío.

1.6. Geomorfología

1.6.1. Geomorfología regional

Chile ocupa el margen continental activo del Pacífico Sudamericano en la zona de convergencia entre las placas de Nazca y Antártica, por el oeste, y la placa Sudamericana, por

el este, y ello ha controlado su evolución geológica desde el Paleozoico hasta la actualidad. De este modo, sus rasgos geomorfológicos están relacionados con diversos procesos de convergencia y subducción que han tenido efectos "constructivos" o "destructivos", así como también la amplia gama de procesos asociados a transgresiones marinas y episodios continentales. Lo anterior, ha conllevado que nuestro país conste de cinco rasgos geomorfológicos principales y bien definidos (Börgel, 1983), los cuales son, de este a oeste: Cordillera de los Andes, precordillera, depresión central, Cordillera de la Costa y planicies costeras, todas alineadas preferentemente en dirección norte-sur (Figura. 1.4).

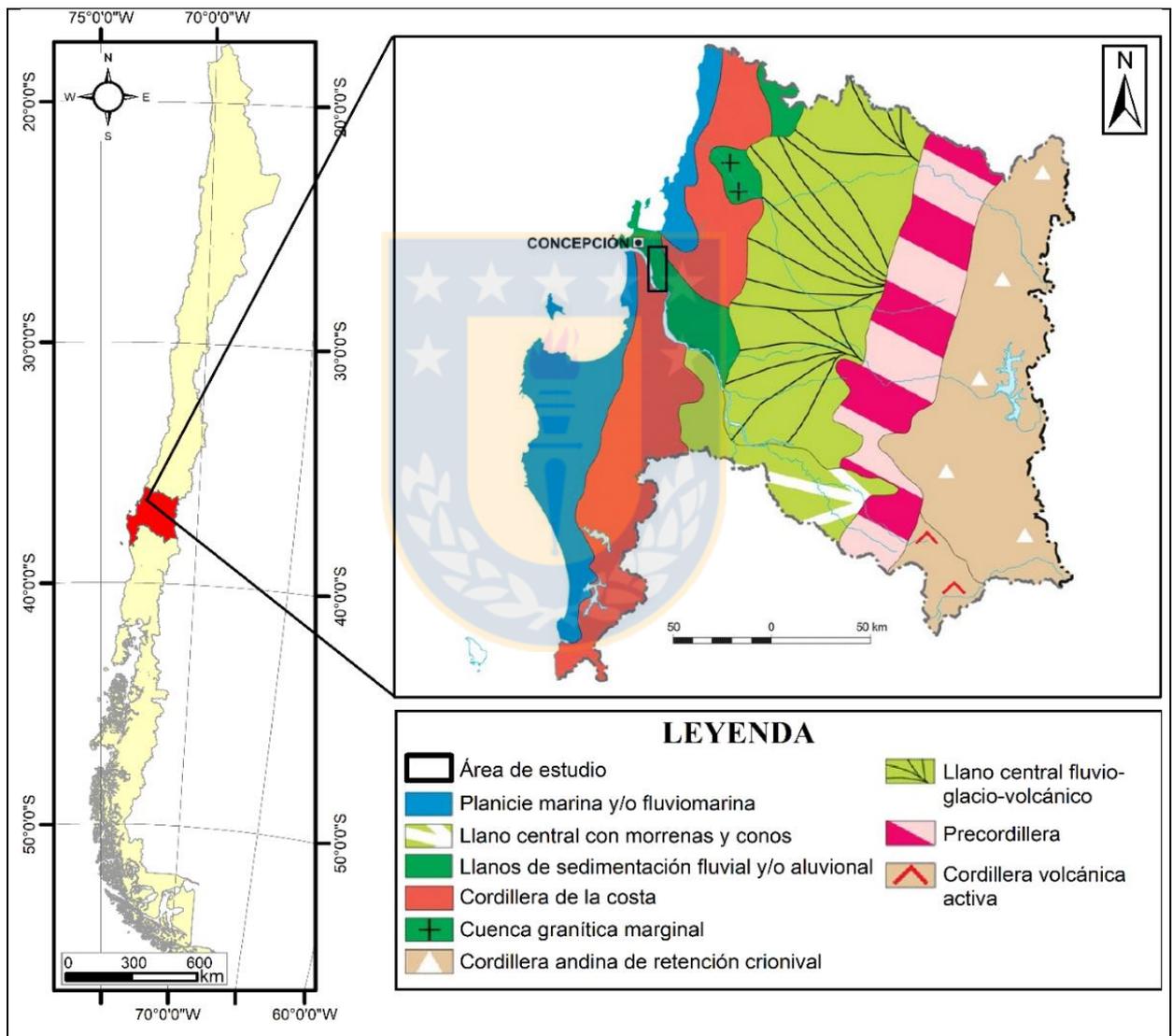


Figura 1.4: Unidades geomorfológicas de la región del Biobío. Tomado del Instituto geográfico militar IGM, según Börgel (1983).

Según la clasificación geomorfológica de Chile realizada por Börgel (1983), en la que caracteriza los cinco rasgos geomorfológicos principales de norte a sur del país, y junto al

Instituto Geográfico Militar de Chile (IGM), determinan que la Región del Biobío se ubica en la tercera zona denominada “Región central de las cuencas y del llano fluvio-glacio-volcánico”, la cual está extendida desde la región metropolitana de Santiago por el norte, hasta la región del Biobío por el sur.

Las grandes unidades del relieve que caracterizan el espacio territorial de la Región del Biobío están organizadas en dirección meridiana de NNE a SSW, en las cuales es posible distinguir las cinco unidades morfológicas nombradas anteriormente, cada una con rasgos característicos en orden longitudinal. También existe una unidad morfológica menor que está incluida en las anteriores, denominada “Llanos de sedimentación fluvial y/o aluvional”.

La Cordillera de los Andes constituye un relieve abrupto, cuyas alturas promedio fluctúan entre los 1.700 y 1.800 m s.n.m. y sólo algunas cumbres, de origen volcánico, logran sobrepasar los 3.000 m s.n.m. (volcán Chillán y Callaqui). Está disectada por numerosos cursos menores y por grandes ríos (Biobío, Duqueco, Laja y Cholguán), que la cruzan y constituyen grandes valles.

El contacto con la depresión intermedia se hace a través de un relieve menor constituido por serranías que se hallan adosadas al pie de la cordillera. Este conjunto es conocido como precordillera y su altura media oscila entre 400 a 500 m s.n.m. Los ríos que la atraviesan han disectado estas serranías en profundas quebradas con laderas abruptas.

Entre la precordillera y la Cordillera de la Costa se desarrolla la depresión intermedia, la cual corresponde a una “planicie fuertemente ondulada, con un relieve local que sobrepasa los 200 m” (Fuenzalida, 1965). Constituye una amplia llanura de unos 150 m s.n.m. (altitud media), con una tendencia ascendente hacia el sur. Al sur del río Biobío, por avance de la precordillera, la depresión intermedia queda reducida al simple corredor del río Vergara, estrechándose paulatinamente con relieves y lomajes menores, hasta quedar en contacto con la cordillera de Nahuelbuta por el oeste.

La Cordillera de la Costa posee características opuestas al norte y sur del Río Biobío. Al norte, tiene la fisionomía de un macizo maduro, suavemente acolinado y cuya altura media no pasa de 400 m s.n.m. En esta agrupación de colinas, emergen algunos cerros que dominan el conjunto del paisaje: Cayumanque (764 m s.n.m.), Queime (548 m s.n.m.). Al sur del Río

Biobío, la fisonomía del relieve cambia bruscamente, ya que la cordillera comienza a alzarse en dirección sur, y pasa a constituir la cordillera de Nahuelbuta, que alcanza en el cerro Nahuel su máxima altitud (1.470 m s.n.m.). Sus cumbres son amesetadas y los valles profundamente encajonados. Este bastión constituye una barrera importante en el orden físico y humano. Más al sur, en la latitud de Contulmo-Purén, la cordillera sufre un estrangulamiento y, a partir de allí, comienza a perder su carácter de gran macizo.

Finalmente, en el borde costero aparecen los últimos rasgos del relieve. Con altitudes de 10 a 50 m s.n.m. son desarrolladas las planicies litorales, que van de norte a sur de la región en forma discontinua. Al norte del Río Biobío hay una costa acantilada, con reducidas planicies litorales, pero es a partir de Arauco (sur del Río Biobío) donde ellas alcanzan su mayor desarrollo, constituyendo una ancha meseta (60 km), denominada Arauco-Cañete, la cual tiene terrazas marinas que alcanzan un ancho medio de 25 km. En una posición más baja están las llanuras arenosas, que tienen desarrollo en Concepción, San Pedro de la Paz y Carampangue. Al sur de la meseta de Arauco la llanura reaparece para adquirir su máximo desarrollo.

Los llanos de sedimentación fluvial y/o aluvional están distribuidos aledaños al curso distal del río Biobío, cercano a su desembocadura y corresponden a llanos de sedimentación fluvial tanto de arenas negras provenientes de la actividad del volcán Antuco y que son depositadas finalmente en las playas al norte del río por deriva litoral, como a las arenas blancas presentes al sur de la desembocadura del río Biobío.

1.6.2. Geomorfología local

La topografía de la comuna de Chiguayante está constituida por elevados cerros hacia el oriente, bajo los cuales se extiende una larga y angosta terraza en dirección norte-sur, en la que se encuentra establecida la comuna. Además, abarca la parte baja de los faldeos de los cerros.

Son reconocidas tres unidades territoriales orientadas en sentido Oriente-Poniente (Anteproyecto del Plan Regulador Comunal, Ilustre Municipalidad de Chiguayante, 1999), que han jugado un rol fundamental en la localización de actividades (Figura 1.5). La mayor

parte de estos sectores y relieves han sido modificados por la acción humana. Estos corresponden a:

- Cordillera de la Costa
- Terrazas fluviales
- Río Biobío

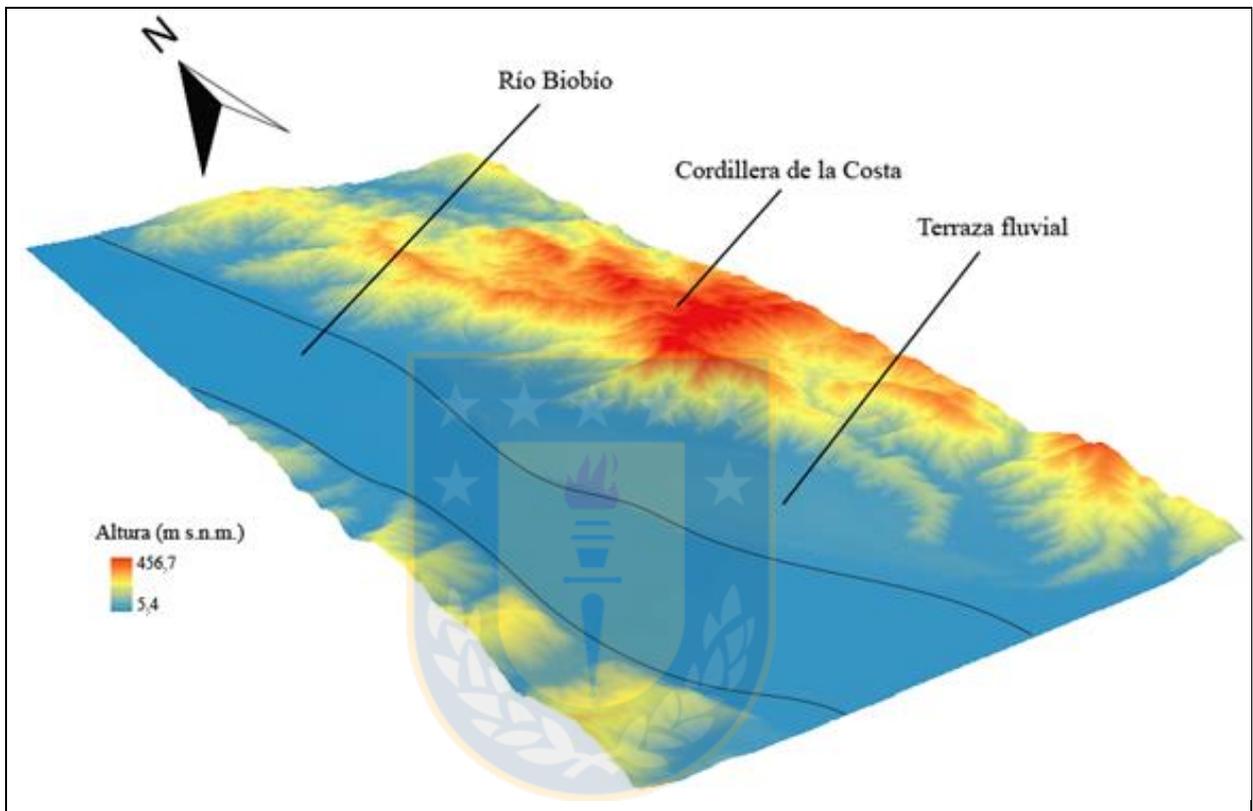


Figura 1.5: Imagen 3D de la geomorfología de la comuna de Chiguayante. Elaboración propia.

Cordillera de la Costa:

En términos generales, la Cordillera de la Costa está desarrollada en dirección paralela al litoral costero, es discontinua y descende en altura de norte a sur. Destaca la presencia de laderas de valle y de cordones desarrollados en roca granítica paleozoica, intervenido hoy por la expansión urbana. Sin embargo, es producida una fragilidad morfológica dada la potencia del manto granítico meteorizado, lo que conlleva a un alto contenido de arcillas. Lo anterior, sumado al vigor de las pendientes topográficas ($>20^\circ$) induce a procesos tales como derrumbes en masa y por caída de rocas, soliflucción (desplazamiento por hidratación del suelo) y coladas de barro (PLADECO, 2006). En cuanto al relieve, estos cordones graníticos alcanzan alturas entre los 300 y 460 ms.n.m.n, en la que sobresale un cerro emblemático, el

Manquimávida, que los españoles conocieron de los araucanos como “Monte de Cóndores” (PADEM, 2000).

Terraza Fluvial:

Es el siguiente componente geomorfológico (que incluye el borde de río) y está compuesto, según PLADECO (2006), de dos terrazas fluviales (superior e inferior) de arenas volcánicas construidas por el río Biobío (Figura 1.6), y cuyo origen proviene de la actividad eruptiva del volcán Antuco, hace 9.700 años (Thiele y otros, 1998). La terraza superior está ubicada desde la Cordillera de la Costa hacia el río. En algunos sectores existen dunas, las que desde hace años son explotadas para la construcción de viviendas. La terraza inferior bordea actualmente el río Biobío y, en algunos sectores, ocurren inundaciones invernales. Es en estas terrazas donde está ubicada la comuna de Chiguayante.

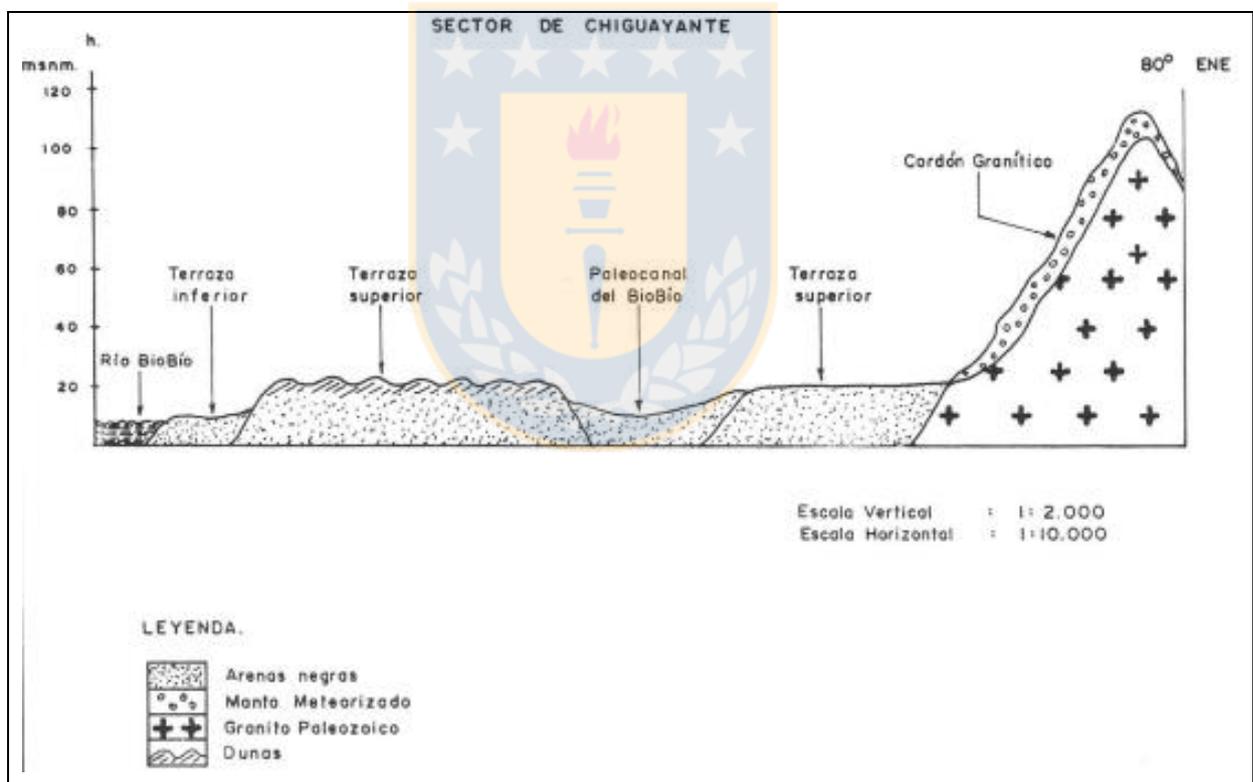


Figura 1.6: Perfil topográfico del sector de Chiguayante. Tomado de Peña (1995).

Río Biobío:

Corresponde al río principal de la cuenca hidrográfica del mismo nombre, cuyo cauce está cubierto parcialmente de arenas. Es este río el que ha formado las terrazas fluviales en que se

ubica la comuna de Chiguayante y las que han sido, hasta el día de hoy, fuertemente modificadas por el uso urbano.

1.7. Clima y vegetación

1.7.1. Clima

El clima de la Región del Biobío, según la Dirección Meteorológica de Chile (Cruz y Calderón, 2008), es templado cálido con una estación seca de 5 a 4 meses de duración en la zona norte, mientras que hacia el sector sur de la región el clima cambia a templado lluvioso con influencia mediterránea (Figura 1.7).

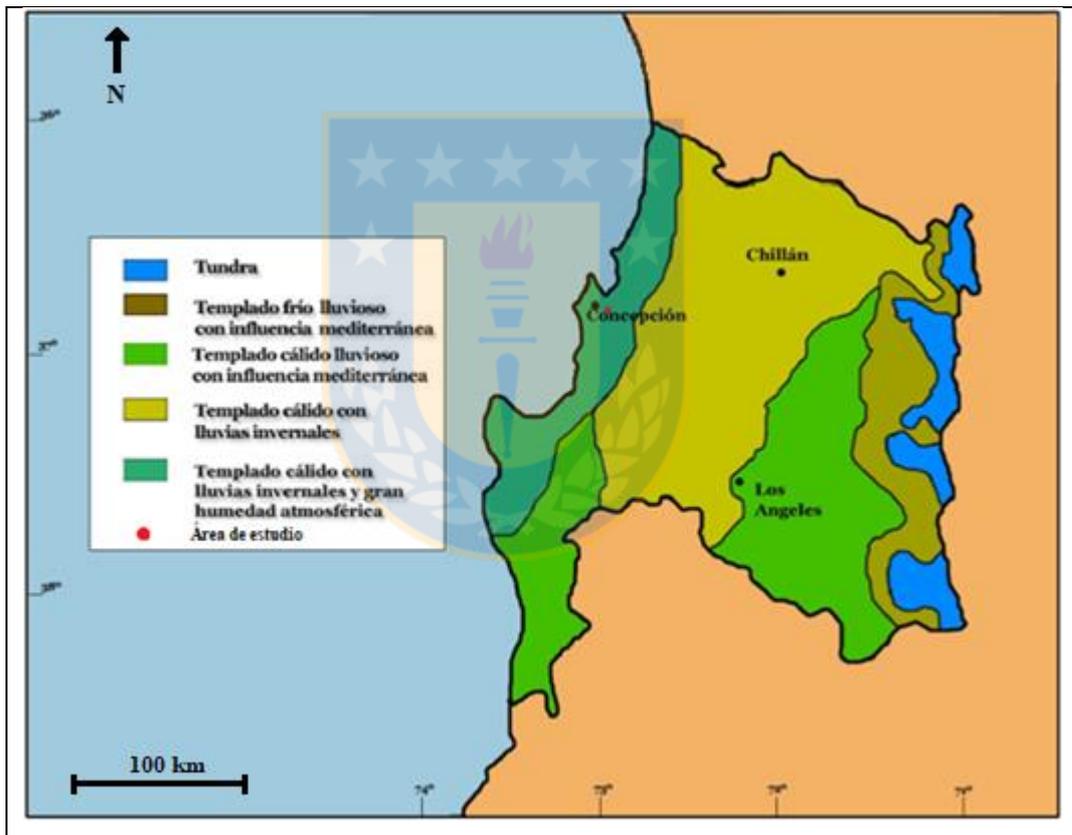


Figura 1.7: Mapa de los diferentes tipos de clima que imperan en la región del Biobío. Fuente: Dirección Meteorológica de Chile.

La orientación general de los relieves: Cordillera de la Costa, depresión central y Cordillera de los Andes, explican en gran medida estas particularidades climáticas. Así, la Cordillera de la Costa es el primer factor de diferenciación regional, ya que al actuar como barrera climática influye en la repartición de las temperaturas y precipitaciones. Su lado occidental recibe de frente los vientos del oeste y noroeste ligados a las perturbaciones de mal tiempo y contribuye

a reforzar las precipitaciones, creando así un dominio húmedo en los sectores altos de la cordillera. A ella se opone la vertiente oriental, que es siempre más seca. Por otra parte, las influencias marítimas, que son muy marcadas en toda la costa, sólo penetran débilmente hacia el interior a través de los valles del Itata y Biobío; en general, ellas son detenidas por los relieves costeros y es por esta razón que las temperaturas en la depresión central adquieren rasgos de continentalidad: veranos cálidos e inviernos fríos.

Según el estudio de CIER-SERPLAC (1977), el clima de la comuna de Chiguayante está enmarcado en el templado-cálido, con influencia marítima. Presenta una estación húmeda de siete a ocho meses de duración y una corta estación seca en verano. El promedio de sus precipitaciones alcanza los 1.330 mm al año, con una media máxima de 227,2 mm en junio y una media mínima de 9,32 mm en enero. Las temperaturas más bajas son registradas en julio con promedio de 9,1°C y las más altas en enero con promedio de 17°C.

Según el promedio de vientos dominantes, los del suroeste dominan desde el mes de septiembre a marzo y los vientos del norte, de abril a agosto.

1.7.2. Vegetación

Aunque no existe un estudio en detalle de la flora de la comuna, las observaciones preliminares indican que, al menos en el área del Fundo Nonguén, el proceso de colonización y desarrollo en el último siglo en que el área ha estado destinada a la producción de agua potable, ha permitido un incremento de la riqueza y diversidad, en relación con las áreas vecinas y urbanizadas. En el resto de la comuna, la vegetación tiene diversos grados de alteración, aunque subsisten sectores con vegetación nativa en algunas microcuencas.

El roble (*Nothofagus obliqua*) es la especie de árbol nativo más abundante en Nonguén, pero siguiendo el curso de los arroyos o en algunas laderas, existe una mayor diversidad de especies tales como el coihue (*Nothofagus dombeyi*), canelo (*Drimys winteri*), lingue (*Persea lingue*), maitén (*Maytenus boaria*), laurel (*Laurelia sempervirens*), olivillo (*Aextoxicum punctatum*), avellano (*Gevuina avellana*), y en los sectores más secos, litre (*Lithrea caustica*), peumo (*Cryptocarya alba*), maqui (*Aristotelia chilensis*), radial (*Lomatia hirsuta*), boldo (*Peumus boldus*), entre otros.

Entre esta vegetación arbórea nativa, se hallan rodales de especies introducidas, producto de antiguas plantaciones. Entre ellas, destacan las de pino (*Pinus radiata*), ciprés (*Cupressus macrocarpa*) y aramo (*Acacia dealbata*) (aunque esta última especie, comúnmente denominada “aromo del país”, es originaria de Australia) (Rodríguez y otros, 1983; Rodríguez y otros, 1995).

Se define una especie como extinta cuando no ha sido observada en los últimos 50 años (Benoit, 1989). Algunas de ellas, aunque se encuentran en peligro de extinción en Chile, han desaparecido en la comuna en las últimas décadas.

1.8. Hidrología

1.8.1. Cuenca del río Biobío

El área de estudio está enmarcada territorialmente en la cuenca del Río Biobío, la cual se encuentra situada entre las latitudes 36°48,2' – 38°21,5' sur con una orientación general de sureste a noroeste entre la Cordillera de los Andes y el Océano Pacífico. Tiene una extensión estimada de 24.371 km² (DGA, 1987), área correspondiente al 3% de la superficie continental del país; el 72% de la cuenca está ubicada en la Región del Biobío, y el 28% restante se encuentra en la Región de la Araucanía. Por su extensión, representa la tercera cuenca más grande del país, después de la del río Loa y la del río Baker (Valdovinos y Parra, 2006).

Limita al norte con la hoya del río Itata y, en su curso inferior, con la del río Andalién; al este, sus cabeceras quedan separadas por la Cordillera de los Andes de la cuenca alta del río Neuquén de la República Argentina; por el sur limita con las cuencas de los ríos Quino e Imperial. Por el oeste, queda separada en buena parte, por la cordillera de Nahuelbuta (Cordillera de la Costa), cabecera de una serie de ríos costeros tales como el Carampangue y el Lebu. El contacto hacia el océano Pacífico sólo lo logra en la desembocadura del río Biobío.

El Río Biobío nace en la Cordillera de los Andes, en los lagos Galletué e Icalma (Región de la Araucanía) a 1.160 m s.n.m. y en su recorrido de cerca de 380 km recibe numerosos afluentes, entre los cuales se destacan los ríos Ranquil, Lonquimay, Villucura, Lolco, Huequecura, Duqueco, Bureo, Laja y Vergara. Luego de atravesar los cordones montañosos, el valle central y Cordillera de la Costa desemboca al océano Pacífico, en la ciudad de Concepción e inmediatamente al sur de la ciudad de Talcahuano, en el extremo norte del golfo de Arauco.

Su régimen hidrológico es de alimentación mixta o nivo-pluvial. En las zonas altas y media del Río Biobío es de régimen marcadamente nival, en cuyos meses de primavera produce gran aumento de caudal debido de los deshielos cordilleranos de la parte alta de la zona montañosa, de las cuales, algunas de ellas corresponden a las llamadas “nieves eternas”. En la zona baja, el Río Biobío posee un régimen pluvial, donde registra precipitación media anual de 1.300 mm, con escurrimientos de características típicas de la zona centro-sur de Chile: grandes avenidas en la época invernal, lo que provoca, cada cierto periodo, inundaciones en varios sectores riberaños de la parte media y baja de la cuenca. Cabe destacar, que su régimen es marcadamente estacional, con un caudal máximo medio de 1.600 m³/s en invierno y un caudal medio mínimo de 200 m³/s en verano, mientras que su caudal medio anual fluctúa entre los 731 y 1.024 m³/s (Parra y otros, 1996).

Desde el punto de vista hidromorfológico el río tiene dos sectores claramente diferenciados, el sector del “ritrón” (río de montaña) y el sector del “potamón” (río de llanura), con características ambientales claramente diferenciables (Parra, 1996).

Respecto a sus características sedimentológicas, el curso inferior del río Biobío está caracterizado por la amplitud del cauce y baja pendiente, lo que produce a su vez baja capacidad de transporte de material. Así, en época de estiaje es posible observar gran cantidad de depósitos de sedimentos (bancos de arena), lo que provoca que la dirección del curso del río sea meandriforme y anastomosada, además de impedir la navegación, aún de pequeñas embarcaciones desde el océano.

Los sedimentos en la parte baja del Río Biobío están caracterizados por su homogeneidad y por estar constituidos, principalmente, por arenas gruesas, con excesos de partículas finas y ausencia de material transportado por el mecanismo de suspensión (Cisternas, 1993). El tamaño medio de las arenas fluctúa entre 0,56 y 0,80 phi. Comparativamente con otros ríos nacionales, es interesante destacar la ausencia de fangos, los cuales son importantes, debido a la afinidad que tienen los contaminantes hidrofóbicos con el material particulado fino.

La hoya hidrográfica del río Biobío está dividida en un total de 10 subcuencas (Tabla 1.1 y Figura 1.8), efectuada por la Dirección General de Aguas (Estudio hidrológico cuenca del Biobío: Zonas de riego (distritos censales), por sub-cuenca y nudos de simulación), y la que corresponde al área de estudio es denominada río Biobío bajo, la cual tiene una superficie total de 1.366 km² y constituye un 5,6% del total de la cuenca del río Biobío.

Tabla 1.1: Área comprendida por cada subcuenca en la hoya hidrográfica del Biobío. Fuente: DGA, 2004.

Subcuenca		Superficie	Superficie
Cód.	Nombre	(km ²)	(%)
0830	Río Biobío Alto	4.315	17,7
0831	Río Biobío entre río Ranquil y río Duqueco	3.625	14,9
0832	Río Duqueco	1.711	7,0
0833	Río Biobío entre río Duqueco y río Vergara	1.680	6,9
0834	Río Renaico	1.508	6,19
0835	Ríos Malleco y Vergara	2.836	11,6
0836	Río Biobío entre río Vergara y río Laja	2.662	10,9
0837	Río Laja Alto	2.750	11,3
0838	Laja Bajo	1.918	7,9
0839	Río Biobío Bajo	1.366	5,6
Total		24.371	100

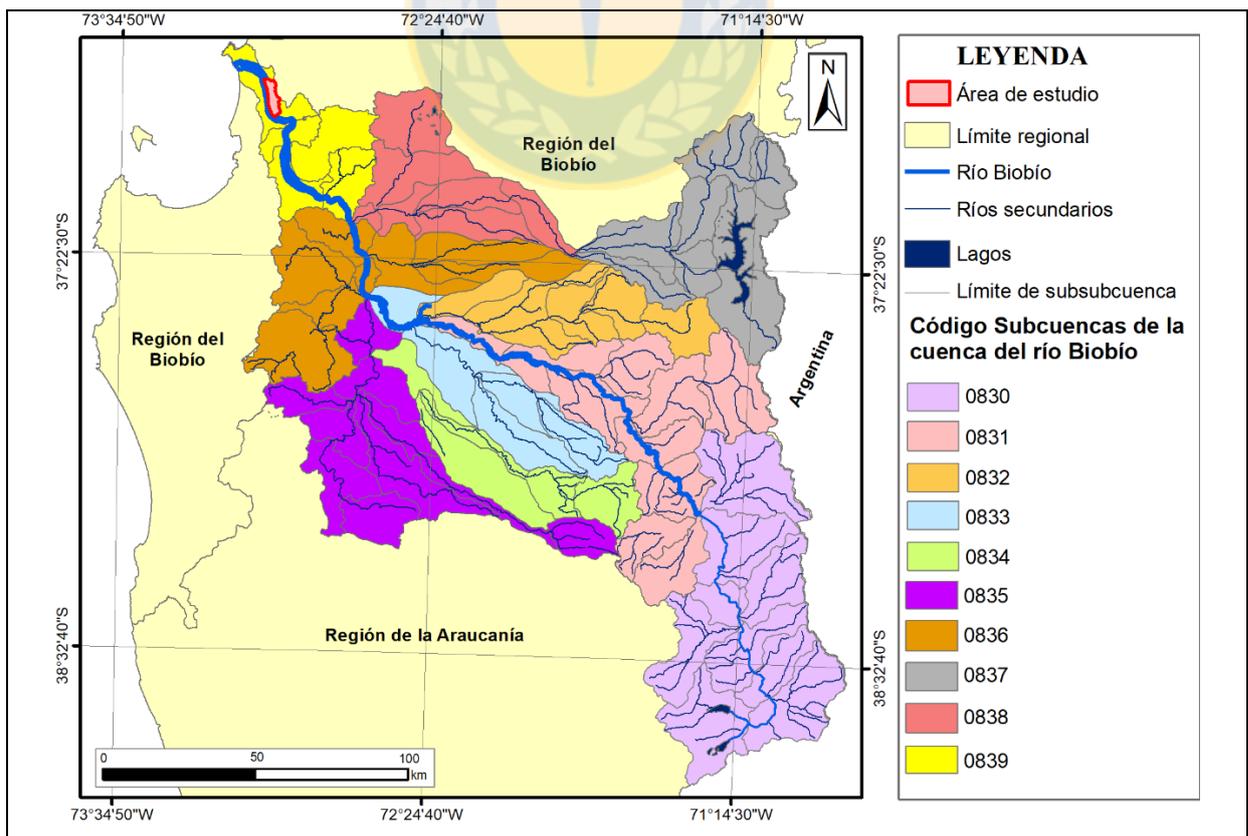


Figura 1.8: Subcuencas de la hoya hidrográfica del Biobío. Fuente: DGA, 2004.

1.9. Agradecimientos

En primer lugar, agradezco inmensamente a una persona muy especial, quien nos ha acogido a mí a mi hija en su residencia durante estos dos últimos años, nos ha apoyado en todo momento y ha tenido la paciencia de aguantar nuestro desorden. A la persona con quien he pasado horas y horas conversando de la vida y quien me ha enseñado que nuestra misión en la vida es dejar huellas, y eso se hace ayudando al prójimo sin esperar nada a cambio. Ella es mi tía Pati, a quien estimo y le agradezco de corazón.

A mi familia: mi madre, que cada día se preocupaba por el avance de mi memoria y siempre ha confiado en mí y mis habilidades; a mi padre, por ser una de las personas más influyentes durante mi camino profesional, guiándome en todo momento; mis hermanos y hermana, por confiar en mí en la realización de este trabajo y, finalmente, a mi pequeña y hermosa hija Antonia, quien me ha acompañado desde los inicios de la carrera, siendo un pilar fundamental en mi vida de lucha, perseverancia y fuerza, junto al gran amor, felicidad y regaloneo que me ha entregado.

A Don Luis Vásquez, por su infinita paciencia y quien con gran vocación me ha ayudado infinitamente en la realización de este informe, enseñándome a utilizar programas y en la entrega de información.

A mi profesora guía, Liubow González, por tener siempre buena disposición ante mis dudas y por su preocupación para que este trabajo pueda llevarse a cabo sin problemas.

A mis tres grandes amigos: Ramiro Muñoz, Gonzalo Vera y Paulo Urrutia, por haberme acompañado en esta etapa universitaria y en la formación de grandes y fuertes lazos de amistad.

Finalmente, agradecer a Dios por estar siempre conmigo, por proteger a mi familia y amigos y porque cada situación que me ha pasado en la vida ha sido siempre para bien.

2. MARCO GEOLÓGICO

2.1. Marco Geológico Local

El Marco Geológico Local en el cual está enmarcada la zona de estudio está constituido por rocas metamórficas y graníticas paleozoicas que forman la Cordillera de la Costa, la cual, a su vez, constituye una especie de barrera que tiende a retener en las orillas del río Biobío, las grandes descargas de materiales detríticos asociados a los procesos de erosión de las tierras correspondientes a la Cordillera de los Andes. Bajo esta perspectiva, los procesos de relleno y de modelación cuaternaria están asociados a acciones principalmente fluviales, las cuales son controladas tanto por la fuente cordillerana como por el nivel medio del mar. A continuación, es detallada la geología local correspondiente a la comuna de Chiguayante (Figura 2.1).

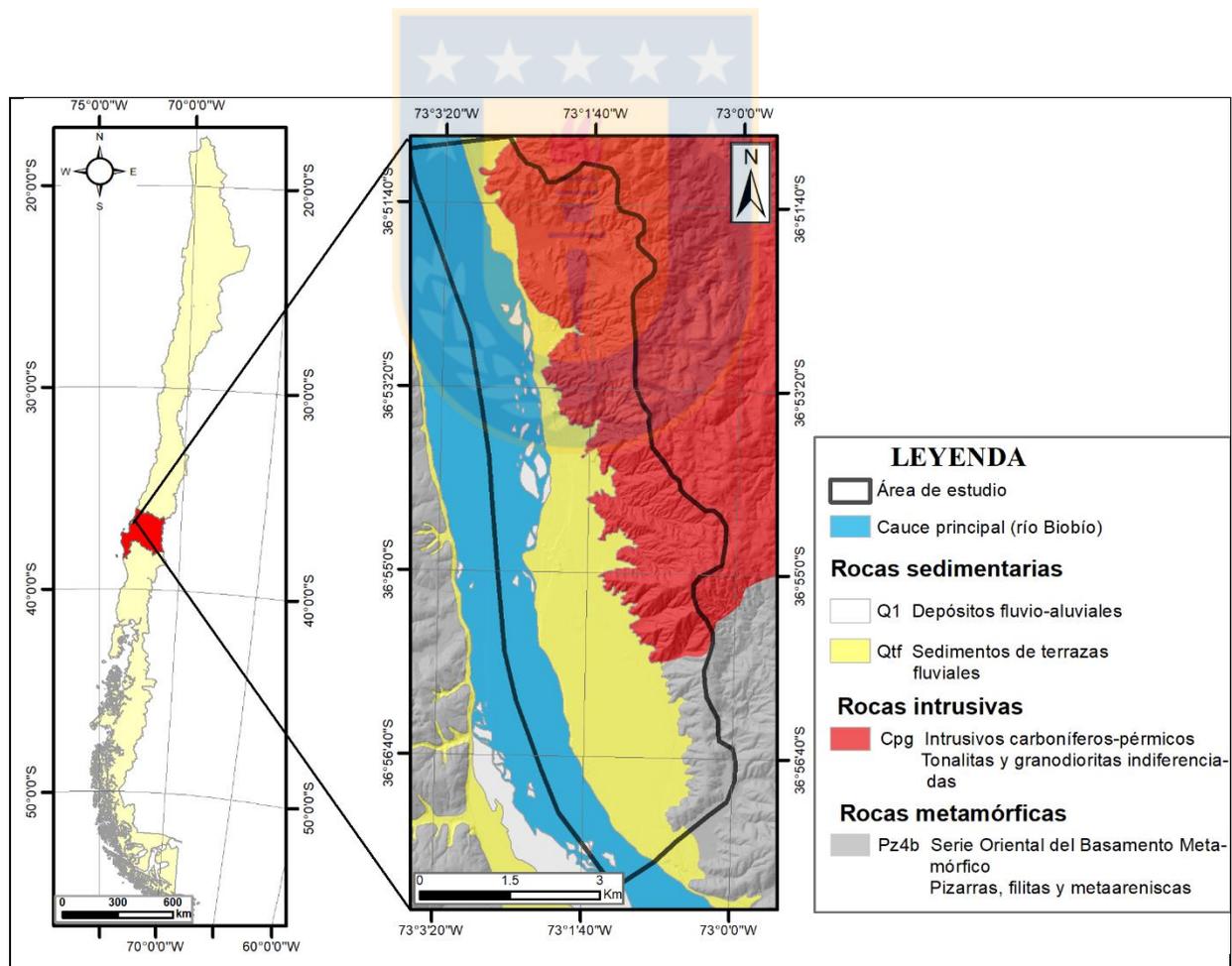


Figura 2.1: Mapa geológico de la comuna de Chiguayante.

2.1.1. Rocas metamórficas

- Serie Oriental del Basamento Metamórfico

Definición y relaciones estratigráficas

La designación de Basamento Metamórfico, para caracterizar a las rocas metamórficas que afloran en la región costera de Chile Central, fue empleada por González–Bonorino (1970), quien ha agrupado a estas rocas, de acuerdo con su grado de metamorfismo, en series metamórficas caracterizadas por valores particulares de presión y temperatura.

Posteriormente, Aguirre (1972), en base a antecedentes estructurales y litológicos, ha definido para el Basamento Metamórfico la Serie Oriental, caracterizada por un metamorfismo de baja presión/alta temperatura y la Serie Occidental, producto de un metamorfismo de alta presión/baja temperatura.

La base de esta unidad es desconocida y su límite superior se encuentra en contacto por inconformidad con las unidades estratificadas que corresponden a rocas sedimentarias mesozoicas (Ferraris, 1981; Gajardo, 1981).

Distribución y litología

Está constituido por metapsamitas, metapelitas, gneises y migmatitas (Aguirre y otros, 1972; Hervé, 1977), que se distribuyen como una franja prácticamente continua de dirección general NNE-SSO (Gajardo, 1981). En el área de estudio afloran en la ribera oriente del río Biobío, al sur de Chiguayante.

Edad y correlaciones

La Serie Oriental del Basamento Metamórfico, de protolito sedimentario depositado durante el Carbonífero (Deckart y otros, 2014) por acreción basal, fue sometida a metamorfismo regional de contacto por la intrusión del Batolito Costero del Sur, desde el Pensilvaniano al Cisuraliano (Willner, 2005; Glodny y otros, 2008; Deckart y otros, 2014).

2.1.2. Rocas intrusivas

- Batolito de la Costa

Los intrusivos que afloran en el área de estudio forman parte del Batolito de la Costa, integrado por un complejo plutónico que varía entre tonalita y granodiorita, los cuales

conforman gran parte de la Cordillera de la Costa, y tienen una relación de contacto por intrusión con las rocas del Basamento Metamórfico. Su edad es asignada entre el Paleozoico Superior y el Pérmico (Hervé, 1994) y afloran en el sector oriental del área de estudio, como una franja que se extiende en forma continua con una dirección NNE-SSO (Gajardo, 1981) que va desde Penco hasta Hualqui. Además, se encuentran en contacto por inconformidad a las series sedimentarias y volcano-sedimentarias del Triásico, correspondientes a la Formación Santa Juana, la cual aflora al sur del área de estudio.

Por otra parte, dataciones radiométricas por los métodos Rb-Sr y K-Ar efectuadas en diferentes sectores de afloramiento de este cuerpo intrusivo, tanto en el área de estudio como en su prolongación septentrional y meridional, señalan edades de 320 m.a., es decir, Carbonífero Inferior (Hervé, 1976).

La edad de 320 m.a. y edades comprendidas entre 250 y 270 m.a., obtenidas por el método K-Ar e interpretadas como rejuvenecimiento “parcial” (Dávila, 1979), están ubicadas, total y/o parcialmente, entre las isócronas límite de referencia de 273-342 m.a. definidas por Munizaga (1973), para los eventos ígneo-metamórficos ocurridos en las rocas graníticas y metamórficas de la Cordillera de la Costa de Chile central y sur y conforman, en general, una edad Paleozoico superior para el Batolito de la Costa.

No obstante, la existencia al noroeste de Quirihue de cuerpos graníticos con edades de 416 ± 20 m.a., determinadas por el método K-Ar (Hervé & Munizaga, 1978) señalarían, la existencia de intrusivos pre-carboníferos, como ocurre también en el área de Quintay, cerca de Valparaíso (Corvalán & Munizaga, 1972).

Cabe destacar, que estas rocas están muy alteradas y meteorizadas debido al clima húmedo de la región, lo que produce el llamado “maicillo” (lenguaje informal), el cual está principalmente compuesto por cuarzo, micas y feldespatos alterados, además de minerales accesorios.

2.1.3. Depósitos semi-consolidados y no consolidados

El Cuaternario está representado por una variedad de depósitos no consolidados resultantes de una serie de procesos sedimentarios de ocurrencia local, determinados por las condiciones climáticas y topográficas imperantes. Bajo esta perspectiva, y de acuerdo con los modos de

ocurrencia y/o mecanismos de depositación, se distinguen: depósitos fluviales de terraza y fluviales actuales.

- Depósitos Fluviales de Terraza

Corresponden a depósitos fluviales constituidos por arenas y limos de edad Holoceno, que son distinguidos por estar topográficamente más altos, los que constituyen terrazas de extensión continua que aflora a ambos lados de los cursos fluviales actuales, cuyos espesores máximos alcanzan 50 a 60 m, permitiendo el asentamiento de la población y buen desarrollo agrícola y ganadero (Ferraris, 1981). En el área de interés, estos depósitos semi-consolidados han sido desarrollados principalmente de sur a norte, en ambas riberas del río Biobío.

- Depósitos fluvio-aluviales actuales (Holoceno)

En elcauce actual de los ríos y esteros son encontrados depósitos fluviales, donde son mezclados bloques, gravas, arenas y arcillas. Estos depósitos, aunque tienen buen desarrollo sólo en los ríos principales, están también en cada uno de los cauces menores. Es frecuente observar, en la desembocadura de un cauce menor en otro mayor, abanicos fluviales donde se depositan importantes espesores de arenas y gravas.

Ferraris en 1981, define la unidad Sedimentos de Valles Actuales como gravas y arenas depositadas en el cauce actual del Río Biobío bajo el nivel de terrazas semi-consolidadas de edad Holoceno (Gajardo, 1981). La composición de los clastos es variada, predominantemente andesítica y basáltica.

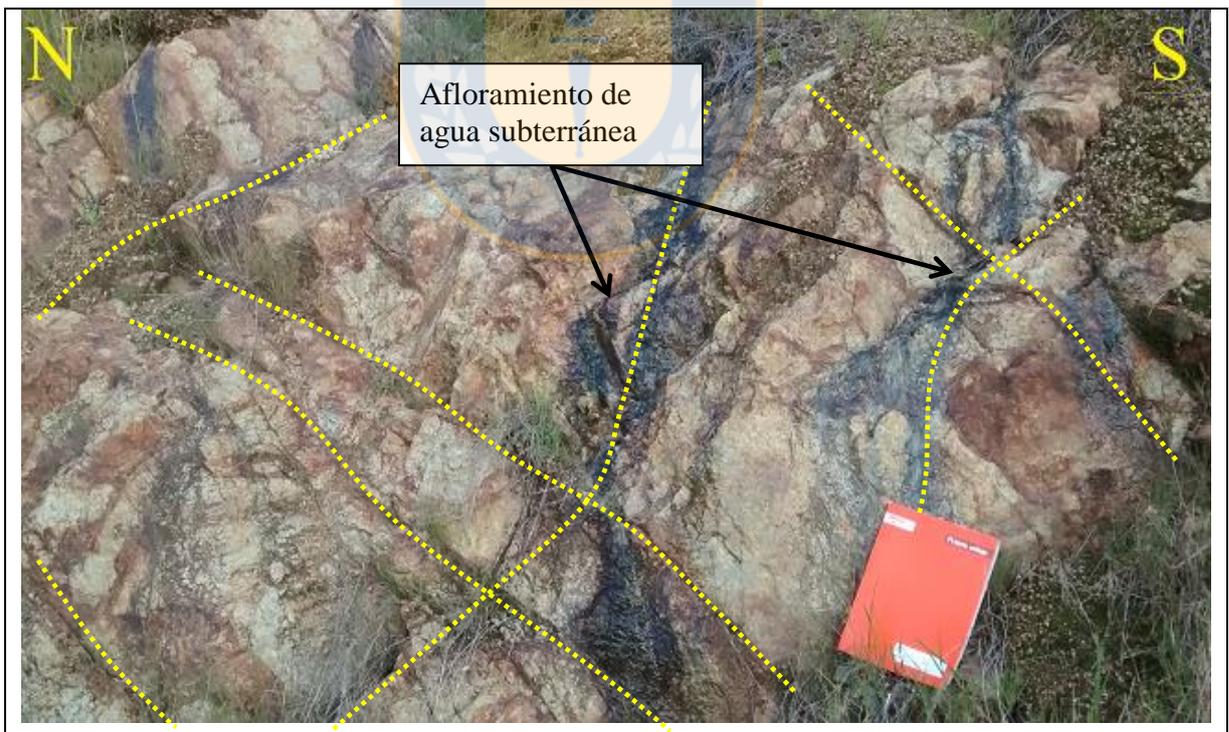
2.2. Estructuras

En el entorno de la zona no han sido detectados fallas, siendo los plegamientos de la Serie Oriental del Basamento Metamórfico las estructuras más relevantes del área de estudio. Sin embargo, las rocas graníticas del Batolito de la Costa están afectadas por un sistema de diaclasas (Fotografía 2.1 y Fotografía 2.2), lo que podría favorecer la circulación del agua subterránea y su salida a la superficie como vertientes o manantiales.

Por lo tanto, es posible suponer que la zona de estudio está afectada por deformaciones geodinámicas internas.



Fotografía 2.1: Diaclasas presentes en el Batolito de la Costa de la zona de estudio. Coordenadas UTM: 5.912.537m N – 676.051m E.



Fotografía 2.2: Diaclasas presentes en el Batolito de la Costa de la zona de estudio con afloramiento de agua subterránea. Coordenadas UTM: 5.912.513m N – 676.041m E.

3. CARACTERIZACIÓN DE SUELOS

3.1 Series de suelo

De acuerdo con el estudio realizado por el Centro de Información de Recursos Naturales (CIREN,1999), en el área de estudio se reconocen dos series de suelos: San Esteban y Arenales (Figura 3.1), las cuales se describen a continuación.

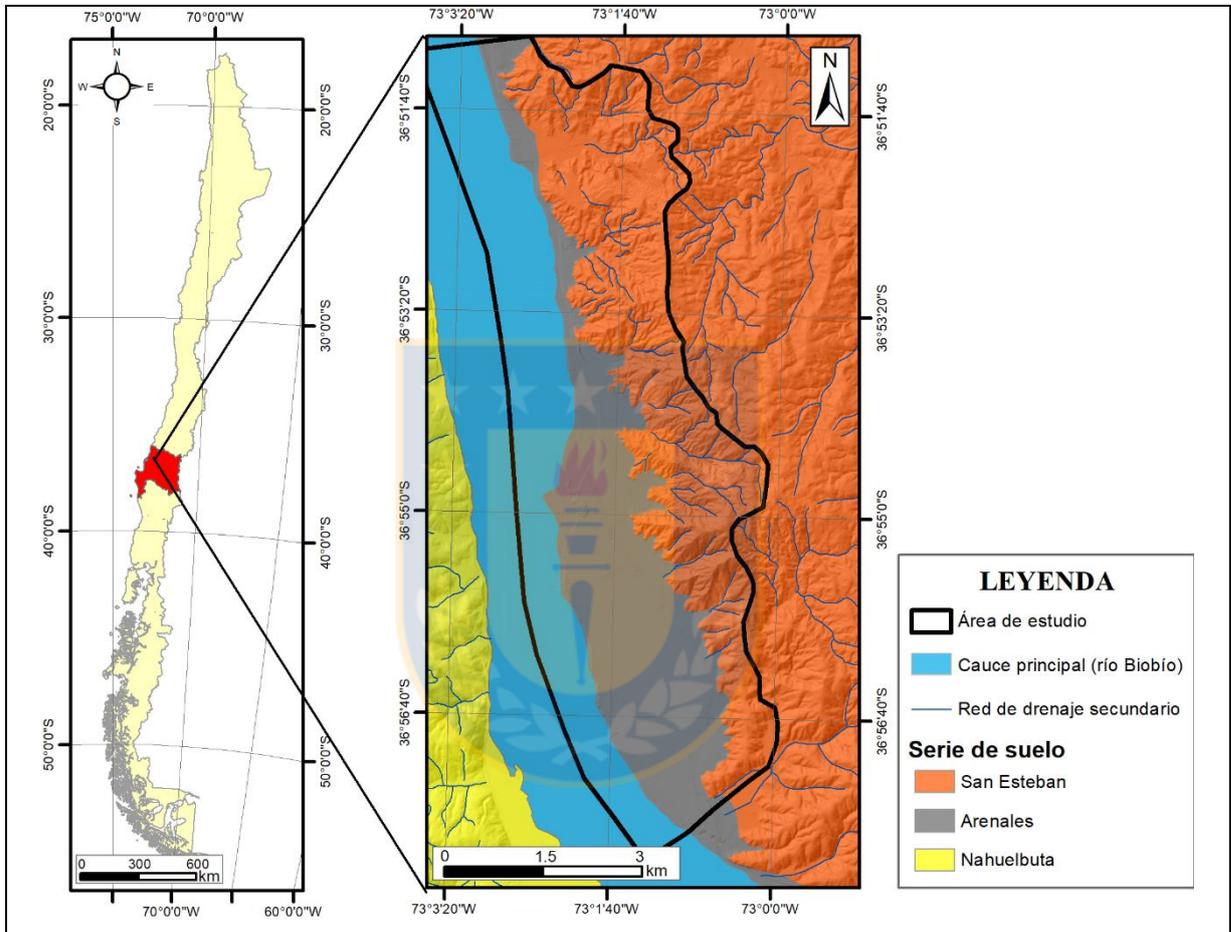


Figura 3.1: Series de suelo de la comuna de Chiguayante.

3.1.1. Serie de suelo San Esteban (STN)

Según el CIREN (1999), el suelo que comprende la Cordillera de la Costa de la comuna de Chiguayante tiene características propias de la Serie San Esteban (STN), el cual consta de suelos evolucionados "*in-situ*" a partir de materiales graníticos ricos en cuarzo, moderadamente profundos a profundos, bien drenados, que ocupan una posición de cerros y lomajes altos dominando el paisaje, que para el caso del área de estudio corresponde a la Cordillera de la Costa. Las pendientes son complejas y dominan las superiores a 10%, siendo más abruptas hacia los esteros, quebradas o simplemente cauces secos la mayor parte del año,

con pendientes de 50% y más. La textura superficial es franco arcillo arenosa, de color pardo en el matiz 7,5YR; de textura arcillosa y color pardo rojizo en el matiz 5YR, en profundidad. Bien estructurados y de arraigamiento deficiente por debajo del metro; suelos con horizonte B bien desarrollado. El drenaje del suelo es bueno, la permeabilidad es lenta, especialmente cuando los suelos están erosionados y el escurrimiento superficial es rápido.

Las características físicas y morfológicas del pedón son detalladas a continuación:

- **Horizonte A1 (0-26 cm):** su color varía de pardo a pardo pálido; la textura es franco arcillo arenosa media o gruesa, nunca fina y bien estructurada, en general los horizontes más gruesos poseen un mayor contenido de estructura granular que los horizontes A1 más delgados; el arraigamiento varía mucho, las raíces finas fluctúan desde comunes a muy abundantes.
- **Horizonte AB (26-62 cm):** es siempre de color pardo rojizo en distintos matices, la textura puede ser franco arcillo arenosa; las estructuras muestran en forma ocasional una mezcla de bloques angulares y subangulares medios, moderados que se parten en bloques subangulares finos, débiles; bajo la lupa no se observan poros muy finos; las raíces varían de comunes a abundantes.
- **Horizonte Bw (62-113 cm):** texturas arcillosas y estructuras de bloques fuertes, de tamaño medio a grueso, las raíces varían de común a escasas, éstas predominan por debajo del metro. El substrato granítico muy enriquecido en cuarzo presenta variaciones de color asociadas, en parte, al grado de descomposición y alteración de los minerales de la roca, ocasionalmente raíces penetran en este material.

La profundidad de arraigamiento que alcanza una planta depende, en primer lugar, de su especie, pero también es producto del ambiente en que ésta se desarrolla y crece. En consideración de condiciones ambientales ideales, las raíces penetran sólo a una profundidad dada por la genética de la planta. Sin embargo, en condiciones específicas la profundidad de arraigamiento puede variar dependiendo de la disponibilidad de nutrientes y el tipo de suelo, suministro de oxígeno, contenido de humedad del suelo, presión osmótica, temperatura del suelo, agentes patógenos, tamaño de poro del suelo y compactación del suelo (Russel & Russel, 1973; Weaver & Clements, 1938). Sin embargo, es poco común para las raíces penetrar a profundidades mayores a 2 metros en el perfil del suelo.

Existe información escasa acerca de la profundidad de penetración de las raíces para cada especie de la flora completa de Chiguayante, sin embargo, para el caso de la serie San

Esteban, el espesor de arraigamiento varía entre 75 y 135 cm, en la que sólo los sectores erosionados, donde hay suelos truncados, muestran arraigamiento inferior a 50cm. Por otra parte, cabe recalcar que la mayor parte (entre 90% y 99%, Gasson & Cutler, 1990) de las raíces nutricias (raíces activamente ocupadas en la toma de agua y minerales) de un árbol están situadas en el primer metro superior del suelo, y en muchos casos estas raíces están situadas en los primeros 15 cm del suelo, la parte normalmente más rica en materia orgánica (Raven y otros, 1992). Por lo tanto, en base a lo anterior es posible determinar una profundidad de arraigamiento para la serie San Esteban de 75cm.

3.1.2. Serie de suelo Arenales (ARN)

La serie Arenales corresponde, en la comuna de Chiguayante, a un suelo depositado por el curso fluvial del río Biobío, profundo, de escaso desarrollo y derivado de arenas de origen volcánico de color negro, cuya composición principal es andesítica y basáltica. La textura suele ser gruesa en todo el perfil, aunque la superficie puede tener texturas moderadamente gruesas. El drenaje es predominantemente bueno a excesivo, siendo la permeabilidad alta a muy alta, y el nivel freático se encuentra muy cercano a la superficie (menor a 50cm de profundidad en algunos casos), con escasa variación temporal en topografías planas y posición geográfica deprimida. Lo anterior, afecta el crecimiento de las raíces, ya que éstas siguen al agua en su descenso estacional.

En un perfil de suelo y bajo la serie Arenales es posible encontrar otros substratos, tales como gravas y, ocasionalmente, arcillas rojas, aunque no es corriente su observación dada la gran profundidad en la que éstos se encuentran.

Las características físicas y morfológicas del pedón son detalladas a continuación:

- **Horizonte A₁ (0-17 cm):** de color pardo rojizo oscuro tanto en periodos húmedos como secos, textura areno-francosa, no plástico y no adhesivo. Material suelto, grano simple. Raíces finas y medias abundantes; poros finos abundantes. Límite lineal abrupto.
- **Horizonte C₁ (17-36 cm):** color pardo rojizo oscuro en periodos húmedos, y pardo grisáceo oscuro con manchas pardo rojizo oscuro en periodos secos. De textura arenosa, no plástico y no adhesivo. Material suelto, grano simple. Raíces finas y medias abundantes; poros abundantes. Límite lineal claro.
- **Horizonte C₂ (36-56 cm):** color pardo rojizo oscuro en periodos húmedos, y pardo rojizo oscuro con vetas finas y medias de pardo grisáceo oscuro en periodos secos. Textura

arenosa, no plástico y no adhesivo, material suelto y de grano simple. Raíces finas abundantes, medias comunes; poros finos abundantes. Límite lineal claro.

- **Horizonte C₃ (56-80 cm):** de color pardo rojizo oscuro a pardo grisáceo oscuro en periodos húmedos. De textura arenosa, no plástico y no adhesivo, muy friable, grano simple. Raíces finas abundantes y medias comunes; poros finos abundantes. Presencia de aureolas o grandes manchas de 5 a 15 cm de diámetro de bordes difusos, color pardo rojizo oscuro en zonas húmedas. Límite lineal abrupto.
- **Horizonte C₄ (80-100cm):** color pardo grisáceo oscuro en periodos húmedos. Textura arenosa, no plástico y no adhesivo, muy friable, grano simple. Raíces medias comunes, mientras que las raíces finas disminuyen por debajo de los 90 cm; poros finos abundantes. No hay presencia de aureolas. Límite lineal abrupto.

Según la descripción anterior, y al considerar la escasa densidad de vegetación presente en la zona urbana de la comuna de Chiguayante, la cual, además se limita esencialmente a plantaciones menores, se considera 100 cm la profundidad de arraigamiento en la serie Arenales.

3.2. Características hidráulicas del suelo

La textura de un suelo es la proporción de cada elemento en el suelo, representada por el porcentaje de arcilla, limo y arena. Para determinar la clase textural del suelo, el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA, por sus siglas en inglés) utiliza el método del triángulo textural (Figura 3.2) según el tamaño de las partículas, en el que emplea la clasificación siguiente:

- Arcilla, todas las partículas de tamaño menor a 0,002 mm
- Limo, todas las partículas cuyo tamaño varía de 0,002 a 0,05 mm
- Arena, todas las partículas cuyo tamaño varía de 0,05 mm a 2 cm

Así, tanto para la serie de suelo San Esteban como Arenales ha sido calculado el porcentaje de arcilla, limo y arena hasta una profundidad de 75 cm (Tabla 3.1 y Tabla 3.2).

En base a los porcentajes obtenidos, la clase textural del suelo para la serie San Esteban corresponde a franco arcillo arenosa; mientras que para la serie Arenales, arenosa.

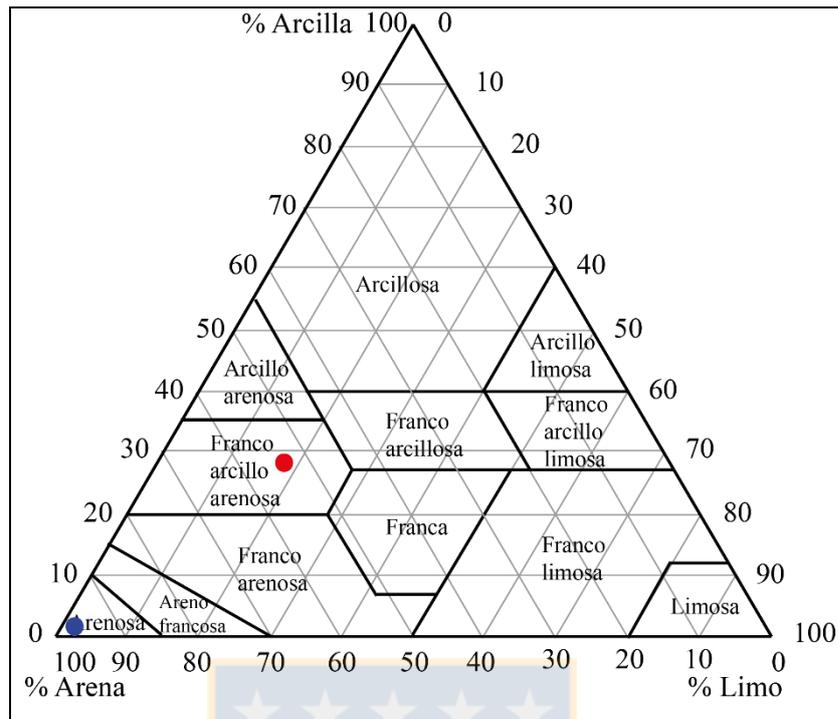


Figura 3.2: Diagrama triangular de las clases texturales básicas del suelo según el tamaño de partículas, de acuerdo con el USDA (en rojo: serie San Esteban, en azul: serie Arenales).

Tabla 3.1: Proporción de arcilla, limo y arena para una profundidad de arraigamiento de 75 cm de la serie de suelo San Esteban.

Granulometría / Profundidad	0 - 26	26 - 62	62 - 75	% Total
Arcilla	19,1	30,2	35,5	28,3
Limo	23,8	17,9	16,8	19,5
Arena	57,1	51,9	47,6	52,2

Tabla 3.2: Proporción de arcilla, limo y arena para una profundidad de arraigamiento de 75 cm de la serie de suelo Arenales.

Granulometría / Profundidad	0 - 17	17 - 36	36 - 56	56 - 80	80 - 100	% Total
Arcilla	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Limo	4,4	0,0	0,4	0,6	0,7	1,2
Arena	95,6	100	99,6	99,4	99,3	98,8

Con los datos de fracciones de arcilla y arena es posible estimar las características hidráulicas par cada serie de suelo (Tabla 3.3), tales como:

- Punto de Marchitez permanente (PM): humedad mínima del suelo necesaria para que una planta se mantenga lozana. Si la humedad del suelo es menor al punto de marchitez, entonces la planta se marchita.
- Capacidad de Campo (CC): humedad que permanece en el suelo una vez drenado el exceso de agua. La capacidad de campo varía en función del tipo de suelo.
- Densidad aparente (DA): masa del suelo por unidad de volumen total. Utilizado para determinar la porosidad del suelo.
- Grado de saturación o humedad (GS): estadio de un medio poroso en el que sus intersticios están ocupados por agua. Así, corresponde al peso de agua de una muestra en relación con el peso de la muestra seca.
- Conductividad hidráulica saturada o permeabilidad (CH): capacidad de un medio poroso para permitir el flujo de agua a través de él.
- Agua disponible (AD): diferencia entre capacidad de campo y punto de marchitez.

Lo anterior, a partir de la “calculadora de propiedades hidráulicas” del USDA (Saxton y otros, 1986), válida para suelos minerales o de bajo contenido de materia orgánica.

Tabla 3.3: Propiedades hidráulicas del suelo para las series de suelo San Esteban y Arenales a partir de la calculadora de propiedades hidráulicas utilizada por la USDA.

Serie de Suelo	PM (cm ³ agua/ cm ³ suelo)	CC (cm ³ agua/ cm ³ suelo)	DA (g/cm ³)	GS (cm ³ agua/ cm ³ suelo)	CH (cm/hr)	AD (cm ³ agua/ cm ³ suelo)
STN	0,16	0,27	1,38	0,48	0,33	0,11
ARN	0,00	0,00	2,65	0,00	0,00	0,00

Con los datos de la tabla anterior y la profundidad radicular definida para la serie San Esteban, es posible determinar el volumen de agua utilizable por las plantas, el cual corresponde a la cantidad de agua por unidad de superficie que el suelo es capaz de almacenar en su perfil (Tabla 3.4).

3.3. Usos de suelo

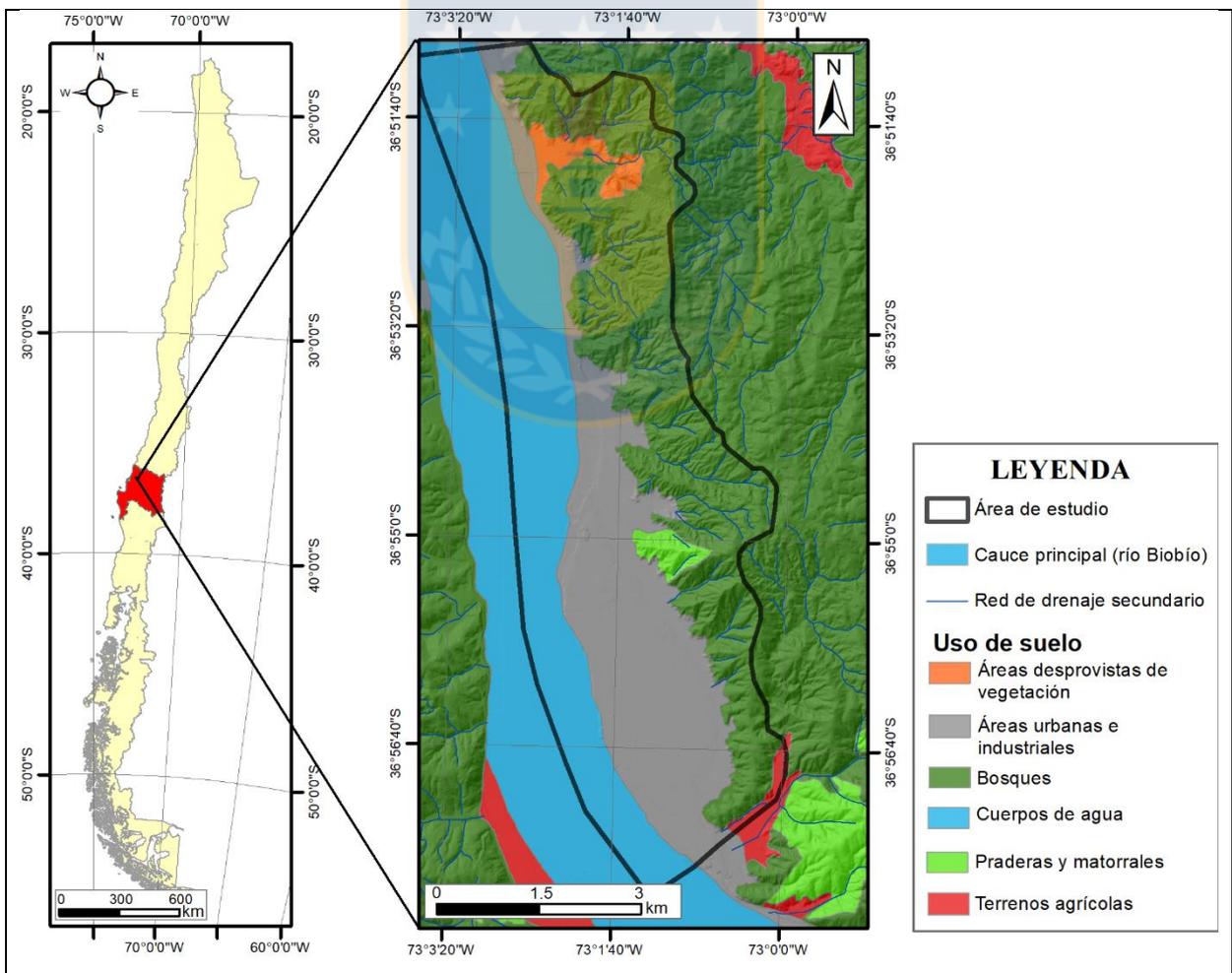
La información referente a los usos de suelo para la comuna de Chiguayante es presentada en la Tabla 3.5 y Figura 3.3.

Tabla 3.4: Reserva máxima de agua correspondiente a las series de suelo San Esteban y Arenales.

Serie de Suelo	Profundidad radicular media (m)	Volumen de la zona radicular por hectárea (m ³ /ha)	Agua utilizable por las plantas (%)	Volumen de agua utilizable por hectárea (m ³ /ha)	Reserva Máxima (mm)
STN	0,75	7.500	11	1138,5	113,85
ARN	1,00	10.000	0	0,0	0,00

Tabla 3.5: Clasificación de usos del suelo de la comuna de Chiguayante.

Serie de Suelo	Uso de suelo	Superficie uso de suelo [m ²]
San Esteban	Bosques	91.229.773,30
	Áreas desprovistas de vegetación	777.981,26
	Terrenos agrícolas	1.600.348,29
	Praderas y matorrales	927.131,37
Arenales	Áreas urbanas e industriales	9.548.542,95

**Figura 3.3:** Mapa de usos de suelo de la comuna de Chiguayante. Elaboración propia.

4. HIDROGEOLOGÍA

Para llevar a cabo el modelo conceptual de la cuenca, es necesario determinar una serie de características y parámetros propios de la comuna de Chiguayante, que dependen tanto de la historia geológica como del contexto hidrometeorológico de ella. A continuación, son definidos, analizados y determinados cada uno de ellos.

4.1. Unidades hidrogeológicas

Una unidad hidrogeológica, es un conjunto de formaciones geológicas cuyo funcionamiento hidrogeológico (entradas, salidas, balance en general) hay que considerar conjuntamente, ya que su comportamiento es homogéneo, al estar todas conectadas.

Desde el punto de vista hidrogeológico, las formaciones geológicas son clasificadas según su capacidad de almacenar y transmitir agua. La capacidad de almacenamiento está relacionada con el volumen de intersticios existentes, por lo que depende de la porosidad, mientras que la capacidad de transmisión está relacionada con el tamaño de estos y el grado de interconexión entre ellos, lo que constituye la permeabilidad.

El área de estudio está representada por tres unidades hidrogeológicas principales: sedimentos no consolidados y semi-consolidados coluvio-aluviales y fluviales, rocas graníticas de la Cordillera de la Costa y rocas metamórficas de la Serie Oriental. Estas unidades son descritas a continuación:

- **UH-1: Sedimentos no consolidados y semi-consolidados:** unidad compuesta de sedimentos no consolidados coluvio-aluviales procedentes de la erosión de rocas graníticas de la Cordillera de la Costa y de las rocas del Basamento Metamórfico, que aflora principalmente en los sectores correspondientes a quebradas y depresiones. Estos depósitos no alcanzan gran espesor en el área de estudio. La unidad también incluye los depósitos semi-consolidados fluviales antiguos de la terraza del Biobío, constituidos por arenas transportadas y depositadas por el río. Alcanzan, en el área de estudio, una potencia media de 100 m, según perfiles sísmicos realizados por GEOEXPLORACIONES S.A., el año 1998. Son de origen principalmente volcánico proveniente de la actividad eruptiva del volcán Antuco hace 9700 años (Thiele y otros, 1998). Estos sedimentos tienen características

favorables para el desarrollo y formación de acuífero por tener permeabilidad asociada a la porosidad intergranular (de tipo primaria).

- **UH-2: Intrusivos del Batolito de la Costa:** corresponde a rocas graníticas, cuya ubicación está extendida en la parte este del río Biobío, entre el cerro Caracol y la comuna de Chiguayante, donde se encuentra el contacto con las rocas del Basamento Metamórfico.

Estas rocas graníticas están muy meteorizadas, lo que ha generado un material con diferente grado de cohesión, conocido generalmente con el nombre de “maicillo”, el cual está compuesto principalmente por cuarzo, mica y feldespatos alterados, además de minerales accesorios y de material fino limo arcilloso. En zonas donde la meteorización es más leve (y no se produce la generación de maicillo), esta unidad posee fracturas (permeabilidad secundaria), que le otorgan la capacidad de transmitir el agua y alimentar al acuífero principal asociado a los sedimentos no consolidados y semi-consolidados, conformando un acuífero fisurado.

Cabe mencionar que, la geomorfología de esta unidad, con cotas entre 100 y 300 m, favorece la formación de abundante escorrentía superficial, lo que produce recarga vertical del acuífero.

- **UH-3: Serie Oriental del Basamento Metamórfico:** Unidad clasificada como acuícludo, la cual está compuesta principalmente por metapsamitas y metapelitas de edad Paleozoico (Hervé y otros, 1976). Estas rocas afloran al sureste de la comuna de Chiguayante, donde está en contacto con las rocas graníticas del Batolito de la Costa y, al igual que ellas, se encuentran alteradas y fracturadas, aunque en menor medida, lo que les permite desarrollar una permeabilidad secundaria a lo largo de las aberturas de las fracturas, capaces de albergar alguna cantidad de agua, no obstante, la escasa conexión entre ellas no permitiría transmitir el agua.

Las unidades hidrogeológicas nombradas anteriormente han sido agrupadas según la clasificación propuesta por Struckmeier & Margat (1995) (Figura 4.1), el cual considera la importancia hidrogeológica de una unidad según su potencialidad para almacenar agua subterránea -y transmitirla- y el tipo de acuífero predominante (intergranular y/o fisurado), donde cada color facilita la identificación de unidades presentes en una zona, los cuales serán utilizados en la realización del modelo

conceptual. La Tabla 4.1 adjunta, según esta clasificación, la categoría correspondiente a cada unidad hidrogeológica presente en el área de estudio.

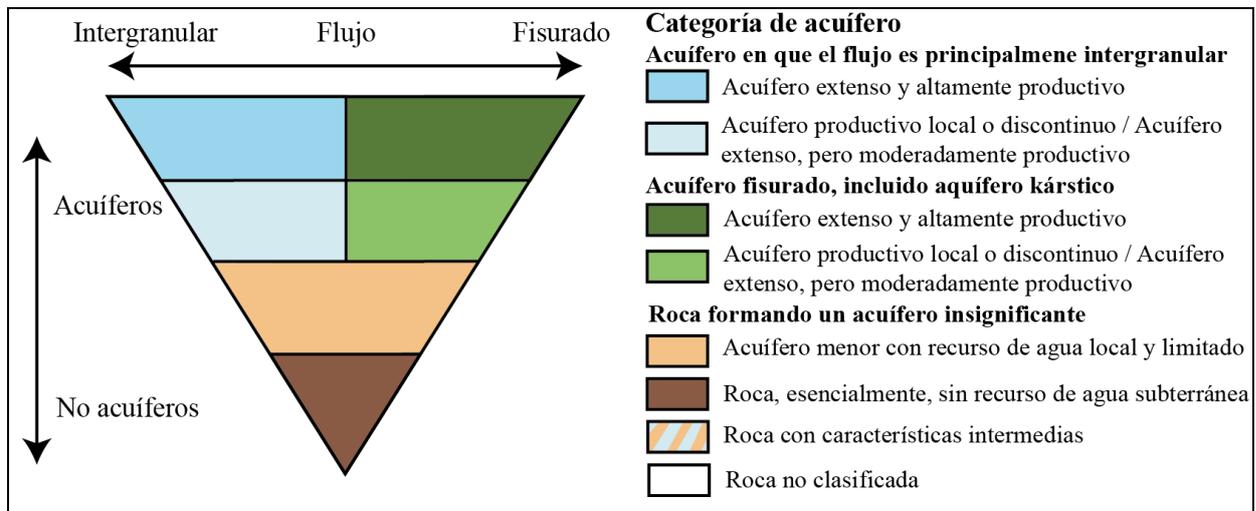


Figura 4.1: Sistema de clasificación de acuíferos propuesto por Struckmeier & Margat (1995).

Tabla 4.1: Descripción de las unidades hidrogeológicas según la clasificación de Struckmeier & Margat (1995).

Unidad hidrogeológica	Categoría	Potencial hidrogeológico	Color
UH-1	Acuífero extenso y altamente productivo	Alto	Celeste intenso
UH-2	Acuífero fisurado con productividad local o discontinua	Bajo	Verde tenue
UH-3	Acuífero esencialmente sin recurso de agua subterránea	Muy bajo	Marrón

4.2. Distribución espacial de las unidades hidrogeológicas

La cuenca del río Biobío, en el sector de la comuna de Chiguayante, drena por un valle de suave pendiente y baja altura, rodeado de elevaciones montañosas por el este de él (Figura 4.2).

La posición del basamento ha sido determinada a través de perfiles sísmicos realizados por GEOEXPLORACIONES S.A. (1998), durante el proyecto “Defensas fluviales y carretera en la Ribera Norte del río Biobío, sector Chiguayante – Puente Viejo” (Lira, 2000), y cuya profundidad está alrededor de los 100 m desde la superficie, en la que luego es rellenada por los sedimentos fluviales y coluvio-aluviales.

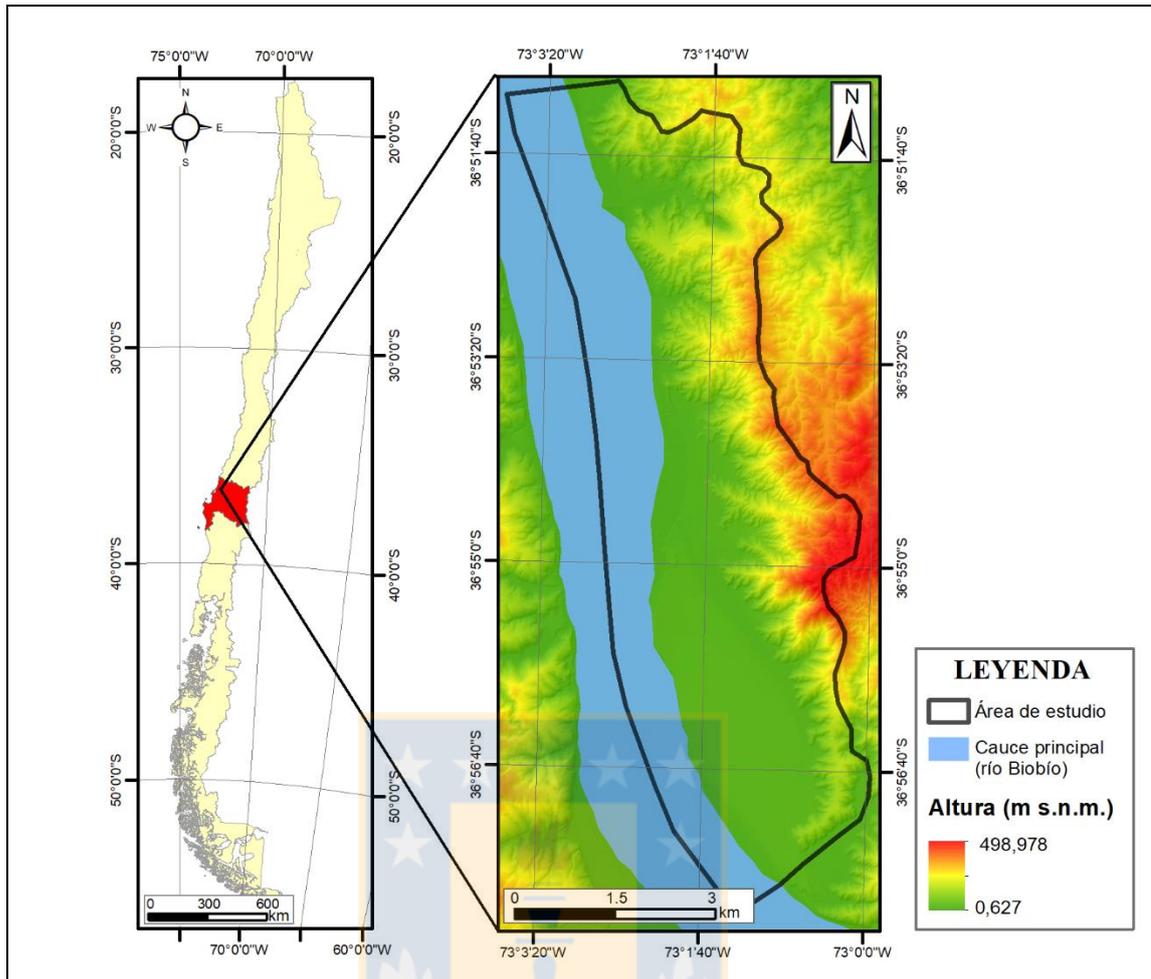


Figura 4.2: Topografía superficial.

En los perfiles sísmicos de la Figura 4.3 es posible observar la cota aproximada del basamento y el espesor del relleno. Es necesario mencionar, que el nivel de referencia para las cotas dadas corresponde a la superficie del agua del río Biobío.

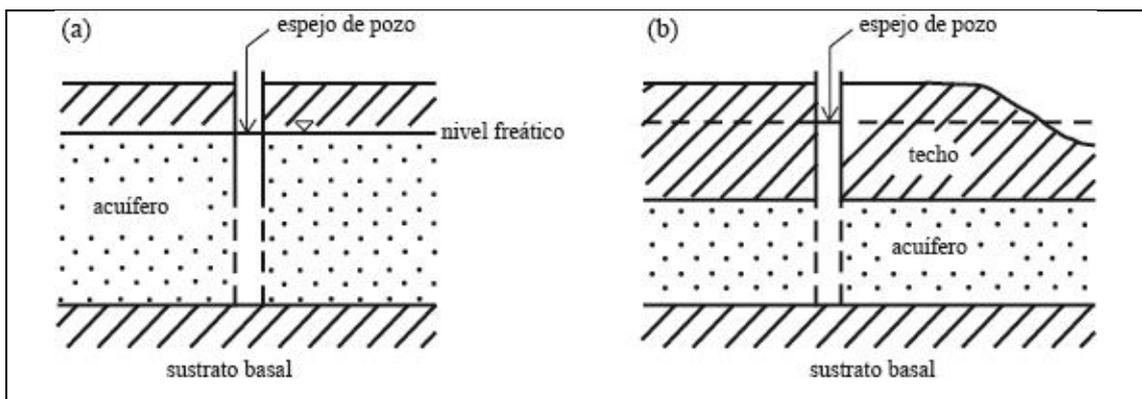
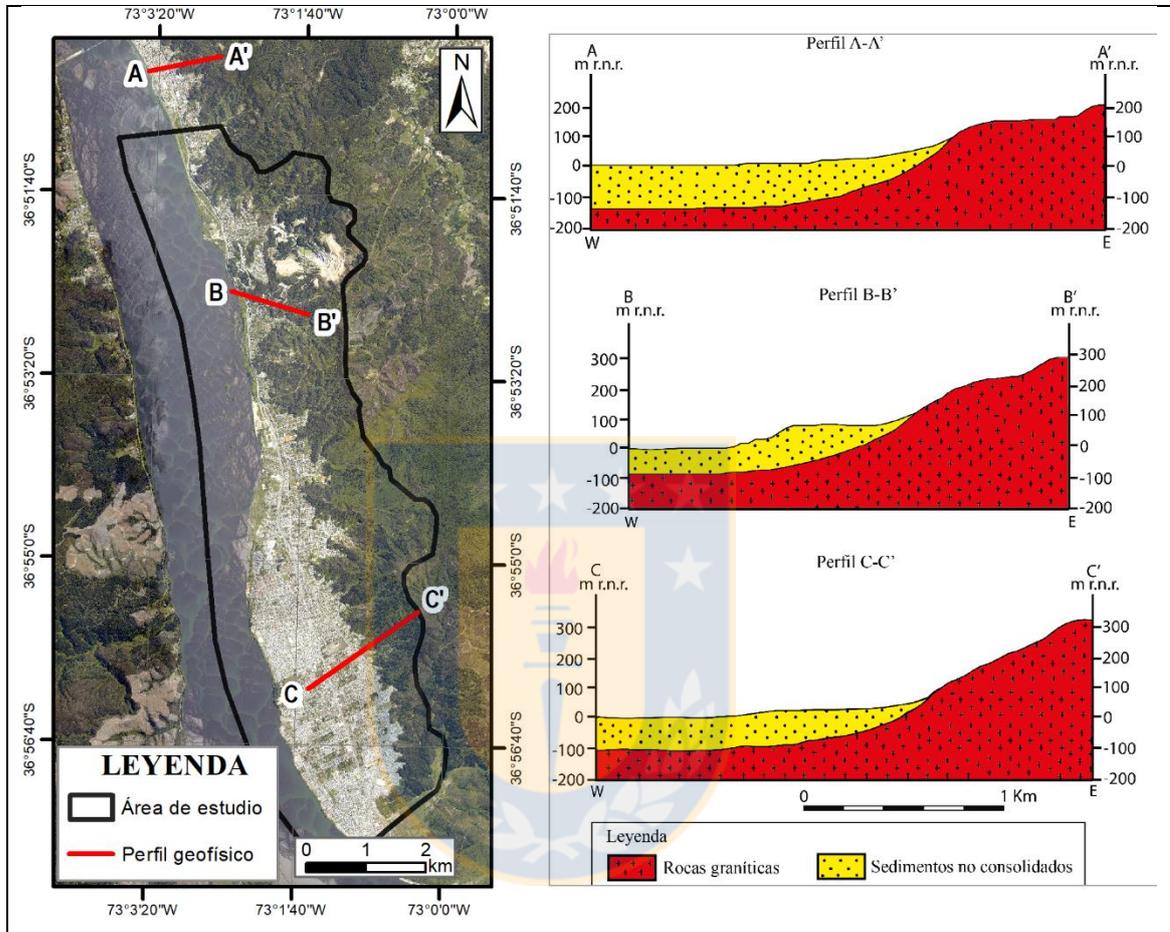
4.3. Tipo de acuífero

Un acuífero corresponde a una formación geológica capaz de almacenar y transmitir agua, gracias a la porosidad y permeabilidad de los materiales que la forman. Normalmente está delimitado hacia abajo por un sustrato de baja o nula permeabilidad que, en este caso, corresponde, principalmente, a rocas intrusivas del Batolito de la Costa. En muchos casos, también existen límites laterales que, para esta zona de estudio, al estar compuestos de roca intrusiva y metamórfica en alteración poseen baja permeabilidad. Por sus límites superiores los acuíferos son clasificados en dos tipos hidrodinámicos principales:

- Acuífero no confinado (libre): acuífero limitado en su extremo inferior por una capa impermeable, mientras que es su extremo superior carece de techo confinante, por lo que el

nivel de agua subterránea está a presión atmosférica y corresponde al nivel freático (Figura 4.4a).

- Acuífero confinado (cautivo): acuífero ubicado entre dos capas impermeables, por lo que el agua subterránea es sometida a una presión mayor a la atmosférica (Figura 4.4b).



De acuerdo con la clasificación anterior y la geología presente del área de estudio, la comuna de Chiguayante posee un acuífero de tipo libre.

En la Tabla 4.2 se sintetizan las unidades geológicas presentes, las cuales han sido caracterizadas según litología, tipo de intersticios, permeabilidad, capacidad de transmisión de agua y almacenamiento y presión hidrostática.

Tabla 4.2: Clasificación de las unidades hidrogeológicas del área de estudio (UH: Unidad Hidrogeológica).

UH	Litología	Clasificación según litología	Clasificación según intersticios	Permeabilidad	Capacidad de transmitir agua	Capacidad de almacenar agua	Clasificación según P° hidrostática
UH-1	Arenas y gravas	Acuífero	Intergranular	Alta, por porosidad primaria	Alta	Alta	Libre
UH-2	Tonalitas a Granodioritas alteradas y/o diaclasadas	Acuitardo	Fisurado	Baja, limitada según porosidad secundaria	Baja	Baja	-
UH-3	Pizarra y Filitas alteradas y/o diaclasadas	Acuícludo	Fisurado	Muy baja, limitada según porosidad secundaria	Muy baja	Muy baja	-

4.4 Características hidráulicas del acuífero

El movimiento del agua subterránea está influenciado y determinado por ciertas características hidráulicas propias del acuífero tales como: conductividad hidráulica, coeficiente de almacenamiento y transmisividad. La conductividad hidráulica es definida como el flujo de agua que atraviesa una sección unitaria de acuífero bajo la influencia de un gradiente unitario, a temperatura de campo, lo que representa la facilidad con que el medio deja pasar agua a través de él; el coeficiente de almacenamiento puede definirse como la cantidad de agua que cede un prisma de acuífero de base cuadrada unitaria cuando se le deprime la unidad, es decir, la cantidad de agua que puede ser liberada al disminuir el nivel de agua en un acuífero saturado; la transmisividad es el volumen de agua que atraviesa una unidad de área en el acuífero de ancho unitario en la unidad de tiempo y bajo la carga de un

metro, lo que representa la capacidad que tiene el acuífero para ceder agua, y corresponde a la función de permeabilidad por espesor del acuífero.

4.4.1. Pruebas de bombeo

Al fijar condiciones controladas, durante el bombeo de un pozo, es posible estimar los parámetros hidráulicos del acuífero, con las expresiones e hipótesis adecuadas.

Un ensayo de bombeo consiste en la extracción de agua desde un pozo bajo cierto caudal controlado, al mismo tiempo que es observada la evolución temporal del nivel de agua en la propia captación y en otras cercanas, llamadas piezómetros o pozos de observación. El caudal puede ser fijado en un determinado valor, método denominado “prueba de gasto constante”; mientras que, si varía durante la extracción, es denominado “prueba de gasto variable”.

Los ensayos de bombeo son el método más extendido, de más fácil aplicación y de mayor respaldo en sus resultados, usado habitualmente con el objeto de conocer las características hidráulicas de los acuíferos. Cabe destacar, que cuando es bombeado un pozo desciende el nivel de agua en el mismo, y en toda la porción del acuífero circundante a él. El descenso de nivel de agua es más pronunciado en el pozo, y aminora a medida que aumenta el radio hacia el mismo, lo que produce un cono de depresión.

En el área de estudio, sólo se han recopilado cuatro antecedentes técnicos -publicados por la DGA, cuyos expedientes se han resuelto entre los años 2001 y 2007- con información completa de pruebas de bombeo, cada una con una duración de 24 horas y ejecutados a caudal constante, donde el periodo en que se registra el nivel dinámico varía entre un ensayo y otro. Del registro obtenido en cada prueba, se hace una interpretación con la finalidad de determinar los parámetros hidráulicos del acuífero. Es necesario mencionar que, sólo existe información de los descensos del nivel de agua únicamente del pozo de bombeo y no en piezómetros de observación. La distribución geográfica de cada pozo ensayado se adjunta en la Figura 4.5.

De los informes técnicos, sólo el expediente ND-0803-990 adjunta los resultados de transmisividad, conductividad hidráulica y coeficiente de almacenamiento, mientras que para los expedientes ND-0803-1367, ND-0803-2324 y ND-0803-1417 ha sido necesario emplear el software AQTESOLV (versión de prueba) para obtener esta información, en el cual se

utiliza el método de Theis (Theis, 1935) para acuíferos libres, haciendo un buen ajuste con la curva logarítmica. Conjuntamente, y para validar estos datos, se aplica la misma metodología con el software AquiferTest Pro (Anexo I). Los resultados de parámetros hidráulicos para aquellos pozos se adjuntan en la Tabla 4.3, donde se desprende que el valor de la conductividad hidráulica es bastante mayor en el área del pozo correspondiente al expediente de Los Castaños, lo que puede deberse a la menor obtención de aportes finos provenientes de la Cordillera de la Costa, ya que su ubicación se aleja en, por lo menos, 485m de la cordillera, a diferencia de aquellos ubicados en O'Higgins y Villuco, los cuales se encuentran a los pies de la misma. Además, al observar los perfiles litológicos de cada pozo (Anexo II), la variación del nivel de agua subterránea durante el transcurso de la prueba de bombeo en los pozos de O'Higgins y Villuco ocurre precisamente entre tramos con material esencialmente fino (limo y arcilla), mientras que, en aquel de Los Castaños, el nivel de agua varía dentro de un tramo arenoso.

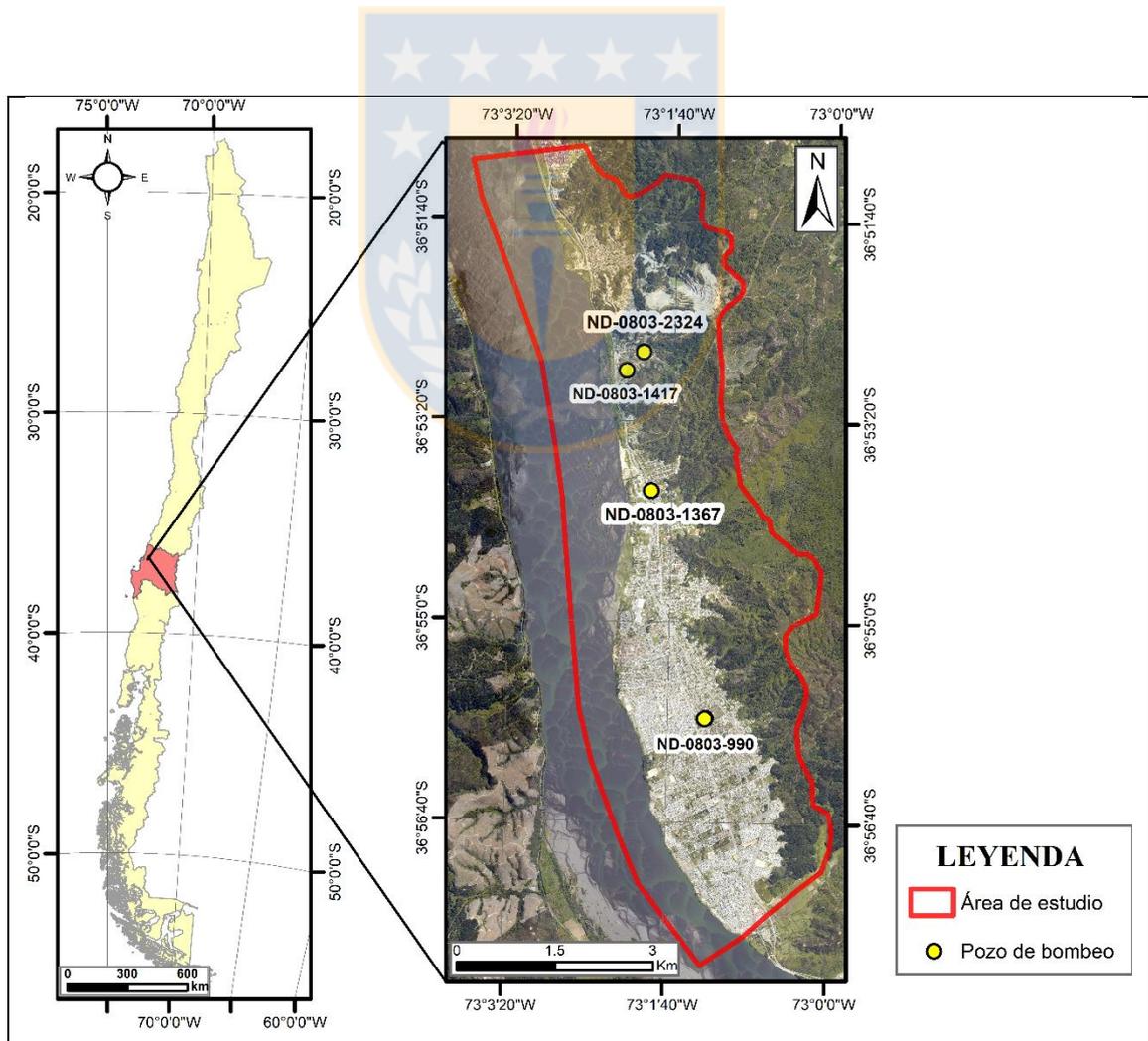


Figura 4.5: Distribución geográfica de los pozos de bombeo.

Tabla 4.3: Valores de parámetros hidráulicos para el acuífero de la comuna de Chiguayante.

N° Expediente	Ubicación	Método	Resultados		
			T (m ² /día)	K (m/día)	S
ND-0803-990	Los Castaños	Neuman y Theis para acuíferos libres	797,76	241,92	0,05
ND-0803-1367	O'Higgins	Theis para acuíferos libres	60,29	0,60	0,22
ND-0803-2324	Villuco	Theis para acuíferos libres	18,13	0,18	0,014
ND-0803-1417	Villuco	Theis para acuíferos libres	1,21	0,12	0,32

De acuerdo con la clasificación de transmisividad de Villanueva e Iglesias (1984) (Tabla 4.4), y en base a la ubicación geográfica de los pozos, por los cuales ha sido posible obtener parámetros hidráulicos del acuífero, se infiere que la capacidad de transmitir agua es muy baja a baja en zonas aledañas a la Cordillera de la Costa (expedientes ND-0803-1417, ND-0803-1367 y ND-0803-2324), donde el nivel freático se encuentra, principalmente, en tramos de material fino y arcilloso, aportado por las rocas intrusivas y metamórficas alteradas del batolito de la costa a la unidad hidrogeológica UH-1. Por el contrario, a mayor distancia de la Cordillera de la Costa y en dirección oeste, disminuye paulatinamente el aporte de material arcilloso a la unidad UH-1, lo que causa un aumento considerable de la transmisividad en el acuífero, lo que la clasifica, inclusive, como de alta capacidad (expediente ND-0803-990).

Tabla 4.4: Clasificación del acuífero según transmisividad (Villanueva e Iglesias, 1984).

Transmisividad (m ² /día)	Clasificación estimativa
$T < 10,368$	Muy baja
$10,368 < T < 103,68$	Baja
$103,68 < T < 501,12$	Media a Alta
$501,12 < T < 1036,8$	Alta
$T > 1.036,8$	Muy Alta

Según Custodio (1983) el valor del coeficiente de almacenamiento en acuíferos libres varía entre 0,01 y 0,4, lo que es consistente a los resultados obtenidos de la interpretación de ensayos de bombeo en cada expediente que caracteriza la unidad hidrogeológica UH-1.

4.5. Campaña de medición del nivel freático

Como actividad fundamental a llevar a cabo, ha sido considerada una campaña de medición de niveles de agua subterránea en distintos puntos de la zona de estudio (Figura 4.6). La información recopilada durante este proceso abarca la profundidad del nivel freático, características técnicas de las captaciones de agua (profundidad del pozo, diámetro, tipo de captación), uso del agua (utilidad, tiempo de extracción diaria) y parámetros fisicoquímicos (pH, temperatura, conductividad eléctrica y sólidos disueltos totales). Conjuntamente, han sido extraídas 12 muestras de agua con la correcta metodología de conservación para realizar análisis químico.

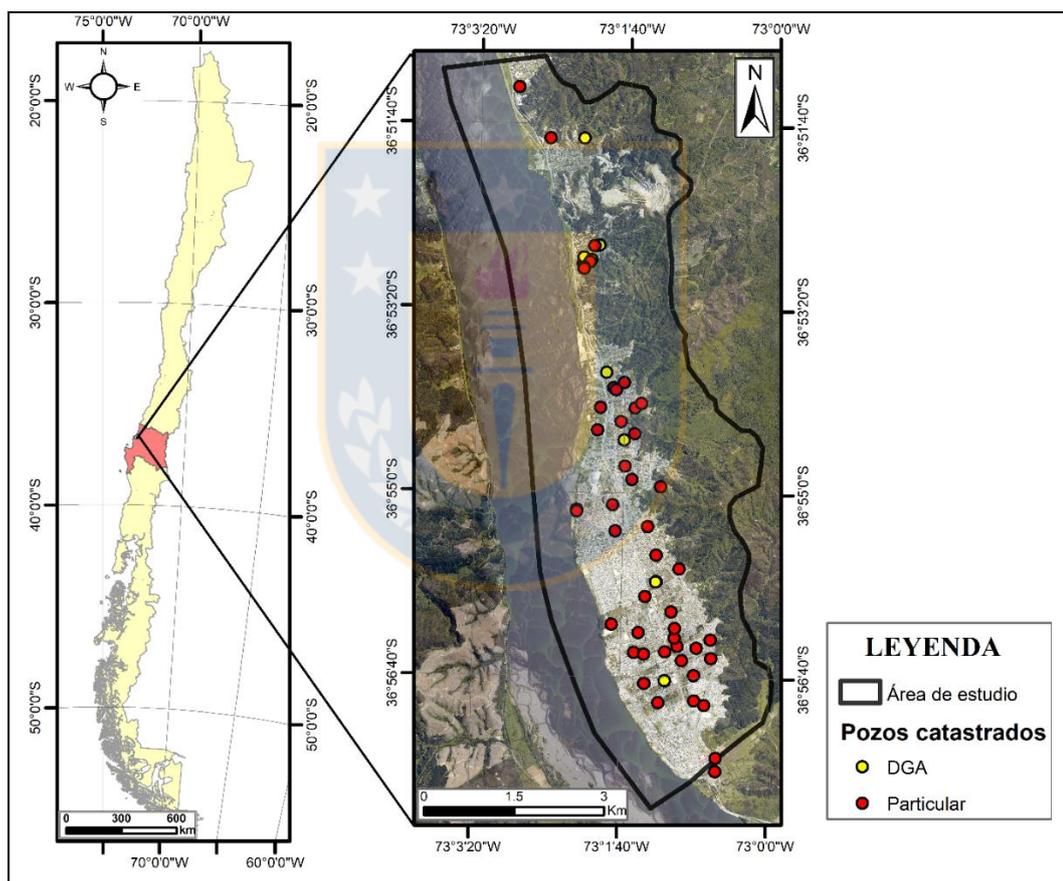


Figura 4.6 Distribución geográfica de captaciones catastradas.

4.5.1. Variación del nivel freático

En el Anexo III se detalla la información obtenida en los puntos visitados en terreno, mientras que en la Tabla 4.5 se adjunta los niveles freáticos de cada pozo.

Tabla 4.5: Nivel estático y freático correspondiente a cada pozo catastrado en terreno.

N° de pozo	Coordenada Norte (m)	Coordenada Este (m)	Cota de terreno (m s.n.m.)	Nivel freático (m)	Cota de nivel freático (m s.n.m.)
1	5.912.997	675.707	21,97	4,01	17,96
2	5.912.275	674.903	13,71	3,94	9,77
3	5.909.876	675.850	28,93	12,39	16,54
4	5.913.742	675.645	21,81	8,50	13,31
5	5.913.973	675.878	24,12	1,45	22,67
6	5.914.313	675.522	20,63	2,20	18,43
7	5.914.400	675.701	22,78	0,54	22,24
8	5.916.425	675.131	30,41	6,53	23,88
9	5.916.693	675.208	25,35	0,38	24,97
10	5.916.338	675.027	21,74	4,30	17,44
11	5.916.315	675.028	22,39	5,27	17,12
12	5.913.540	675.869	28,34	2,00	26,34
13	5.910.349	675.478	27,67	16,40	11,27
14	5.912.249	674.903	13,53	03,94	9,59
15	5.914.049	675.984	26,25	7,00	19,25
16	5.914.276	675.563	21,61	2,20	19,41
17	5.913.606	675.249	12,39	3,46	8,93
18	5.908.984	677.020	29,53	14,44	15,09
19	5.909.061	676.852	30,79	13,34	17,45
20	5.909.973	676.575	29,48	11,00	18,48
21	5.909.769	677.135	27,43	8,34	19,09
22	5.909.769	676.984	30,66	12,22	18,44
23	5.911.506	676.224	22,32	3,69	18,63
24	5.913.984	675.304	12,98	3,62	9,36
25	5.909.032	676.252	28,32	11,23	17,09
26	5.909.943	676.893	29,33	10,33	19,00
27	5.909.885	676.367	29,85	11,74	18,11
28	5.910.113	676.527	29,19	11,39	17,80
29	5.910.275	676.532	28,89	10,81	18,08
30	5.910.811	676.039	28,41	11,13	17,28
31	5.911.914	675.543	25,44	12,70	12,74
32	5.911.272	676.609	21,91	0,63	21,28
33	5.911.983	676.085	19,12	1,17	17,95
34	5.909.846	676.017	29,57	12,70	16,87
35	5.912.351	675.502	23,73	11,90	11,83
36	5.907.875	677.202	29,02	10,15	18,87
37	5.908.099	677.209	23,88	3,10	20,78
38	5.912.775	675.822	21,68	5,03	16,65
39	5.912.650	676.301	32,96	0,50	32,46
40	5.910.081	677.128	24,11	4,13	19,98
41	5.909.357	676.020	28,31	11,19	17,12
42	5.909.737	676.646	29,88	11,35	18,53
43	5.910.208	675.927	29,31	13,20	16,11
44	5.910.552	676.474	27,88	9,62	18,26
45	5.919.359	673.955	13,80	3,20	10,60
46	5.919.850	674.477	22,16	8,07	14,09

Con un total de 46 puntos visitados en la comuna de Chiguayante, es posible establecer, en términos generales, que son captaciones de poca profundidad en las que el nivel estático tiende a no sobrepasar los 10 m de profundidad, con una media aritmética de 7,3 m.

La Figura 4.7 ilustra la distribución espacial de las variaciones de profundidad del nivel freático en el área de estudio, mientras que en la Figura 4.8 es posible observar, a modo general, cómo varía la cota de este nivel. De ambas figuras se deduce que el agua subterránea está más somera en las cercanías de la Cordillera de la Costa, mientras que en dirección hacia el río Biobío aumenta su profundidad.

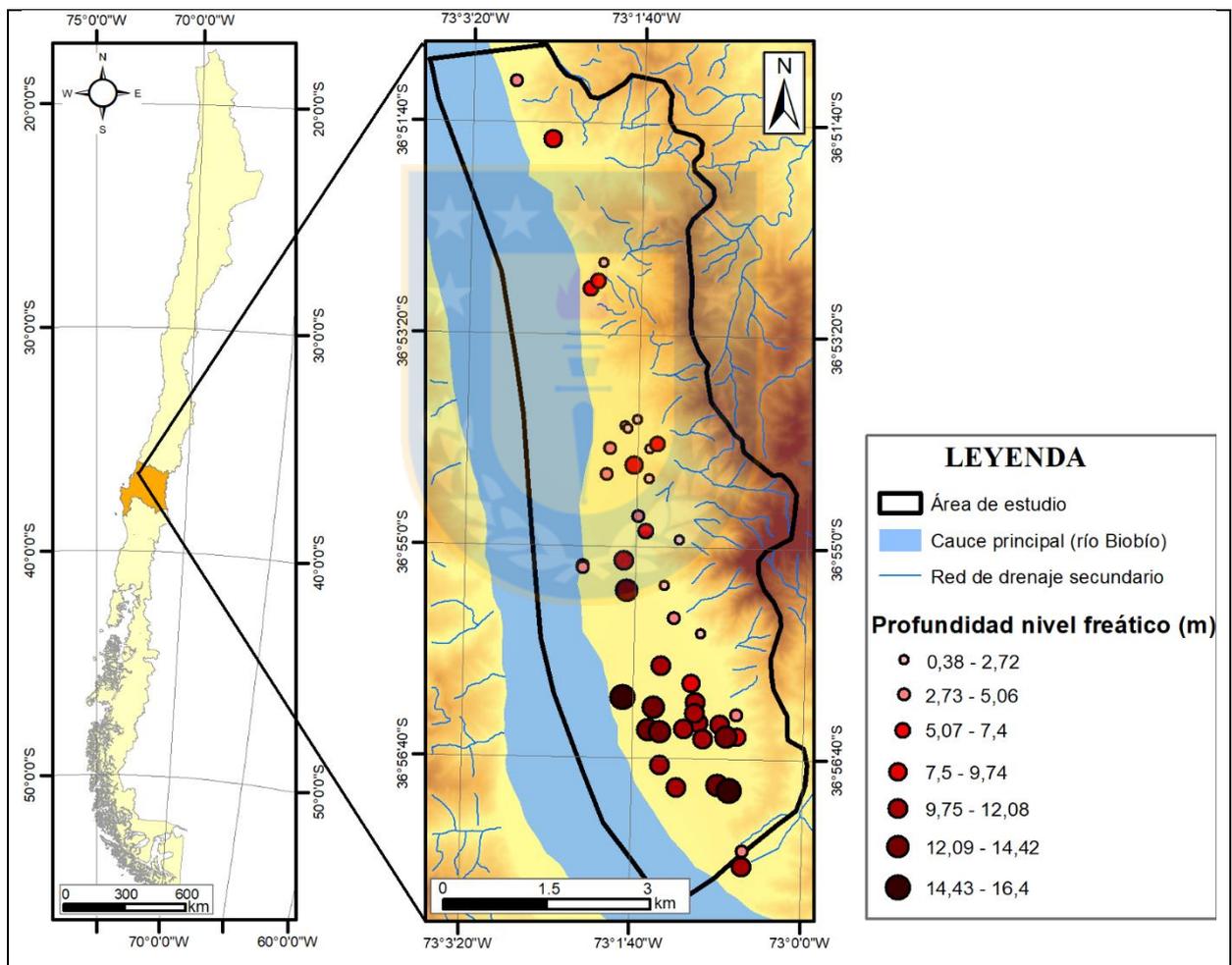


Figura 4.7: Variación de profundidad del nivel freático.

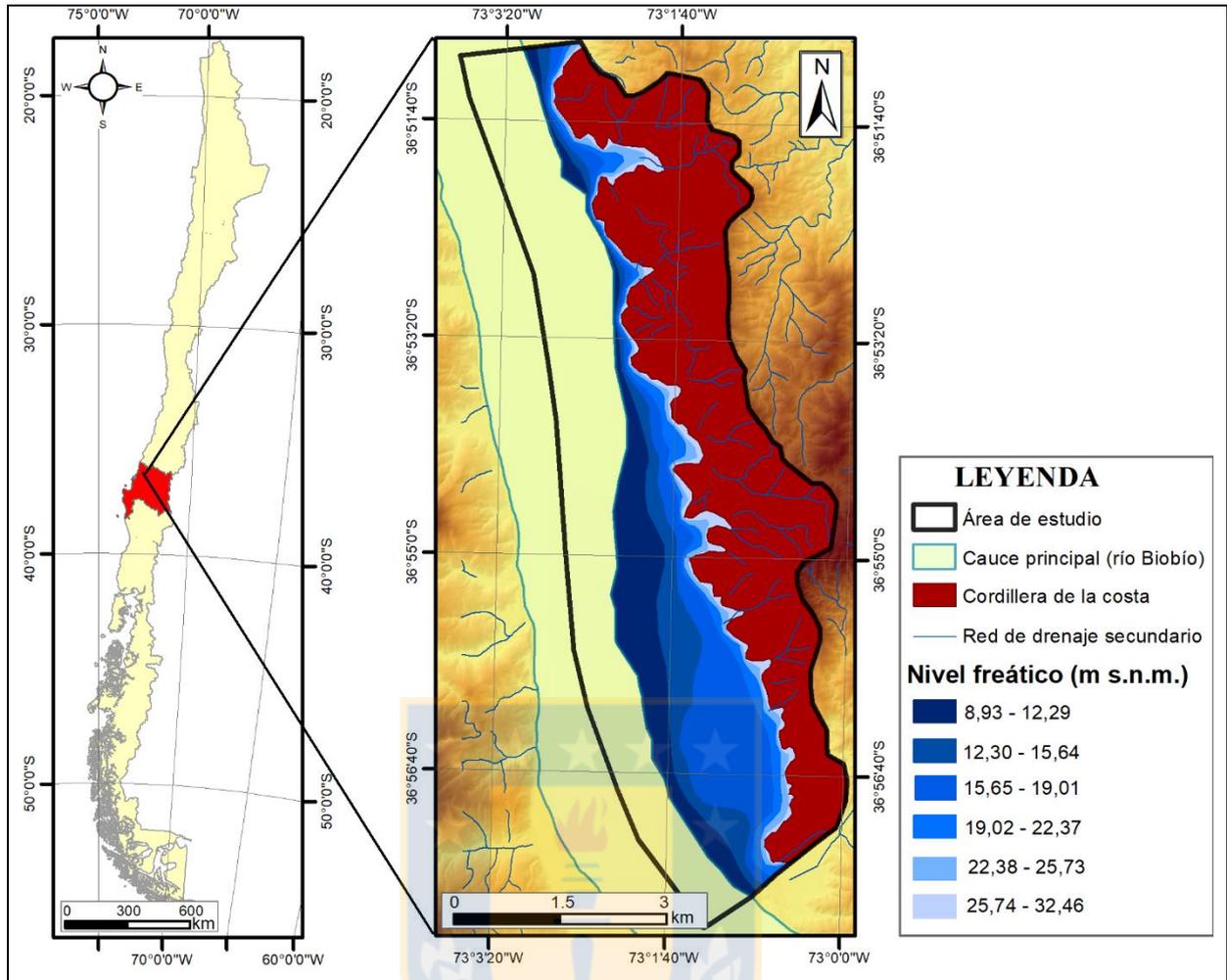


Figura 4.8: Cota del nivel freático.

4.5.2. Fluctuación del nivel freático durante la estación seca

Otro objetivo durante la campaña de terreno ha sido la determinación de la variación de los niveles freáticos durante el período invierno-verano. Sin embargo, las mediciones recopiladas no permiten obtener un análisis concluyente, puesto que sólo han sido medidos 13 pozos durante el período estival (Figura 4.9). La Tabla 4.6 contiene los resultados de los datos obtenidos durante esta tarea y en el Gráfico 4.1 es posible observar de mejor manera esta variación.

Así, el nivel freático tiende a aumentar en profundidad durante la estación de verano dentro de un rango de 0,02 a 1,68 metros. Es de esperar esta disminución en las reservas de agua en el acuífero, dado que la cantidad de agua que proviene de la recarga disminuye al reducir la cantidad de precipitaciones, por lo tanto, las fluctuaciones producidas se consideran normales debido a los cambios estacionales del clima.

Sin embargo, hay una excepción en el pozo N° 28, en el cual disminuye la profundidad del nivel freático en un orden de 64 centímetros (es menor en verano que en invierno), probablemente debido al abundante riego en la zona, proceso de capilaridad o a aportes subterráneos locales.

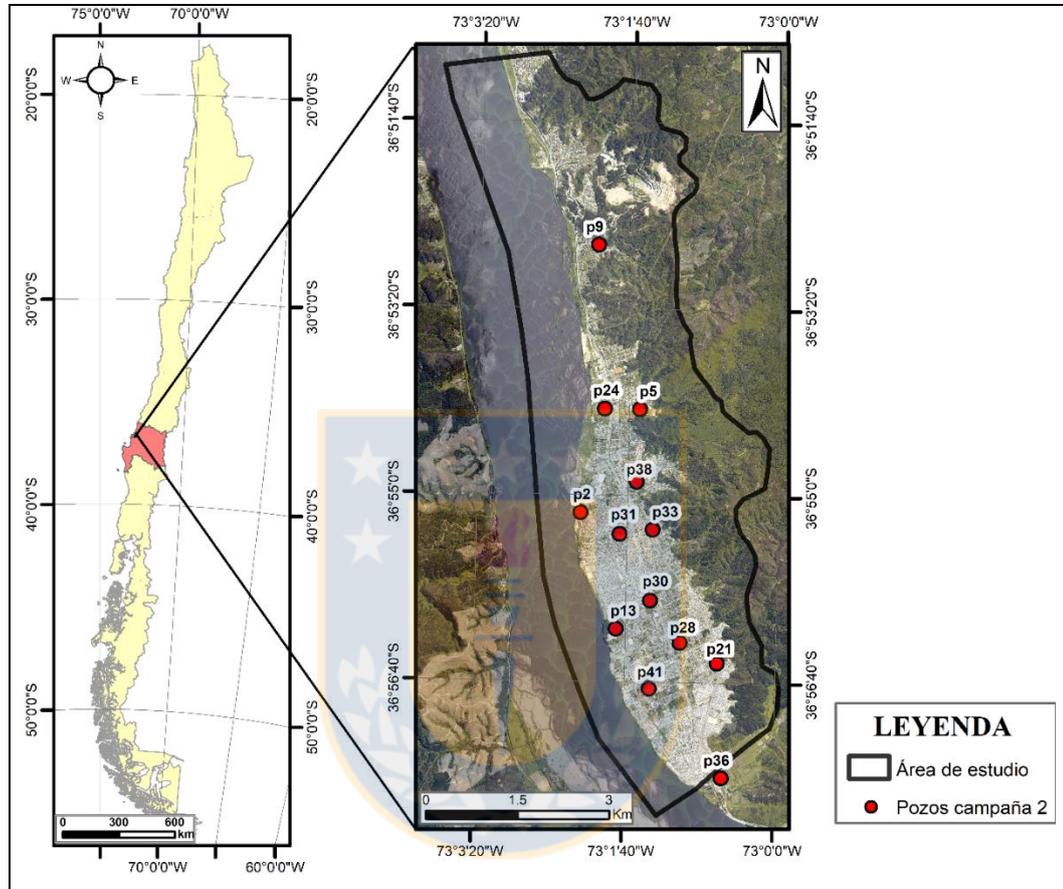


Figura 4.9: Distribución geográfica de pozos medidos durante la segunda campaña de terreno, realizada en la estación de verano (marzo de 2017).

Tabla 4.6: Variación del nivel estático período invierno-verano para cada pozo medido en la segunda campaña de terreno.

N° de pozo	Coordenada Norte (m)	Coordenada Este (m)	Nivel freático invierno (m)	Nivel freático verano (m)	Variación nivel freático (m)
2	5.912.275	674.903	3,94	4,41	0,47
5	5.913.973	675.878	1,45	1,86	0,41
9	5.916.693	675.208	0,38	0,57	0,19
13	5.910.349	675.478	16,40	18,08	1,68
21	5.909.769	677.135	8,34	8,44	0,10
24	5.913.984	675.304	3,62	3,71	0,09
28	5.910.113	676.527	11,39	10,75	-0,64
30	5.910.811	676.039	11,13	11,30	0,17
31	5.911.914	675.543	12,70	12,72	0,02
33	5.911.983	676.085	1,17	2,66	1,49

Continuación Tabla 4.6:

Nº de pozo	Coordenada Norte (m)	Coordenada Este (m)	Nivel freático invierno (m)	Nivel freático verano (m)	Variación nivel freático (m)
36	5.907.875	677.202	10,15	10,64	0,49
38	5.912.775	675.822	5,03	5,69	0,66
41	5.909.357	676.020	11,19	11,24	0,05

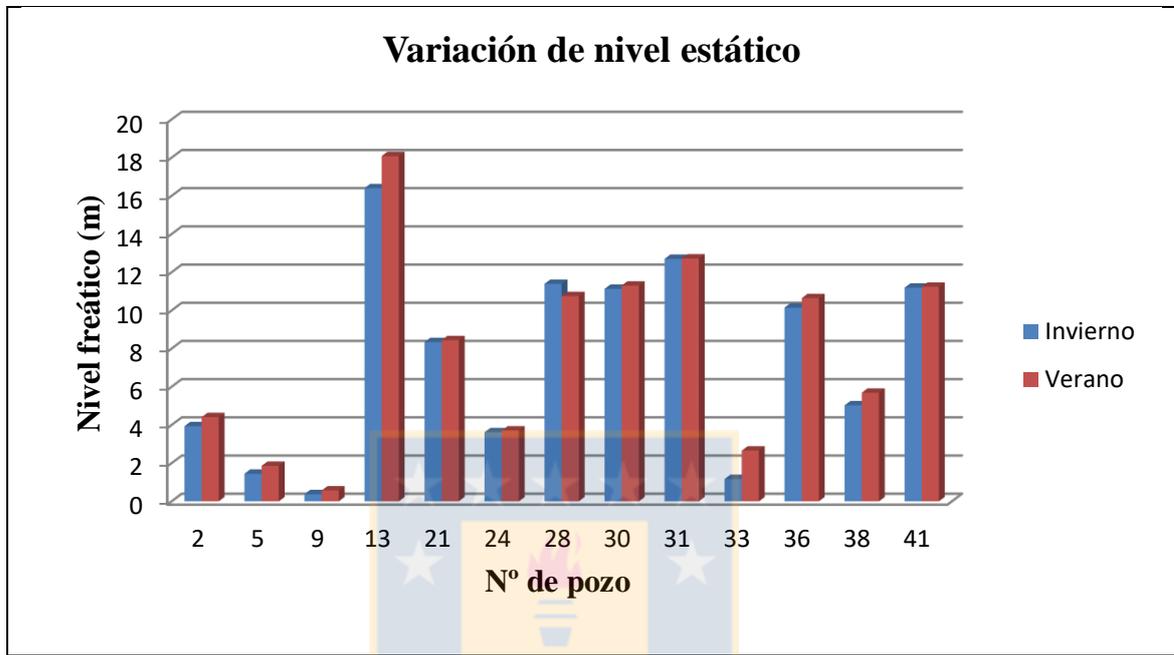


Gráfico 4.1: Variación del nivel estático período invierno-verano para cada pozo medido en la segunda campaña de terreno.

4.6. Balance hídrico

En cualquier sistema hidrogeológico es posible estimar el volumen de agua de lluvia que infiltra hacia el acuífero para recargar las reservas de agua subterránea, así como también el volumen de agua que se pierde, tanto por evapotranspiración como por escorrentía superficial. Esto es el balance hídrico de un sistema acuífero, el cual hace posible una evaluación cuantitativa de los recursos de agua y sus modificaciones por influencia de las actividades del hombre.

Para Pladeyra (2003) la evaluación de los recursos hídricos de una cuenca requiere de una estimación correcta del balance hidrológico, es decir, comprender el ciclo en sus diferentes fases: la forma en que el agua que es recibida por precipitación y repartida entre el proceso de evapotranspiración, escorrentía e infiltración. Así, es posible afirmar que del agua que cae en un determinado sitio, parte vuelve a la atmósfera ya sea por evaporación directa o por transpiración de la vegetación (evapotranspiración), y otra parte escurre por la superficie de la

cuenca (escorrentía superficial), a través de la red de drenaje hasta alcanzar los cauces principales y, finalmente, el mar. El resto, es infiltrada en el terreno e incorporada al sistema de aguas subterráneas o acuífero (infiltración o recarga).

Lo anterior, debe cumplir con la siguiente ecuación conocida con el nombre de balance hidrológico:

$$P = ETR + Es + I$$

Donde:

P: Precipitación

ETR: Evapotranspiración

Es: Escorrentía superficial

I: Infiltración o Recarga

La fórmula general utilizada en el balance hidrológico es la siguiente:

$$P - ETR = Es + I$$

La determinación del balance hídrico de un acuífero exige el estudio previo de algunas variables hidrometeorológicas, como la precipitación, temperatura ambiental y evapotranspiración. Para ello, la comuna de Chiguayante cuenta con una estación meteorológica, sin embargo, al ser instalada el año 2009 no cuenta con todos los datos necesarios. Es por esto, que en la presente investigación ha sido efectuado un análisis hidrometeorológico que abarca diversas estaciones colindantes a la comuna.

4.6.1. Precipitaciones

La información sobre las precipitaciones ha sido facilitada por la Dirección General de Aguas (DGA), para la estación de Chiguayante y aquellas colindantes al área de estudio (Figura 4.10 y Tabla 4.7). Cabe destacar, que para las estaciones meteorológicas Las Pataguas, Andalién en Puente Trinitarias y Concepción no existen registros para algunos meses y/o años, por lo tanto, la información carente ha sido completada a partir de los datos desarrollados por el

Centro de la Ciencia del Clima y la Resiliencia del Departamento de Geofísica de la Universidad de Chile y el buscador *on-line* de la empresa española Tutiempo Network S.L.

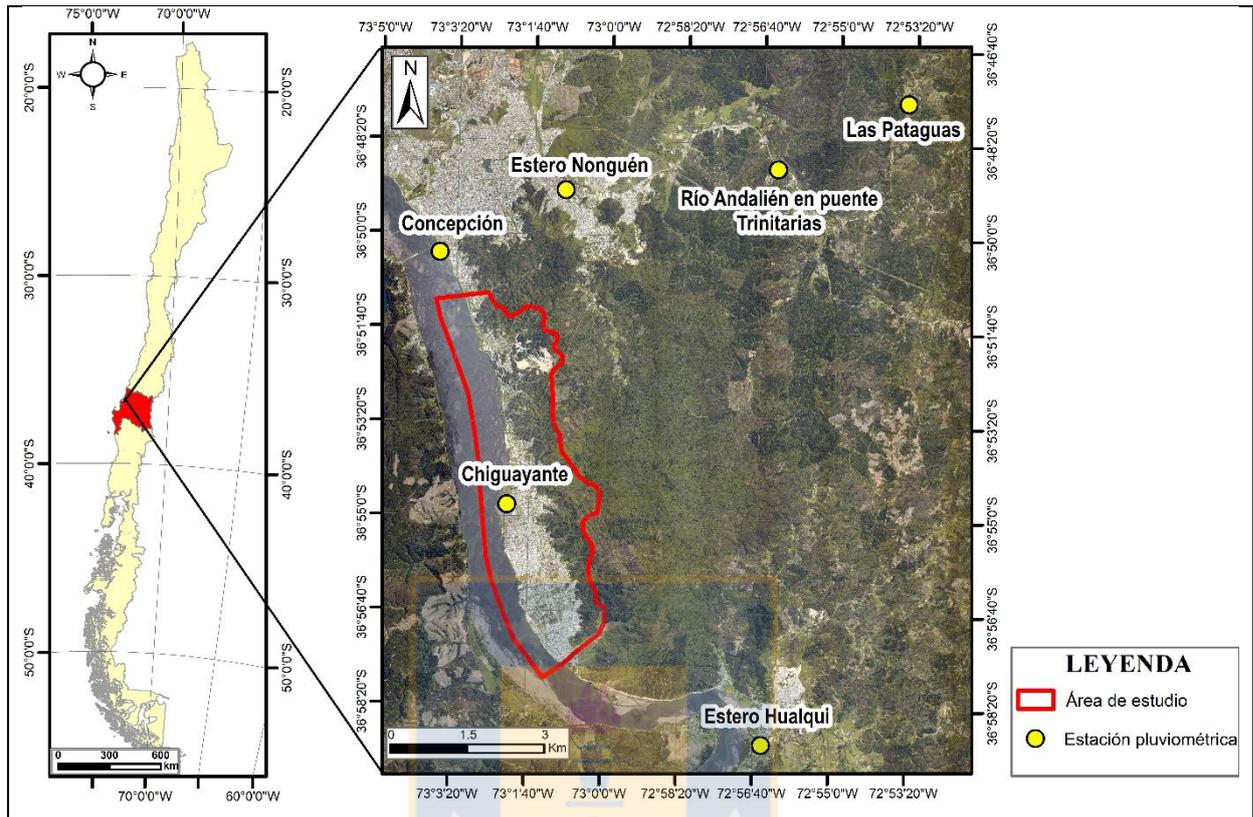


Figura 4.10: Ubicación geográfica de las estaciones meteorológicas estudiadas en este informe.

Tabla 4.7: Estaciones meteorológicas utilizadas para el análisis de precipitaciones.

Nombre de la estación	Coordenada Norte (m)	Coordenada Este (m)	Altitud (m s.n.m.)	Código de estación	Cuenca	Subcuenca	Período de registro
Chiguayante	5.912.937	674.983	23	08-2	Río Biobío	Río Biobío Bajo (Entre Río Laja y Desembocadura)	2009-2016
Estero Hualqui en Desembocadura	5.905.021	683.228	30	8393002-0	Río Biobío	Río Biobío Bajo (Entre río Laja y Desembocadura)	2009 - 2016
Concepción	5.921.211	672.821	16	856820 (SCIE)	Río Biobío	Río Biobío Bajo (Entre río Laja y Desembocadura)	1985 - 2016
Las Pataguas	5.926.007	688.070	236	8220005-3	Costeras e islas entre río Itata y río Biobío	Río Andalién	1993 - 2016

Continuación Tabla 4.7:

Nombre de la estación	Coordenada Norte (m)	Coordenada Este (m)	Altitud (m s.n.m.)	Código de estación	Cuenca	Subcuenca	Período de registro
Estero Nonguén frente u. Biobío	5.923.226	676.917	20	8220008-8	Costeras e islas entre río Itata y Río Biobío	Río Andalién	2009 - 2016
Río Andalién en puente Trinitarias	5.923.879	683.820	37	8220009-6	Costeras e islas entre río Itata y río Biobío	Río Andalién	2005 - 2016

Dado que la estación de Chiguayante tiene un período de registro desde el año 2009 al 2016, se tiene información escasa e incompleta, por lo que se realiza una comparación entre ella y las estaciones contiguas más cercanas en cuanto a precipitaciones promediadas para los mismos meses, desde mayo del 2013 hasta abril del 2016, con tal de incluir la mayor cantidad de información posible para un correcto análisis. Los resultados obtenidos de cada análisis se presentan en el Gráfico 4.2, Gráfico 4.3, Gráfico 4.4, Gráfico 4.5 y Gráfico 4.6, donde es posible determinar diferencias entre el promedio de precipitaciones con respecto a la estación de Chiguayante de 13,56 mm para Concepción, 11,93 mm para Las Pataguas, 13,48 mm para Estero Nonguén frente a universidad del Biobío y 12,73 mm para Río Andalién en puente Trinitarias, este último sin considerar los meses de marzo y abril, de los cuales no se tiene información del último año. La estación Estero Hualqui en Desembocadura posee datos muy incompletos, por lo tanto, fue excluido para realizar el balance hídrico.

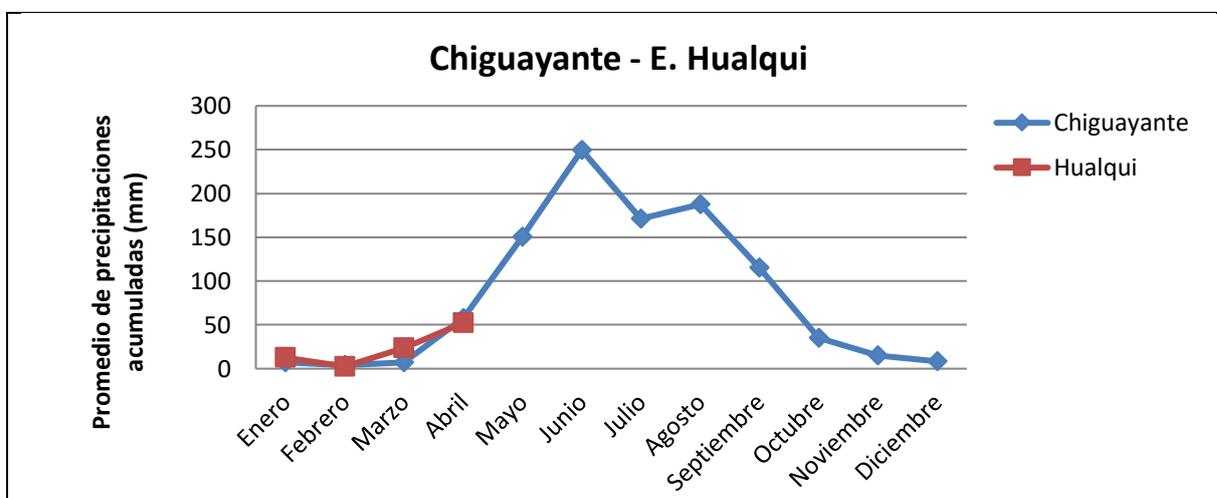


Gráfico 4.2: Comparación de promedios de precipitaciones entre estaciones Chiguayante y Estero Hualqui en desembocadura, periodo 2013 – 2016.

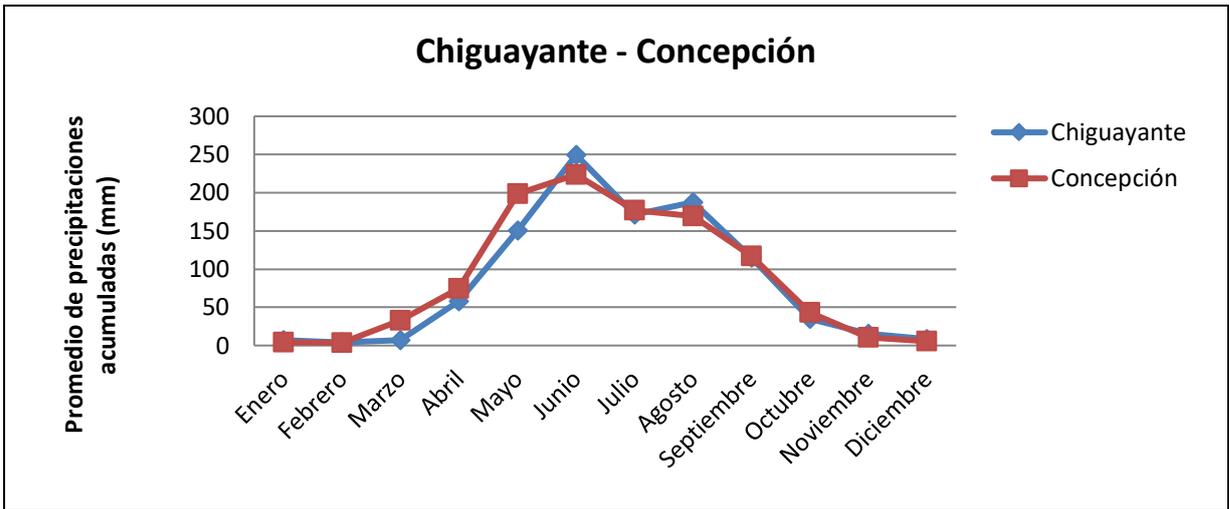


Gráfico 4.3: Comparación de promedios de precipitaciones entre estaciones Chiguayante y Concepción, periodo 2013 – 2016.

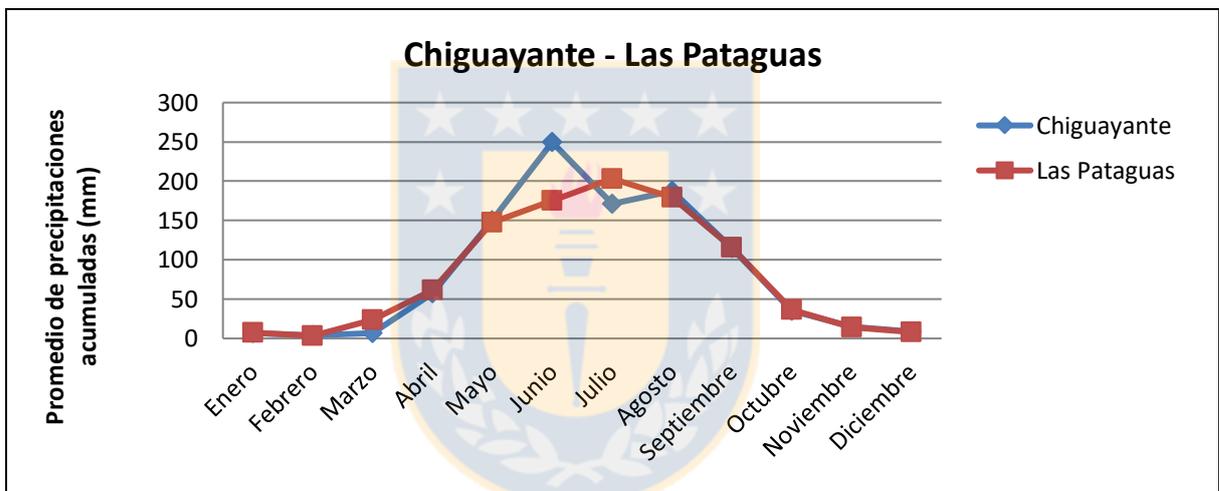


Gráfico 4.4: Comparación de promedios de precipitaciones entre estaciones Chiguayante y Las Pataguas, periodo 2013 – 2016.

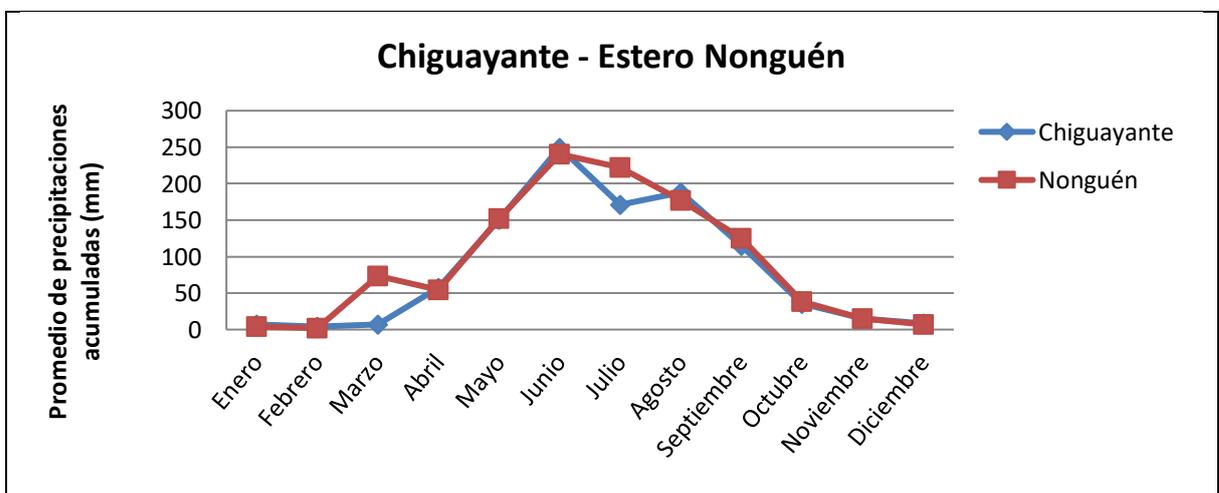


Gráfico 4.5: Comparación de promedios de precipitaciones entre estaciones Chiguayante y Estero Nonguén frente u. Biobío, periodo 2013 – 2016.

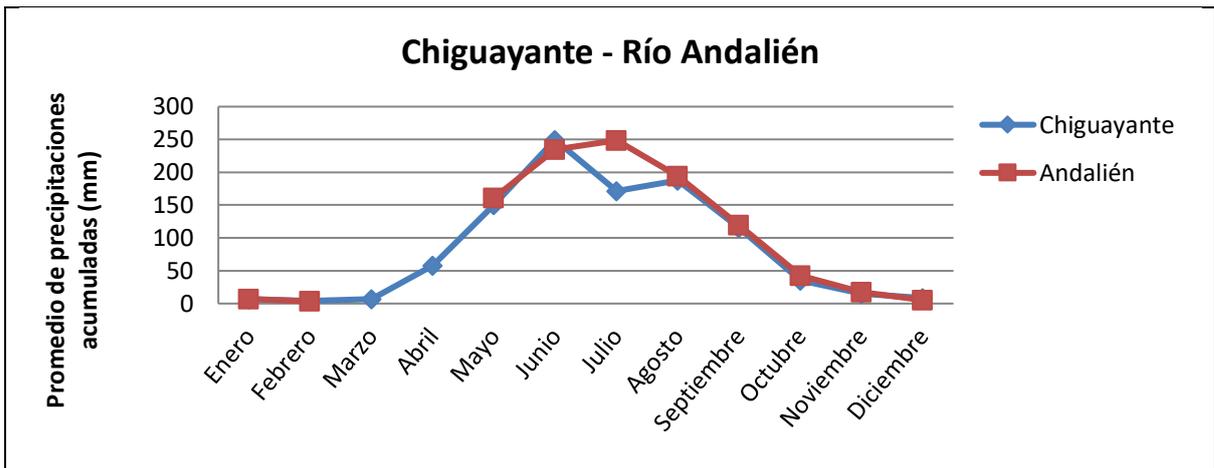


Gráfico 4.6: Comparación de promedios de precipitaciones entre estaciones Chiguayante y Río Andalién en puente Trinitarias, periodo 2013 – 2016.

Para detallar un poco más la comparación, se efectúa la misma metodología, pero ahora para las estaciones cuyas precipitaciones acumuladas se acercan a los valores de Chiguayante, y sólo para los años 2014 y 2015. Esto es para las estaciones de Las Pataguas y Río Andalién en puente Trinitarias (esta última para incluir los meses sin datos del análisis anterior) (Gráfico 4.7 y Gráfico 4.8).

Así, la diferencia de las precipitaciones acumuladas para cada estación tiene un valor mínimo de 0,7 mm y máximo de 143,4mm para el caso de la estación Andalién en Puente Trinitarias; y mínimo de 0,9 mm y máximo de 41,5 mm para el caso de la estación Las Pataguas. Además, el promedio de la diferencia de precipitaciones es menor para la estación Las Pataguas (21,4mm) que para la estación Andalién en Puente Trinitarias (27,38 mm).

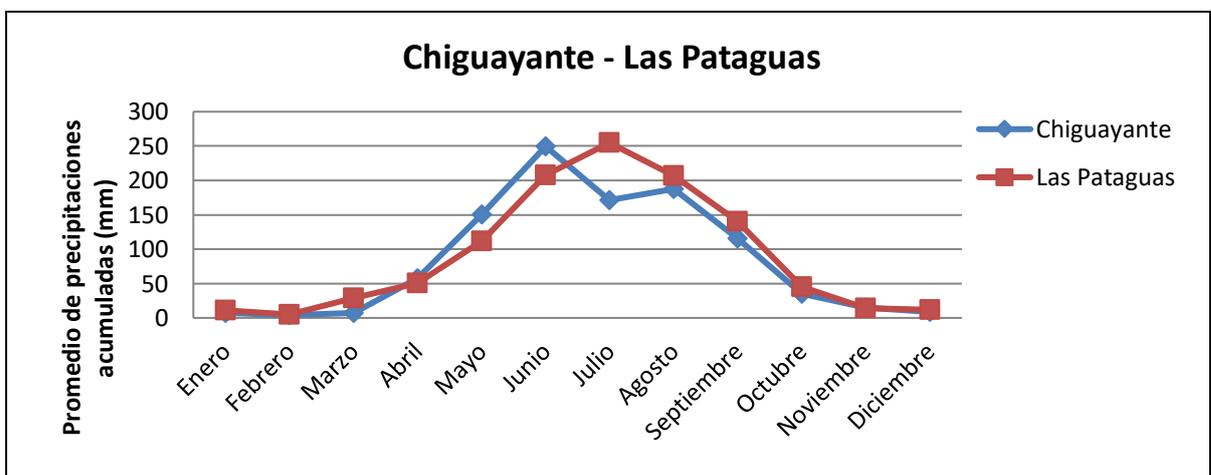


Gráfico 4.7: Comparación de precipitación acumulada entre estaciones Chiguayante y Las Pataguas, periodo 2014 – 2015.

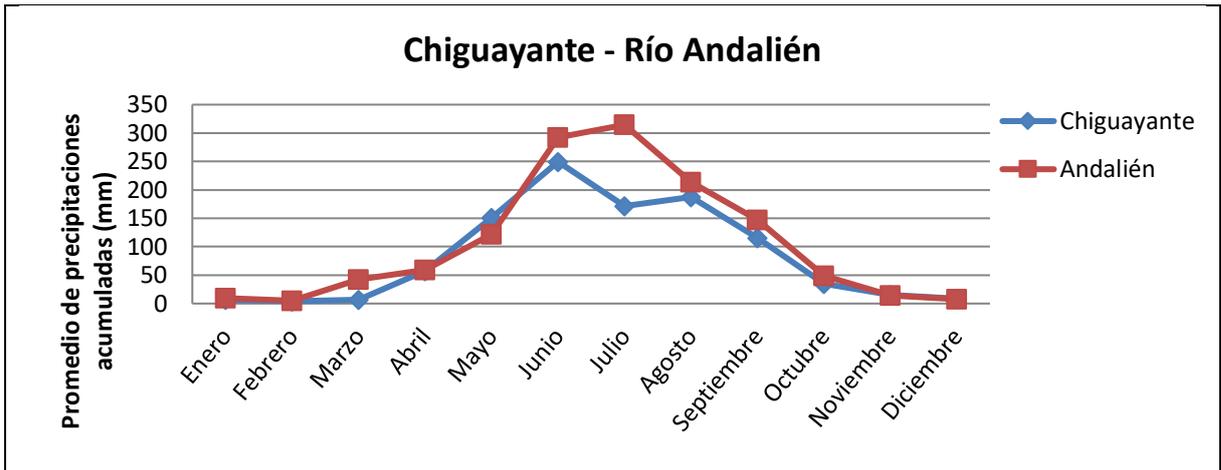


Gráfico 4.8: Comparación de precipitación acumulada entre estaciones Chiguayante y Río Andalién en puente Trinitarias, periodo 2014 – 2015.

En el Gráfico 4.9 se presentan las comparaciones de las precipitaciones acumuladas y promediadas de enero a diciembre, para los años 2014 y 2015, el cual destaca que la estación Las Pataguas tiene valores similares a la estación Chiguayante.

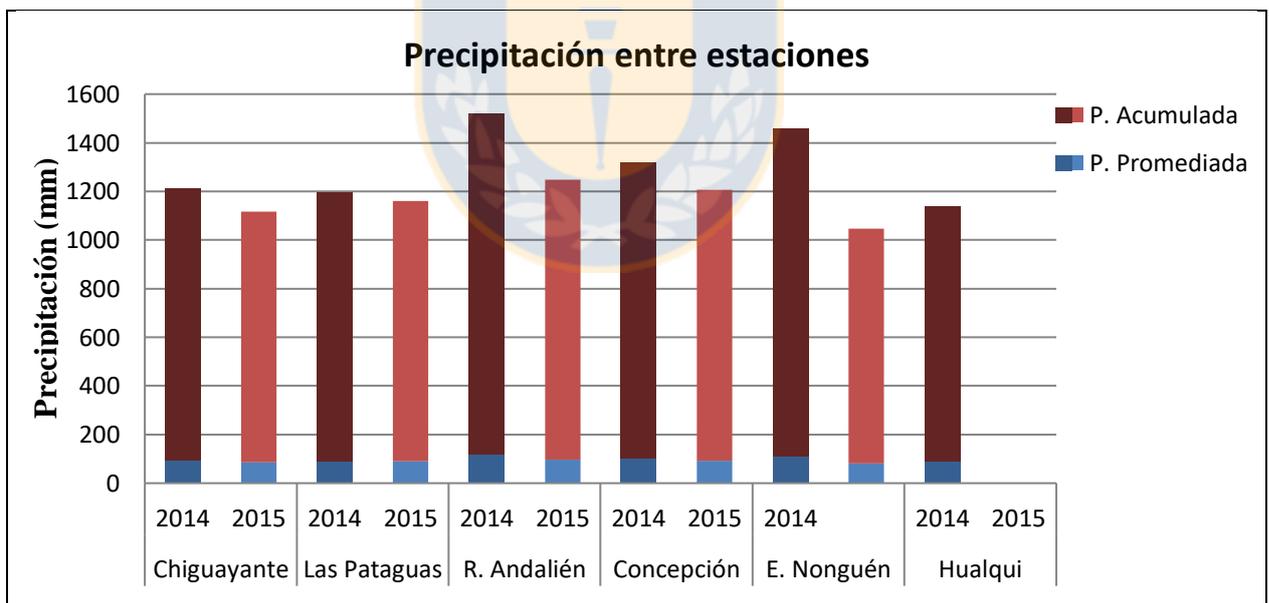


Gráfico 4.9: Comparación de precipitaciones acumuladas y promediadas entre la estación Chiguayante y las estaciones contiguas, años 2014 – 2015. La Estación Hualqui no registra datos en 2015.

Dado lo anterior, es posible concluir que la estación, cuyos valores de precipitaciones son más cercanos a los valores de la estación Chiguayante, corresponde a Las Pataguas, el cual será utilizado en el balance hídrico para el área de estudio.

4.6.2. Temperatura media ambiental

Para el caso de los datos termométricos se dispone de un menor número de estaciones que registren este parámetro y sólo ha sido obtenida información completa de la estación Concepción. Además, de la estación Chiguayante se tiene registros incompletos de temperatura, ya que desde junio del 2013 hasta la fecha existen datos continuos. De igual manera, la estación Las Pataguas tiene registro público desde el año 2015 a la fecha, a través de la información de la estación satelital entregada por *Accuweather*, por lo que tampoco es posible utilizar esta estación para el cálculo del balance hídrico. Sin embargo, aun así, ha sido comparado este parámetro entre estas estaciones (Gráfico 4.10, Gráfico 4.11, Gráfico 4.12 y Gráfico 4.13), en la que es posible concluir que los valores mensuales de temperatura son semejantes entre ellas, y sólo hay una variación entre $0,1^{\circ}\text{C}$ y $2,7^{\circ}\text{C}$ con un promedio de diferencia de $1,15^{\circ}\text{C}$, respecto a la estación Chiguayante. A partir de lo anterior, la estación Concepción se utiliza para la estimación del balance hídrico.

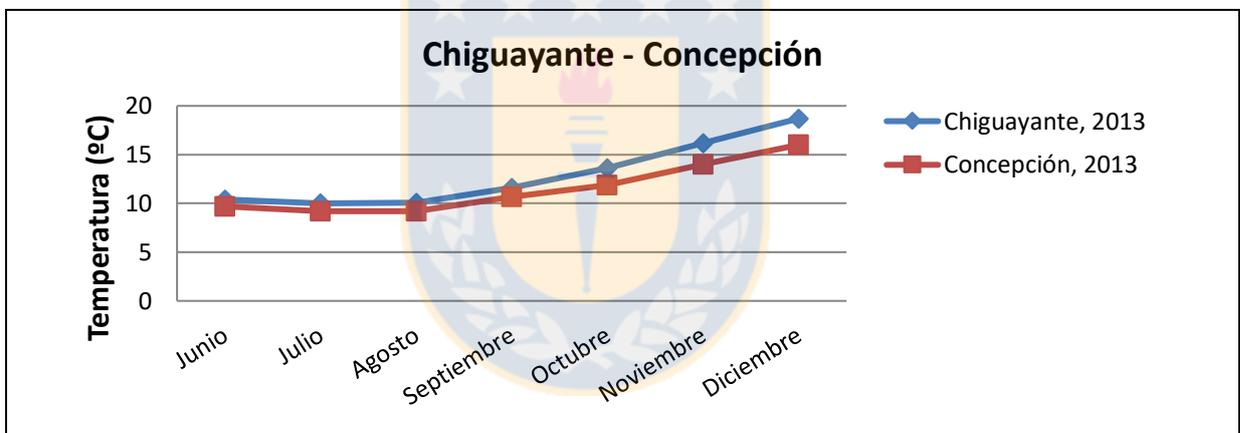


Gráfico 4.10: Comparación de temperatura ambiental entre las estaciones de Chiguayante y Concepción, año 2013.

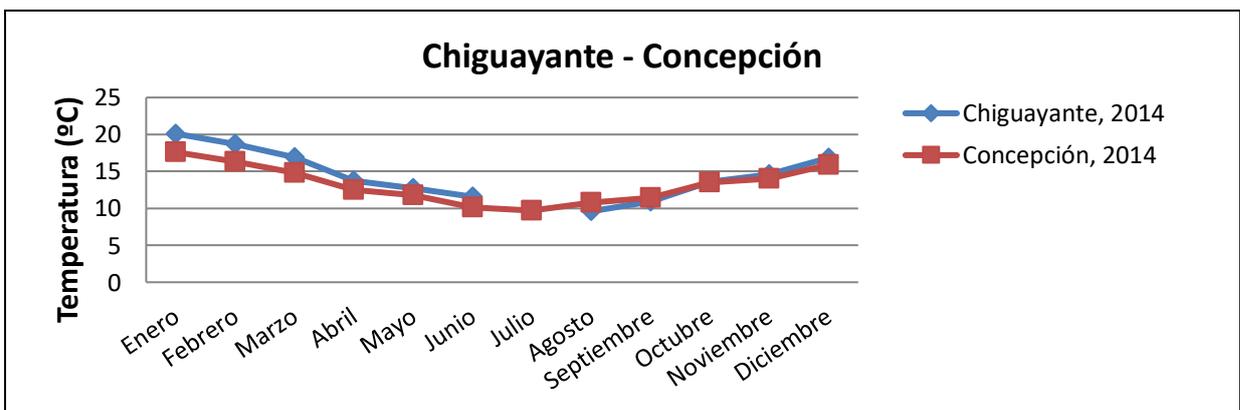


Gráfico 4.11: Comparación de temperatura ambiental entre las estaciones de Chiguayante y Concepción, año 2014.

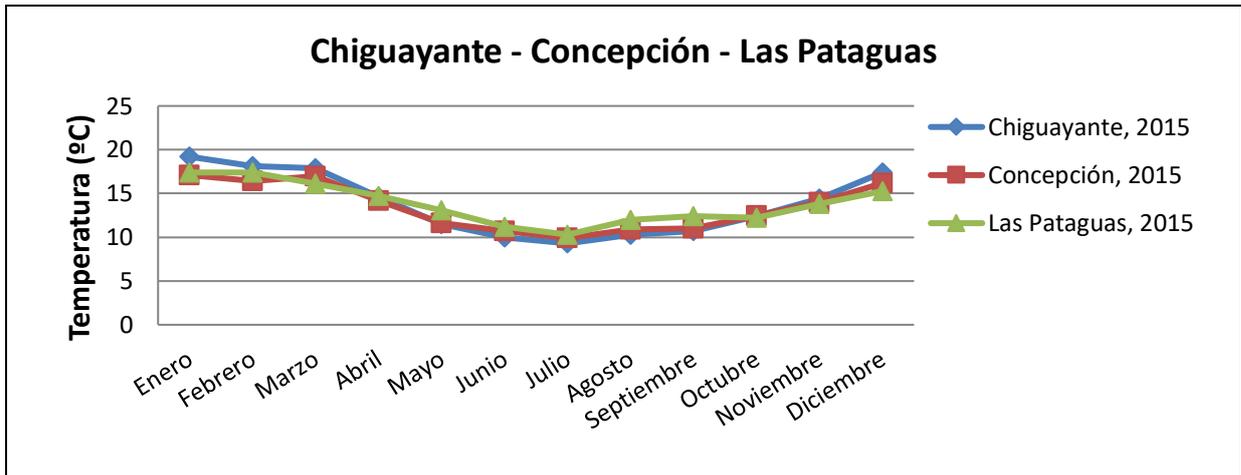


Gráfico 4.12: Comparación de temperatura ambiental entre las estaciones de Chiguayante, Concepción y Las Pataguas, año 2015.

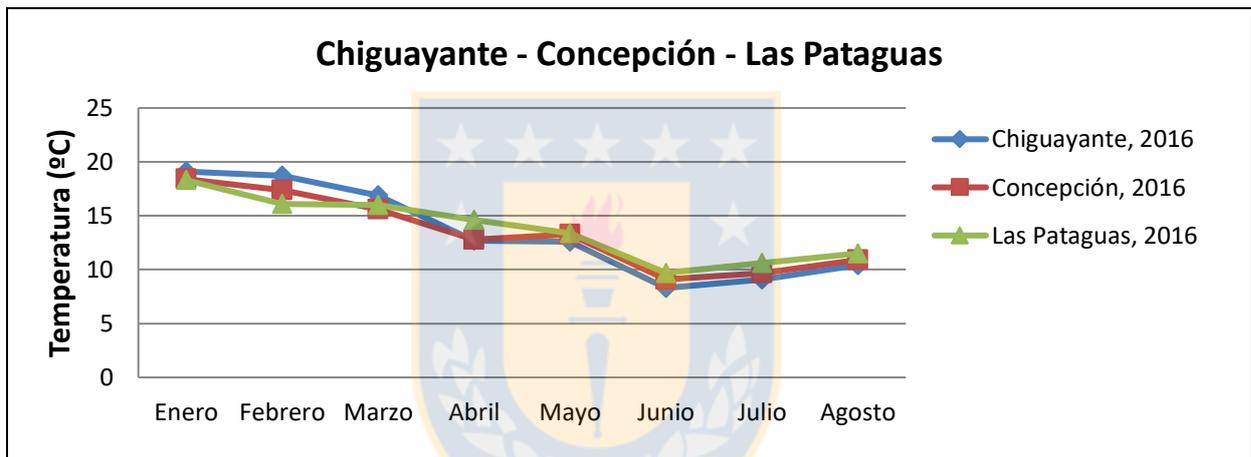


Gráfico 4.13: Comparación de temperatura ambiental entre las estaciones de Chiguayante, Concepción y Las Pataguas, año 2016.

Dado lo anterior, las temperaturas medias ambientales de la estación Concepción serán utilizadas para el cálculo del balance hídrico.

Con el objetivo de obtener valores de precipitación y temperatura media lo más fiables posibles se ha tenido en cuenta lo que aconseja la Organización Meteorológica Mundial de considerar un período mínimo de 30 años, para así incluir épocas de mayor sequía y de mayor humedad. Así, la fecha de inicio de monitoreo para la estación Las Pataguas (utilizado para datos de precipitaciones) comienza en enero de 1993, mientras que la estación Concepción tiene un comienzo de monitoreo desde enero de 1973, por lo que es considerado un periodo de 22 años para los datos de precipitaciones y temperatura.

A modo de síntesis, según el Gráfico 4.14 la temperatura ambiental promedio fluctúa entre los 7°C y 18°C, mientras que las precipitaciones acumuladas mensuales oscilan entre los 0 mm y 605 mm, durante el periodo 1993 - 2015.

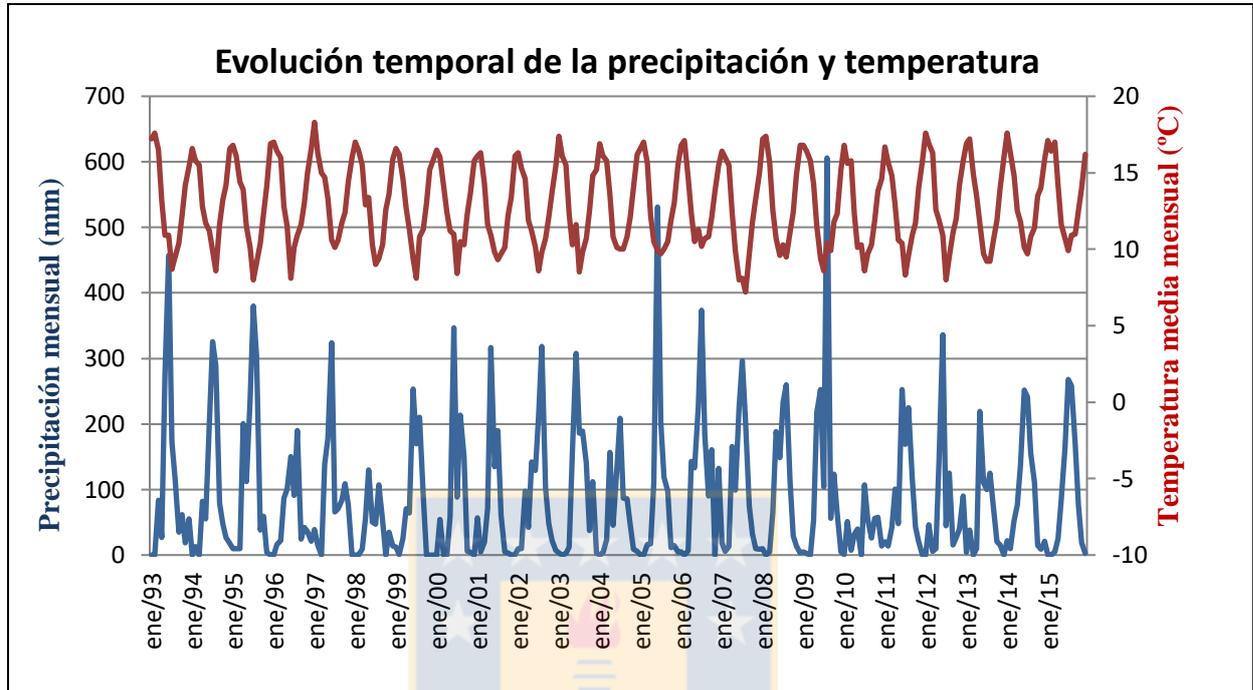


Gráfico 4.14: Evolución temporal de precipitación (en azul, estación Las Pataguas) y temperatura (en rojo, estación Concepción) desde el año 1993 a 2015. Ambos datos utilizados para la comuna de Chiguayante.

4.6.3. Evapotranspiración

El concepto de Evapotranspiración (ET) es la consideración conjunta de dos procesos diferentes: la evaporación y la transpiración.

La evaporación es el fenómeno físico en el que el agua pasa de líquido a vapor y puede producirse desde:

- La superficie del suelo y la vegetación inmediatamente después de la precipitación.
- Las superficies de agua (ríos, lagos, embalses).
- El suelo, agua infiltrada que se evapora desde la parte más superficial del suelo. Puede tratarse de agua recién infiltrada o, en áreas de descarga, de agua que se acerca de nuevo a la superficie después de un largo recorrido en el subsuelo.

La transpiración es el fenómeno biológico por el que las plantas pierden agua en forma de vapor hacia la atmósfera. Éstas, toman agua del suelo a través de sus raíces, incorporando una pequeña parte para su crecimiento, mientras que el resto lo transpiran.

Para nuestro estudio (e hidrología en general), la importancia de la evapotranspiración radica en la cuantificación de los recursos hídricos de una zona, en este caso, la comuna de Chiguayante, puesto que, en términos generales, lo que llueve menos lo que se evapotranspira es el volumen de agua disponible.

Existen varios modelos para estimar el balance de agua en el suelo; en este informe es utilizado el método directo propuesto por Thornthwaite & Mather (1955), según el cual se va perdiendo agua para poder generar la evapotranspiración potencial (máxima evapotranspiración posible cuando existe cobertura vegetal completa y el suelo está totalmente saturado) hasta agotar la reserva. Así, para su cálculo es necesario definir mes a mes los siguientes parámetros (en mm o l/m², ambos valores son iguales):

P: precipitación media mensual

ETP: evapotranspiración potencial o de referencia

P-ETP: Balance mensual de entradas y salidas de agua en el suelo

R: reserva del suelo

ETR: evapotranspiración real

Def: falta o déficit de agua

Ex: exceso de agua

A continuación, son analizados los diferentes parámetros:

P-ETP: la diferencia clasifica los meses en secos (**P-ETP<0**) y en húmedos (**P-ETP>0**), según las entradas superen o no a las salidas.

R (reserva del suelo): Si en un mes se produce más entradas que salidas (**P>ETP**), el agua sobrante pasará a engrosar las reservas del suelo; por el contrario, cuando las salidas sean mayores que las entradas (**P<ETP**) la reserva del suelo disminuye.

Los valores de la reserva se irán acumulando mes a mes en el período húmedo, según los incrementos $P-ETP > 0$, y disminuirán al llegar el período seco, decreciendo mes a mes según los valores mensuales $P-ETP < 0$. Así, la reserva nunca tendrá como valor uno mayor que la reserva máxima, ni un número negativo.

Def (falta de agua o déficit): Volumen de agua que falta para cubrir las necesidades potenciales de agua (para evaporar y transpirar). Por lo tanto, la falta de agua es:

$$Def = ETP_i - ETR_i$$

Ex (exceso de agua): Es el agua que excede de la reserva máxima y que se pierde por escorrentía superficial o profunda. Por lo tanto:

$$Ex_i = (P_i - ETP_i - VR_i) \quad \text{Si } (P_i - ETP_i) > 0$$

$$Ex_i = 0 \quad \text{Si } (P_i - ETP_i) \leq 0$$

De la ecuación anterior, VR_i corresponde a la variación de la reserva en el mes “i”. Como es lógico, sólo puede haber exceso si la precipitación ha compensado previamente la **ETP**, es decir, en los meses húmedos.

Para poder calcular los parámetros anteriores, es necesario determinar el valor de la laminación o abstracción máxima, correspondiente al máximo valor de precipitación que ha producido escorrentía superficial. Este valor es función del número de curva, parámetro que cuantifica de 0 a 100 la capacidad de originar escorrentía superficial o, en término simples, la permeabilidad de la superficie. Así, valores cercanos a 0 representan condiciones de permeabilidad muy alta, mientras que valores cercanos a 100 representan condiciones de impermeabilidad.

El método del número de curva ha sido desarrollado por el *Soil Conservation Service* (SCS, 1972) del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA) (Mockus, V., 1964), vigente hasta el día de hoy, y actualizado, posteriormente, por el *Natural Resource Conservation Service* (NRCS, 2008), siendo ampliamente utilizado por la facilidad para estimar sus parámetros a partir de datos edafológicos y de vegetación (Ferrer, 1993; Bodoque, 2006; Grimaldi y otros, 2013a). Es necesario mencionar que las tablas americanas preparadas por el Servicio de Conservación de Recursos Naturales (NRCS, por sus siglas en inglés) y la Junta de Planificación, proporcionan valores de número de curva como función de la abstracción inicial, el cual está estimado a partir de las características del suelo, como la

pendiente, su uso y la capacidad de infiltración en base al grupo hidrológico de éste, aunque según el método simplificado de Ponce & Hawkins (1996), el número de curva puede obtenerse al emplear solamente la información del uso y grupo hidrológico del suelo. De este modo, se requiere establecer el grupo hidrológico del suelo, a partir de la clasificación textural determinada para cada serie de suelo presente en el área de estudio y, según el porcentaje de fracción limo, arcilla y arena (calculada en el capítulo 3), es posible establecer que el grupo hidrológico correspondiente a la serie San Esteban es del tipo B; mientras que la serie Arenales es del tipo A (Tabla 4.8 y Figura 4.11).

Tabla 4.8: Grupos hidrológicos de suelos, según las clasificaciones del *Natural Resource Conservation Service* (USDA-SCS, 1964).

Suelo	Capacidad de infiltración con humedad elevada	Tasa de infiltración (mm/hr)	Potencial de escorrentía	Potencia	Textura	Drenaje
A	Alta	7,62 - 11,43	Escaso	Grande	Arenosa Areno-limosa	Excesivo
B	Moderada	3,81 - 7,62	Moderado	Media a grande	Franca arenosa Franca Franco-arcillo-arenosa Franco-limosa	Bueno a moderado
C	Escasa	1,27 - 3,81	Medio	Media a pequeña	Franco-arcillosa Franco-arcillo-limosa Arcillo-arenosa	Imperfecto
D	Muy escasa	0 - 1,27	Elevado	Pequeña: horizontes arcillosos, litosuelos, suelos con nivel freático permanentemente altos	Arcillosa	Pobre o muy pobre

Por lo demás, existe una variabilidad respecto a los valores de número de curva según la intensidad y duración de la lluvia, precipitación inicial, condiciones de humedad del suelo, densidad de la cubierta vegetal, etapa de crecimiento y temperatura. Para la humedad del suelo, esta variabilidad es denominada “condición de humedad antecedente” (AMC, por sus siglas en inglés), la cual está dividida en tres clases (Tabla 4.9), cada una con el rango de clasificación correspondiente (Chow, 1984). De acuerdo con esto, se asume una condición de humedad normal en el área de estudio.

Una vez determinado el grupo hidrológico para cada serie de suelo y las condiciones de humedad imperantes en la zona de estudio, se procede a establecer el número de curva según

uso de suelo a partir de la Tabla 4.10 para, posteriormente, continuar con el cálculo de abstracción máxima. Los valores obtenidos se adjuntan en la Tabla 4.11.

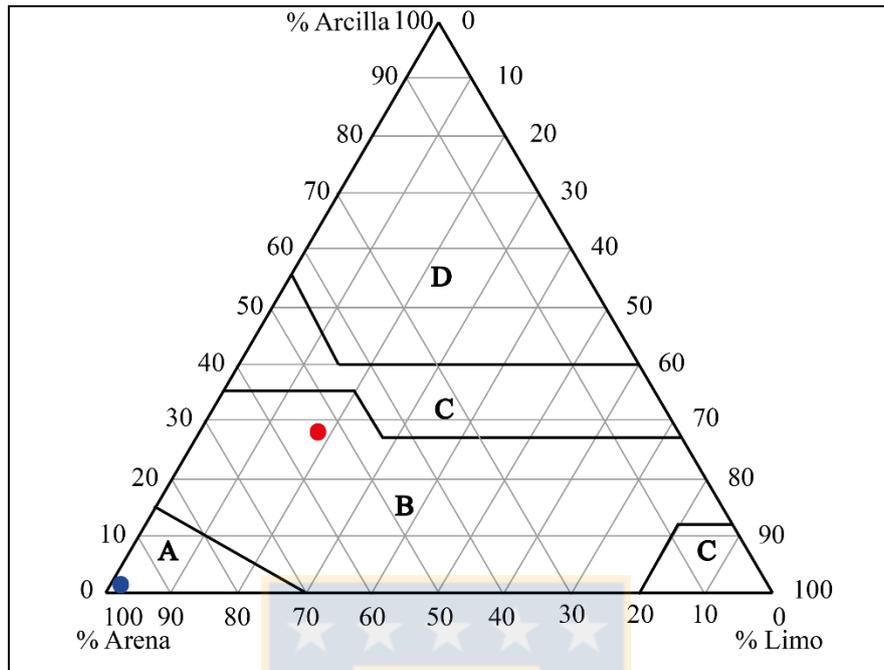


Figura 4.11: Diagrama textural para la determinación del grupo hidrológico del suelo (según MOPU, 1990). En rojo, serie San Esteban; en azul, serie Arenales.

Tabla 4.9: Condiciones antecedentes de humedad básicas empleadas por el método SCS. Estación Inactiva: Octubre-Marzo; Estación activa: abril-septiembre.

AMC	Condición de humedad	Descripción	Lluvia antecedente total de 5 días (mm)	
			Estación Inactiva (seca)	Estación activa (crecimiento)
I	seco	Suelo seco, caudales chicos. Los suelos en la cuenca están secos, pero no hasta el punto de marchitamiento, cuando se aran o se cultivan bien. Esta condición no se considera aplicable al cálculo para determinar la avenida de proyecto porque resultan caudales chicos.	< 12,7	< 35,56
II	Normal	Suelo medio; asociado a crecidas anuales o promedios. Los suelos en la cuenca se encuentran en estado de humedad normal.	12,7 - 27,94	35,56 - 53,34
III	Húmedo	Suelo húmedo, crecidas máximas, caudales grandes. Los suelos en la cuenca se encuentran en estado muy húmedo cuando ha llovido mucho o poco con bajas temperaturas durante los cinco días anteriores a la tormenta. Suelo casi saturado. Los números de curva han sido tabulados por el Servicio de Conservación de Suelos en base al tipo y uso de suelo	>27,94	> 53,34

Tabla 4.10: Tabla de valores de Números de Curva (CN) de escorrentía para usos selectos de tierra agrícola, suburbana y urbana (condiciones antecedentes de humedad II, $I_a = 0,2S$) (tomado y traducido de *Soil Conservation Service*, 1972).

Descripción del uso de la tierra		Grupo hidrológico del suelo			
		A	B	C	D
Barbecho	-	77	86	91	94
Tierra cultivada	Sin tratamientos de conservación	72	81	88	91
	Con tratamientos de conservación	62	71	78	81
Pastizales	Condiciones pobres	68	79	86	89
	Condiciones óptimas	39	61	74	80
Vegas de ríos	Condiciones óptimas	30	58	71	78
Bosques	Troncos delgados, cubierta pobre, sin hierbas	45	66	77	83
	Cubierta buena	25	55	70	77
Áreas abiertas, césped, parques, campos de golf, cementerios, etc.	Óptimas condiciones: cubierta de pasto en el 75% o más	39	61	74	80
	Condiciones aceptables: cubierta de pasto en el 50 al 75%	49	69	79	84
Áreas comerciales de negocios (85% impermeables)		89	92	94	95
Distritos industriales (72% impermeables)		81	88	91	93
Residencial					
Tamaño promedio del lote	Porcentaje promedio impermeable				
1/8 acre o menos	65	77	85	90	92
1/4 acre	38	61	75	83	87
1/3 acre	30	57	72	81	86
1/2 acre	25	54	70	80	85
1 acre	20	51	68	79	84
Parqueaderos pavimentados, techos, accesos, etc.		98	98	98	98
Calles y carreteras					
Pavimentados con cunetas y alcantarillados		98	98	98	98
Grava		76	85	89	91
Tierra		72	82	87	89

Tabla 4.11: Valores de número de curva ponderado para las series de suelo San Esteban y Arenales.

Serie de suelo	Tipo de suelo	Uso de suelo	Número de curva	Superficie (m ²)	Razón de superficie	CN ponderado	CN total
San Esteban	B	Bosques	66	91.229.773,30	0,97	63,69	66,26
		Áreas desprovistas de vegetación	86	777.981,26	0,01	0,71	
		Terrenos agrícolas	71	1.600.348,29	0,02	1,20	
		Praderas y matorrales	67	927.131,37	0,01	0,66	
Arenales	A	Áreas urbanas e industriales	61	9.548.542,95	1,00	61,00	61,00

A partir de los resultados obtenidos de la tabla anterior, se determinan los valores de abstracción máxima (Tabla 4.12) para cada serie de suelo, mediante la expresión:

$$S = \left(\frac{25400}{CN} \right) - 254$$

Donde:

S: Abstracción máxima (también llamada máxima infiltración o laminación).

CN: Número de curva.

Tabla 4.12: Valores de abstracción máxima para las series de suelo San Esteban y Arenales.

Serie de suelo	Número de curva	Abstracción máxima (mm)
San Esteban	66,26	129,34
Arenales	61,00	162,39

Con el valor de la abstracción máxima, en adición con aquellos correspondientes a las propiedades hidráulicas del suelo determinados en el capítulo 3 (Tabla 4.13), se obtiene la evapotranspiración real (evapotranspiración ocurrida en condiciones reales de vegetación y saturación del suelo) (Tabla 4.14 y Tabla 4.15) para cada serie de suelo de la comuna de Chiguayante, a partir del uso de la planilla Excel easy balance v3.0 (Vázquez-Suñé y Castro, 1999), cuyos resultados obtenidos para cada parámetro se adjuntan en Anexo IV. En el Gráfico 4.15 y Gráfico 4.16 se observa la variación anual de la evapotranspiración potencial, precipitación y evapotranspiración real para las series de suelo Sant Esteban y Arenales, respectivamente. Al analizar los datos, los valores de evapotranspiración real no satisfacen las necesidades de evapotranspiración potencial en 4 y 6 meses para la serie San Esteban y Arenales, respectivamente, lo que es consistente con las características climáticas de la zona calificada como zona templada cálida con estación seca de 5 a 4 meses de duración. En la serie San Esteban, el almacenamiento de agua se produce entre los meses de abril y septiembre, donde las precipitaciones superan la evapotranspiración, originando excedentes, mientras que entre octubre y noviembre las precipitaciones disminuyen considerablemente a tal punto que para causar una evapotranspiración potencial es necesaria la utilización de la reserva. Además, de diciembre a marzo las precipitaciones son aún más bajas, lo que impide alcanzar evapotranspiración potencial y, por lo tanto, la evapotranspiración real se restringe a la cantidad de precipitaciones, produciendo un déficit hídrico. Para el caso de la serie

Arenales, los excedentes ocurren entre abril y septiembre; en tanto que el déficit hídrico, entre octubre y marzo.

Tabla 4.13: Propiedades hidráulicas del suelo ingresadas a la planilla Easy-balance v3.0 para la determinación de la evapotranspiración.

Parámetros	Serie Arenales	Serie San Esteban
Capacidad de Campo	0,00	0,27
Humedad Inicial	0,00	0,48
Espesor suelo (m)	0,75	0,75
Punto de marchitez permanente	0,00	0,16
Laminación (mm)	162,39	129,34

4.6.4. Recarga

La recarga corresponde a la entrada de agua durante un período de tiempo hacia la zona saturada, donde comienza a ser parte de las reservas subterráneas. Puede darse naturalmente, debido a la precipitación, por aguas superficiales (a través de ríos y lagos), o por medio de transferencias desde otras unidades hidrogeológicas o acuíferos.

El reconocimiento de la recarga en sistemas hidrogeológicos es una de las tareas más importantes en la hidrogeología. Para evitar sobreexplotaciones de los acuíferos que traen consigo consecuencias desfavorables, hay que conocer la recarga natural del sistema hidrogeológico, parámetro que es decisivo para determinar las cantidades de agua disponibles para la extracción y uso humano. Si se trata de recarga por pura precipitación (sin influencias de cauces de ríos o de lagos), la tasa de recarga es igual a la infiltración efectiva.

Los procesos de recarga en un medio natural varían según, si el medio es homogéneo o heterogéneo y esté saturado o no. En general, la recarga depende de:

- Precipitación y su régimen e intensidad.
- Componentes climatológicos que determinan la cantidad de agua susceptible de ser evapotranspirada en el suelo: temperatura, radiación solar, etc.
- Características del suelo: material constituyente, tasa de infiltración, porosidad, profundidad radicular, etc.
- Tipo de roca, tanto de la zona no saturada como la del propio acuífero: conductividad hidráulica, porosidad eficaz, espesores, etc.
- Topografía del terreno.

Al igual que la evapotranspiración, la recarga es estimada a partir de la hoja electrónica Easy-Bal v3.0 (Tabla 4.16 y Tabla 4.17). En el Gráfico 4.17 y Gráfico 4.18, es posible concluir que la cantidad de agua que es infiltrada para formar parte de la zona saturada y causar recarga en la serie San Esteban es, en promedio, un octavo de las precipitaciones producidas, mientras que en la serie Arenales, la recarga se aproxima a la mitad de éstas.

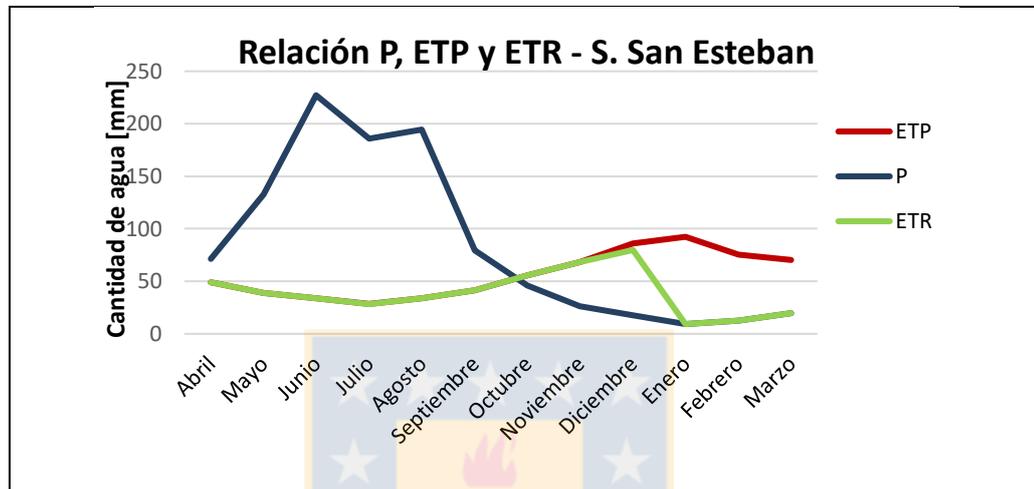


Gráfico 4.15: Evolución de la precipitación (P), ETP y ETR a lo largo de un año hidrológico para la serie San Esteban. El área producida entre ETP y ETR corresponde al déficit hídrico; donde P está por encima de ETR corresponde a almacenamiento en reserva más excedentes; mientras que donde ETR está por encima de P a la reserva del suelo.

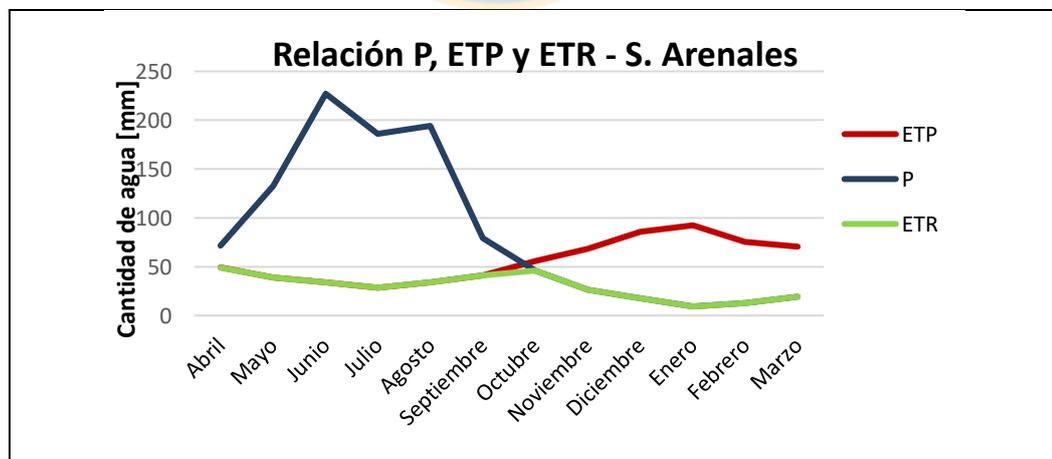


Gráfico 4.16: Evolución de la precipitación (P), ETP y ETR a lo largo de un año hidrológico para la serie Arenales. El área producida entre ETP y ETR corresponde al déficit hídrico; donde P está por encima de ETR corresponde a almacenamiento en reserva más excedentes; mientras que donde ETR está por encima de P corresponde a la reserva del suelo.

Tabla 4.14: Resultados mensuales de evapotranspiración real (en milímetros) obtenidos para la serie San Esteban, a partir de la planilla easy-balance v3.0.

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	ETR anual
1993	104,72	15,48	83,60	26,50	39,14	36,00	27,63	33,84	41,42	58,60	75,70	77,38	620,02
1994	0,00	12,94	0,00	52,08	43,12	37,29	33,04	29,28	48,17	65,33	75,53	33,47	430,25
1995	9,32	9,80	10,00	59,58	43,10	33,12	25,31	32,72	42,40	60,41	76,10	4,59	406,45
1996	0,00	16,00	22,00	51,59	41,63	23,21	33,56	40,47	47,65	63,34	74,00	21,30	434,76
1997	38,70	15,00	0,00	61,70	50,11	33,07	32,51	37,74	46,97	57,77	74,97	82,50	531,03
1998	0,00	0,00	9,20	52,99	52,55	33,40	29,15	33,52	41,06	61,56	55,94	14,00	383,37
1999	12,00	1,00	25,00	52,22	41,72	29,69	25,45	41,11	47,17	64,79	17,71	0,00	357,88
2000	0,00	54,30	0,00	0,00	42,09	37,77	27,56	40,44	42,44	61,11	31,09	0,00	336,80
2001	57,00	5,00	19,43	47,66	41,20	32,83	32,27	36,95	42,03	48,77	0,00	0,00	363,15
2002	9,32	9,80	74,49	49,39	42,80	34,48	29,10	37,53	45,51	60,66	74,77	25,09	492,93
2003	3,50	0,00	2,20	12,50	36,77	39,90	27,31	36,01	43,84	61,47	81,08	85,80	430,38
2004	0,00	3,00	23,80	57,11	38,85	32,53	33,84	36,60	43,93	58,21	74,49	11,01	413,35
2005	0,00	0,00	16,50	17,00	35,46	29,93	30,64	34,65	40,09	54,39	54,41	5,00	318,08
2006	5,00	0,00	6,50	49,85	37,58	38,30	35,01	40,49	44,19	58,51	73,31	92,30	481,03
2007	65,23	5,50	13,00	53,77	37,70	26,26	28,16	26,12	41,50	60,53	63,97	8,50	430,25
2008	9,40	0,00	5,00	50,10	37,76	29,77	34,71	33,47	44,98	59,48	66,02	3,00	373,69
2009	5,00	2,00	0,00	53,00	43,49	30,33	28,32	39,76	40,03	57,54	63,51	87,50	450,47
2010	0,50	51,00	7,00	32,00	37,15	2,85	29,01	36,92	43,13	59,20	75,39	58,59	432,73
2011	20,00	14,00	42,00	54,49	39,21	35,14	27,26	35,95	46,05	57,29	76,29	11,93	459,60
2012	0,00	46,00	5,80	10,00	44,27	35,98	24,53	33,81	45,38	57,22	61,90	90,00	454,90
2013	4,00	38,00	0,00	10,00	43,81	31,04	30,41	32,89	43,74	57,30	60,20	0,00	351,40
2014	21,50	10,00	53,00	50,18	43,48	32,07	31,94	40,24	46,81	67,22	38,88	21,00	456,32
2015	0,00	0,00	5,00	25,00	41,53	33,98	32,03	39,83	43,48	59,10	72,61	31,39	383,95
Promedio	15,88	13,43	18,41	40,38	41,50	31,69	29,95	36,10	44,00	59,56	61,65	33,23	425,77

Tabla 4.15: Resultados mensuales de evapotranspiración real (en milímetros) obtenidos para la serie Arenales, a partir de la planilla easy-balance v3.0.

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	ETR anual
1993	0,20	0,00	83,60	26,50	39,14	36,00	27,63	33,84	34,60	58,60	19,00	55,00	414,12
1994	0,00	12,94	0,00	52,08	43,12	37,29	33,04	29,28	48,17	47,72	26,49	17,62	347,75
1995	9,32	9,80	10,00	59,58	43,10	33,12	25,31	32,72	38,00	59,00	4,00	0,00	323,95
1996	0,00	16,00	22,00	51,59	41,63	23,21	33,56	40,47	24,30	42,50	35,70	21,30	352,26
1997	38,70	15,00	0,00	61,70	50,11	33,07	32,51	37,74	46,97	57,77	74,97	0,00	448,53
1998	0,00	0,00	9,20	52,99	52,55	33,40	29,15	33,52	41,06	0,00	35,00	14,00	300,87
1999	12,00	1,00	25,00	52,22	41,72	29,69	25,45	41,11	47,17	0,00	0,00	0,00	275,38
2000	0,00	54,30	0,00	0,00	42,09	37,77	27,56	40,44	42,44	5,50	4,20	0,00	254,30
2001	57,00	5,00	19,43	47,66	41,20	32,83	32,27	36,95	5,10	3,20	0,00	0,00	280,65
2002	9,32	9,80	74,49	42,20	42,80	34,48	29,10	37,53	45,51	47,72	23,00	7,30	403,24
2003	3,50	0,00	2,20	12,50	36,77	39,90	27,31	36,01	43,84	37,30	81,08	3,30	323,71
2004	0,00	3,00	23,80	57,11	38,85	32,53	33,84	36,60	43,93	46,20	9,30	5,70	330,85
2005	0,00	0,00	16,50	17,00	38,43	32,61	33,45	37,72	43,45	11,60	14,70	5,00	250,46
2006	5,00	0,00	6,50	49,85	37,58	38,30	35,01	40,49	44,19	58,51	0,00	92,30	407,72
2007	19,00	5,50	13,00	53,77	37,70	26,26	28,16	26,12	41,50	32,00	10,00	8,50	301,51
2008	9,40	0,00	5,00	50,10	37,76	29,77	34,71	33,47	44,98	29,00	14,00	3,00	291,19
2009	5,00	2,00	0,00	53,00	43,49	30,33	28,32	39,76	40,03	57,54	63,51	5,00	367,97
2010	0,50	51,00	7,00	32,00	37,15	0,00	29,01	36,92	26,00	56,30	57,50	14,00	347,38
2011	20,00	14,00	42,00	54,49	39,21	35,14	27,26	35,95	46,05	43,00	20,00	0,00	377,10
2012	0,00	46,00	5,80	10,00	44,27	35,98	24,53	33,81	15,00	27,00	40,00	90,00	372,40
2013	4,00	38,00	0,00	10,00	43,81	31,04	30,41	32,89	43,74	20,00	15,00	0,00	268,90
2014	21,50	10,00	53,00	50,18	43,48	32,07	31,94	40,24	46,81	14,60	9,00	21,00	373,82
2015	0,00	0,00	5,00	25,00	41,53	33,98	32,03	39,83	43,48	59,10	19,00	2,50	301,45
Promedio	9,32	12,75	18,41	40,07	41,63	31,69	30,07	36,23	38,97	35,40	25,02	15,89	335,46

Tabla 4.16: Resultados mensuales de la recarga (en milímetros) obtenidos para la serie San Esteban, a partir de la planilla easy-balance v3.0.

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Recarga anual
1993	0,00	0,00	0,00	0,00	7,70	10,80	19,20	82,00	0,00	0,00	0,00	0,00	119,70
1994	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	51,60	13,80	17,60	31,20	0,00	0,00	0,00	114,16
1995	0,00	0,00	0,00	0,00	56,20	13,70	21,50	14,10	0,00	0,00	0,00	0,00	105,53
1996	0,00	0,00	0,00	0,00	12,30	23,60	57,40	6,40	0,00	0,00	0,00	0,00	99,72
1997	0,00	0,00	0,00	0,00	64,40	13,80	33,30	32,80	36,60	50,60	2,10	0,00	233,59
1998	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	13,20	17,50	74,00	11,90	0,00	0,00	0,00	116,67
1999	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	58,30	21,40	5,70	41,80	0,00	0,00	0,00	127,24
2000	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	26,50	60,90	6,40	4,40	0,00	0,00	0,00	98,22
2001	0,00	0,00	0,00	0,00	29,40	14,00	14,60	23,80	0,00	0,00	0,00	0,00	81,70
2002	0,00	0,00	0,00	0,00	20,20	11,70	17,70	9,30	56,50	0,00	0,00	0,00	115,43
2003	0,00	0,00	0,00	0,00	10,10	6,90	19,50	10,80	3,00	0,00	6,90	0,00	57,32
2004	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	10,30	13,00	50,00	42,00	0,00	0,00	0,00	115,27
2005	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	10,20	16,20	1,10	57,70	0,00	0,00	0,00	85,20
2006	0,00	0,00	0,00	0,00	6,30	8,50	11,80	6,40	46,20	70,80	0,00	0,00	150,01
2007	0,00	0,00	0,00	0,00	54,40	20,60	18,70	20,70	33,50	0,00	0,00	0,00	147,84
2008	0,00	0,00	0,00	0,00	25,00	17,10	12,10	13,40	69,00	0,00	0,00	0,00	136,57
2009	0,00	0,00	0,00	0,00	3,40	16,50	75,90	7,10	16,00	65,50	0,50	0,00	184,74
2010	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	12,60	0,00	0,00	0,00	0,00	12,57
2011	0,00	0,00	0,00	0,0	0,00	67,00	19,60	10,90	70,90	0,00	0,00	0,00	168,32
2012	0,00	0,00	0,00	0,00	2,60	10,90	20,40	8,70	0,00	0,00	0,00	0,00	42,48
2013	0,00	0,00	0,00	0,00	3,00	79,00	69,60	9,60	24,30	0,00	0,00	0,00	185,44
2014	0,00	0,00	0,00	0,00	29,20	14,80	14,90	6,60	64,40	0,00	0,00	0,00	129,83
2015	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	56,30	14,80	7,00	3,40	16,90	0,00	0,00	98,41
Promedio	0,00	0,00	0,00	0,00	14,10	24,10	25,40	19,00	26,60	8,90	0,40	0,00	118,52

Tabla 4.17: Resultados mensuales de la recarga (en milímetros) obtenidos para la serie Arenales, a partir de la planilla easy-balance v3.0.

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Recarga anual
1993	0,00	0,00	0,00	0,00	123,20	126,40	134,80	82,00	0,00	3,40	0,00	0,00	469,75
1994	0,00	0,00	0,00	30,20	11,90	125,10	129,40	133,10	31,20	0,00	0,00	0,00	460,81
1995	0,00	0,00	0,00	102,80	68,90	129,30	137,10	129,70	0,00	0,00	0,00	0,00	567,73
1996	0,00	0,00	0,00	35,40	59,40	126,80	57,40	121,90	0,00	0,00	0,00	0,00	400,93
1997	0,00	0,00	0,00	77,00	112,30	129,30	33,30	32,80	36,60	50,60	2,10	0,00	474,05
1998	0,00	0,00	0,00	2,00	77,70	16,90	17,50	74,00	11,90	0,00	0,00	0,00	200,13
1999	0,00	0,00	0,00	18,60	22,6	132,70	136,90	121,30	41,80	0,00	0,00	0,00	473,89
2000	0,00	0,00	0,00	0,00	17,40	124,60	60,90	121,90	107,50	0,00	0,00	0,00	432,38
2001	0,00	0,00	0,00	23,70	121,20	101,60	130,10	23,80	0,00	0,00	0,00	0,00	400,36
2002	0,00	0,00	23,30	0,00	98,90	94,20	133,30	124,90	56,50	0,00	0,00	0,00	531,08
2003	0,00	0,00	0,00	0,00	119,30	122,50	135,10	126,40	96,80	0,00	31,10	0,00	631,16
2004	0,00	0,00	0,00	99,30	6,20	99,20	128,60	50,00	42,00	0,00	0,00	0,00	425,24
2005	0,00	0,00	0,00	0,00	72,80	129,80	128,90	80,60	54,40	0,00	0,00	0,00	466,42
2006	0,00	0,00	0,00	93,20	95,30	124,10	127,40	121,90	46,20	102,50	0,00	39,70	750,25
2007	0,00	0,00	0,00	108,60	61,30	136,10	134,20	136,30	33,50	0,00	0,00	0,00	610,05
2008	0,00	0,00	0,00	15,90	124,60	119,10	127,70	128,90	69,00	0,00	0,00	0,00	585,28
2009	0,00	0,00	0,00	0,00	118,90	132,10	75,90	122,60	16,00	65,50	0,50	0,00	531,39
2010	0,00	0,00	0,00	0,00	2,90	0,00	78,00	17,10	0,00	0,00	0,00	0,00	97,92
2011	0,00	0,00	0,00	46,50	8,80	127,20	135,10	126,40	70,90	0,00	0,00	0,00	514,97
2012	0,00	0,00	0,00	0,00	100,70	126,40	20,40	91,20	0,00	0,00	0,00	0,00	338,69
2013	0,00	0,00	0,00	0,00	118,60	79,00	69,60	92,10	24,30	0,00	0,00	0,00	383,49
2014	0,00	0,00	0,00	25,80	94,50	130,30	130,40	115,80	64,40	0,00	0,00	0,00	561,26
2015	0,00	0,00	0,00	0,00	43,50	128,40	130,40	122,60	118,90	16,90	0,00	0,00	560,61
Promedio	0,00	0,00	1,00	29,50	73,10	111,30	104,00	99,90	40,10	10,40	1,50	1,70	472,51

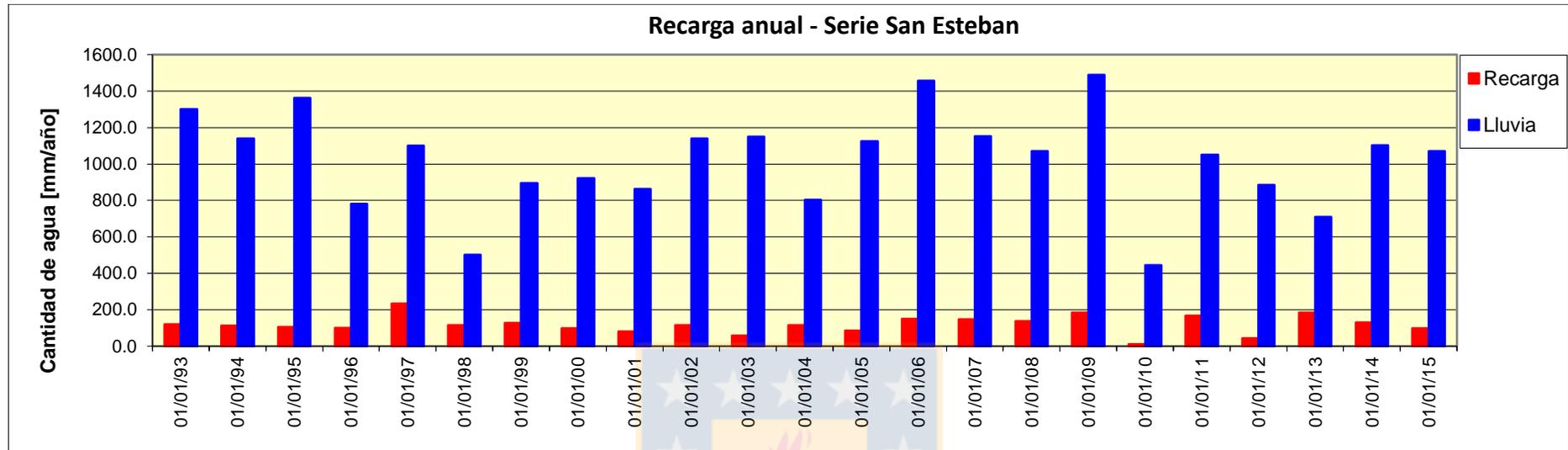


Gráfico 4.17: Relación entre la precipitación y la recarga para la serie San Esteban, durante el periodo 1993-2015.

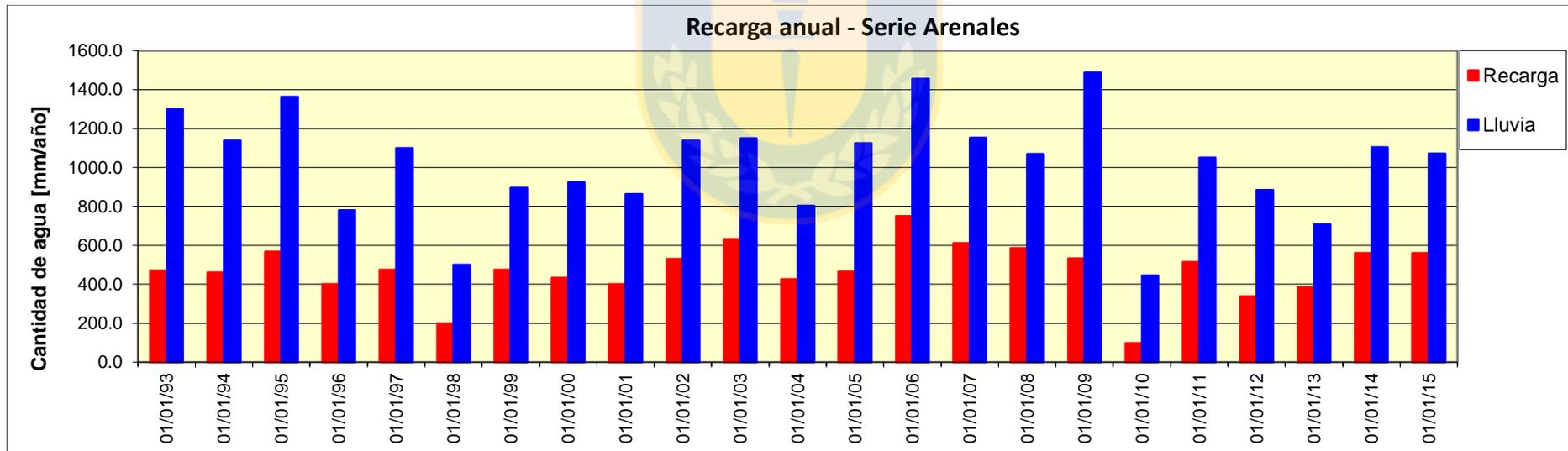


Gráfico 4.18: Relación entre la precipitación y la recarga para la serie Arenales, durante el periodo 1993-2015.

4.6.5. Escorrentía superficial

Las precipitaciones intensas, espacialmente concentradas, son el origen más común de las avenidas súbitas (Gaume y otros, 2009), sin embargo, no toda la precipitación producida sobre un área determinada forma parte directamente del caudal transportado por la red de drenaje. Así, la precipitación puede desagruparse en dos fracciones (Bodoque, 2006). La primera corresponde al porcentaje de lluvia que escurre por la superficie terrestre hacia zonas de menor altura topográfica, la cual alcanza finalmente la red hidrográfica de la cuenca y forma parte del caudal (lluvia útil; Ferrer, 1993). Esto se denomina escorrentía superficial, la cual es, por tanto, la fracción susceptible de causar avenidas. La segunda fracción es aquella que no pasa directamente a formar parte de la escorrentía superficial, definida como "pérdidas" o "abstracciones iniciales" (Bodoque, 2006; Díez Herrero y otros, 2008b). Éstas incluyen la infiltración en el suelo, intercepción por parte de la cubierta vegetal, evapotranspiración de la vegetación, evaporación directa en la superficie por insolación y almacenamiento en pequeñas depresiones. De todos los procesos anteriores, la infiltración profunda es la más importante (Bodoque, 2006).

La escorrentía superficial ha sido determinada a partir de la ecuación de balance hidrológico, el cual aplica el principio de conservación de masa, a partir de la siguiente fórmula:

$$P = ETR + E + I$$

Donde:

P: precipitación (mm/año)

ETR: Evapotranspiración real (mm/año)

E: Escorrentía superficial (mm/año)

I: Infiltración o recarga (mm/año)

Al despejar el parámetro "E" de la ecuación anterior para cada serie de suelo de la comuna de Chiguayante se obtiene el valor de la escorrentía superficial (Tabla 4.18), el cual corresponde a un 46,42% y 20,98% de las precipitaciones para la serie San Esteban y Arenales, respectivamente.

Tabla 4.18: Escorrentía superficial para las series de suelo San Esteban y Arenales (resumen de balance hídrico).

Serie de suelo	Precipitación anual	ETR anual		Recarga anual		Escorrentía anual	
		Total	%	Total	%	Total	%
San Esteban	1.022,50	425,77	41,64	118,53	11,59	478,20	46,77
Arenales	1.022,50	335,46	32,81	472,52	46,21	214,52	20,98

4.7. Modelo hidrogeológico conceptual

A partir de la integración de la información geológica, geomorfológica, hidrológica, hidráulica del acuífero, etc. se realiza un modelo hidrogeológico conceptual (Figura 4.12b), el cual es una representación gráfica del sistema de flujo de agua subterránea en un simple esquema (Anderson & Woessner, 1992), lo que permite la identificación de unidades acuíferas y sus principales características geométricas, como extensión y espesores, direcciones de flujo, fuentes y posibles zonas de recarga y descarga, para entender de mejor manera sus propiedades, condiciones y procesos, que influyen en la dinámica y comportamiento del acuífero.

En lo que respecta la configuración del sistema, el área de estudio está conformada por tres unidades hidrogeológicas, cuyo acuífero, de tipo libre, lo constituyen arenas fluviales depositadas por el río Biobío durante el Cuaternario. La permeabilidad de esta unidad se debe a su origen detrítico, en el cual los sedimentos no están consolidados, formando suelos granulares con una alta capacidad de transmitir agua. Además, su espesor aumenta en dirección hacia el río, hasta alcanzar aproximadamente 100 m de potencia. Esta configuración posibilita la circulación del agua en toda su extensión. Los límites semi-permeables del acuífero, tanto lateral como en profundidad, están constituidos por rocas graníticas y metamórficas correspondientes al Batolito de la Costa Sur y de la Serie Oriental del Basamento Metamórfico (respectivamente), cuya permeabilidad se considera granular a pequeña escala (formación de maicillo por meteorización de rocas graníticas), pero esencialmente es fisural (permeabilidad secundaria), relacionado a la presencia de estructuras de diaclasas locales.

4.7.1. Superficie piezométrica

La información de niveles freáticos obtenida en cada uno de los pozos monitoreados permite obtener una representación preliminar de la superficie piezométrica existente en el área de

estudio. Para ello, se han elegido los puntos con los registros de nivel más representativos para, luego, trazar una unión entre aquellos cuyo nivel se encuentra dentro del mismo rango (Figura 4.12a). Conforme a lo anterior, se interpreta la superficie piezométrica generada en la unidad de sedimentos no consolidados y semi-consolidados (UH-1) (Figura 4.12b). Según esta información, los niveles de agua en estos depósitos son someros, con profundidades registradas del orden 0,38 m a 16,4 m, en tanto que el nivel piezométrico varía entre 8,93 m s.n.m. y 32,46 m s.n.m., acorde a los datos obtenidos en terreno. El flujo de agua subterránea sigue la dirección de la pendiente topográfica y en forma similar a la escorrentía superficial, es decir, de este a oeste, con gradiente entre 0,0024 y 0,022, hasta descargar en el río Biobío, zona donde la dirección cambia, por el mismo motivo, en sentido de sur a norte. La superficie hidráulica (freática) de la zona es del tipo radial divergente, mientras que el aumento progresivo de la separación de isopiezas aguas abajo, establece un perfil de depresión de tipo hiperbólico al centro del área de estudio, en tanto que al norte y sur cambia a tipo lineal (Custodio & Llamas, 1983) (Figura 4.13). Lo anterior, revela una clara asociación entre el depocentro de la unidad litoestratigráfica que compone el acuífero y los bajos gradientes hidráulicos. Además, indica el carácter efluente del agua subterránea con respecto al agua superficial (río Biobío), cuyo régimen permanente de flujo es favorecido por la descarga de la primera en éste (Figura 4.14). Esto último, causa una convexidad hacia aguas arriba en las isopiezas que representan la zona del río.

En la Figura 4.15 se representa el funcionamiento hidrogeológico en 3D del área de estudio, mientras que la Figura 4.16 corresponde a una sección transversal “A-B” del mismo que exhibe el comportamiento del sistema, en cuanto a flujos principales de entrada y salida del acuífero.

4.7.2. Caudal de flujo de agua subterránea

La ley de Darcy (Darcy, 1856) describe, en forma empírica, el comportamiento del agua subterránea que circula a través de medios porosos, relacionando la cantidad o velocidad del flujo, la permeabilidad del acuífero y el gradiente hidráulico al asumir un medio continuo (poros interconectados), isotrópico, homogéneo y cuyo régimen de flujo se comporta de forma laminar. La aplicación de esta ley en acuíferos libres se ilustra en la Figura 4.17, donde el caudal de flujo circulante en un ancho de sección (entre dos líneas de corriente) se expresa de la siguiente manera:

$$Q = B \times H \times K \times i$$

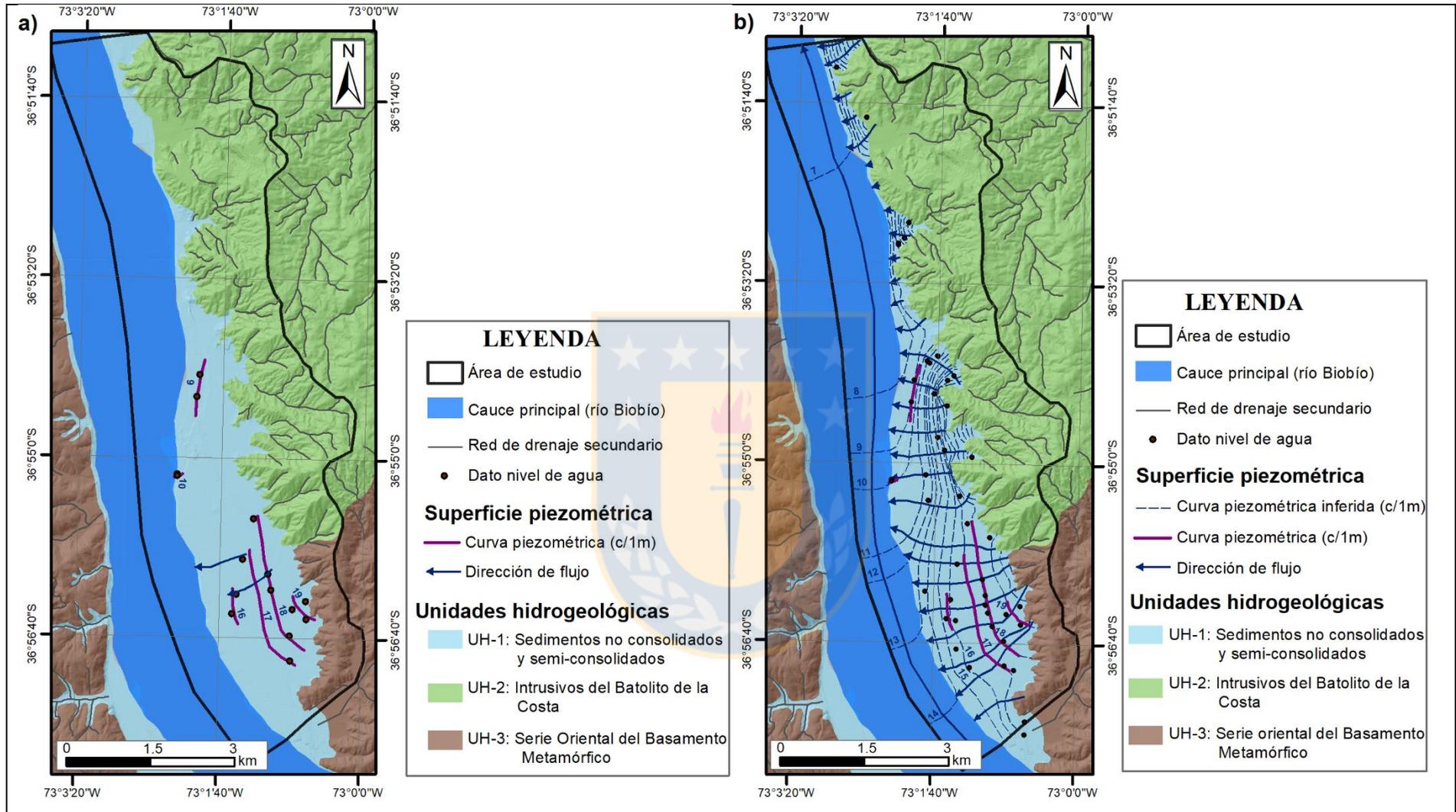


Figura 4.12: Superficie piezométrica de la Unidad Hidrogeológica UH-1. a) obtenida a partir de la unión de niveles freáticos cercanos y de igual valor. b) Interpretación de la superficie piezométrica de la Unidad Hidrogeológica UH-1. Elaboración propia.

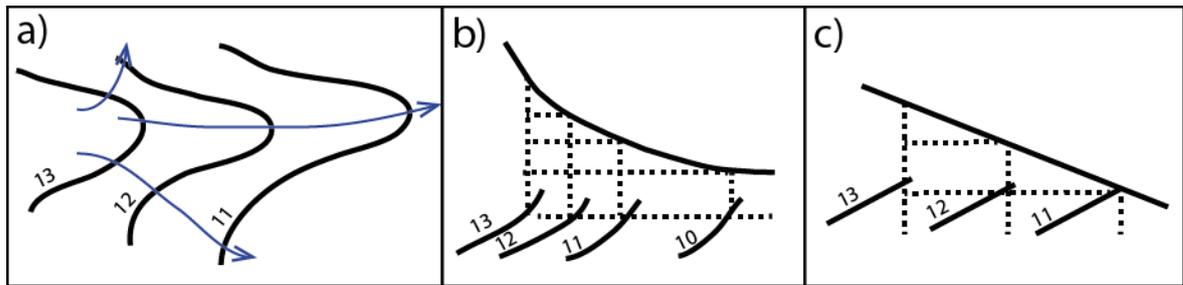


Figura 4.13: Esquemas de superficie y perfil hidráulico, según Custodio & Llamas (1983): a) Superficie hidráulica radial divergente; b) Perfil hidráulico hiperbólico; c) Perfil hidráulico lineal.

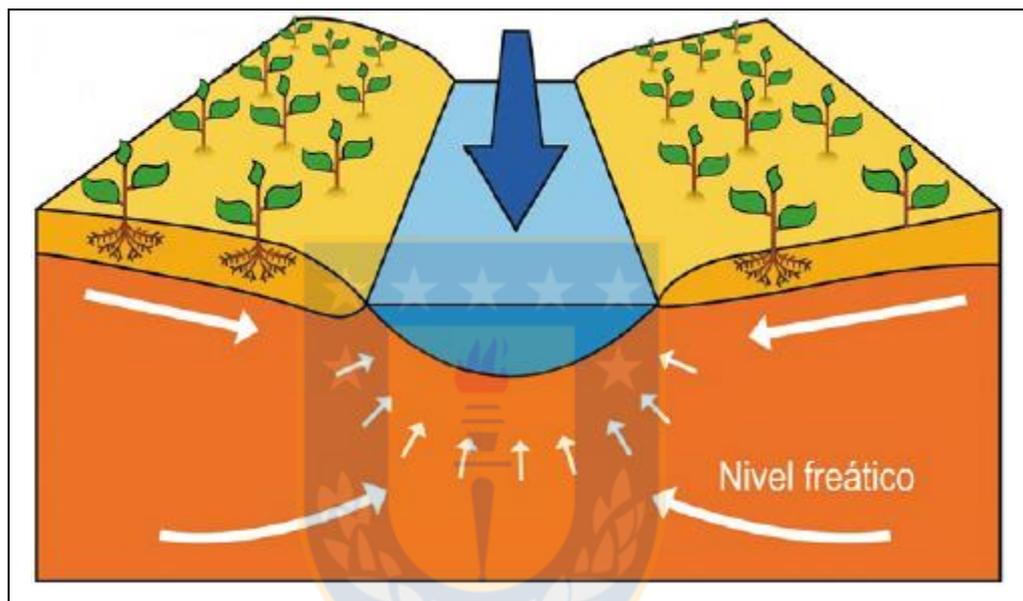


Figura 4.14: Esquemización de la conexión entre un río y un acuífero cuando el primero recibe aportes subterráneos. Tomado de Winter y otros, 1998.

Donde:

Q: Caudal de flujo subterráneo pasante ($\text{m}^3/\text{día}$)

B: Ancho de la sección de flujo (m)

H: Espesor (altura) del acuífero (m)

K: Conductividad hidráulica ($\text{m}/\text{día}$)

i: Gradiente hidráulico

Como el factor entre la conductividad hidráulica y el espesor del acuífero corresponde a la transmisividad, se considera un valor de $797,76 \text{ m}^2/\text{día}$ obtenido a partir de la interpretación

del ensayo de bombeo del expediente ND-0803-990 (Los Castaños), gradiente hidráulico de 0,0046 y ancho de sección B de 320 m, obteniendo el caudal de flujo subterráneo que pasa a través de la línea B de 1.174,3 m³/día (Figura 4.18).

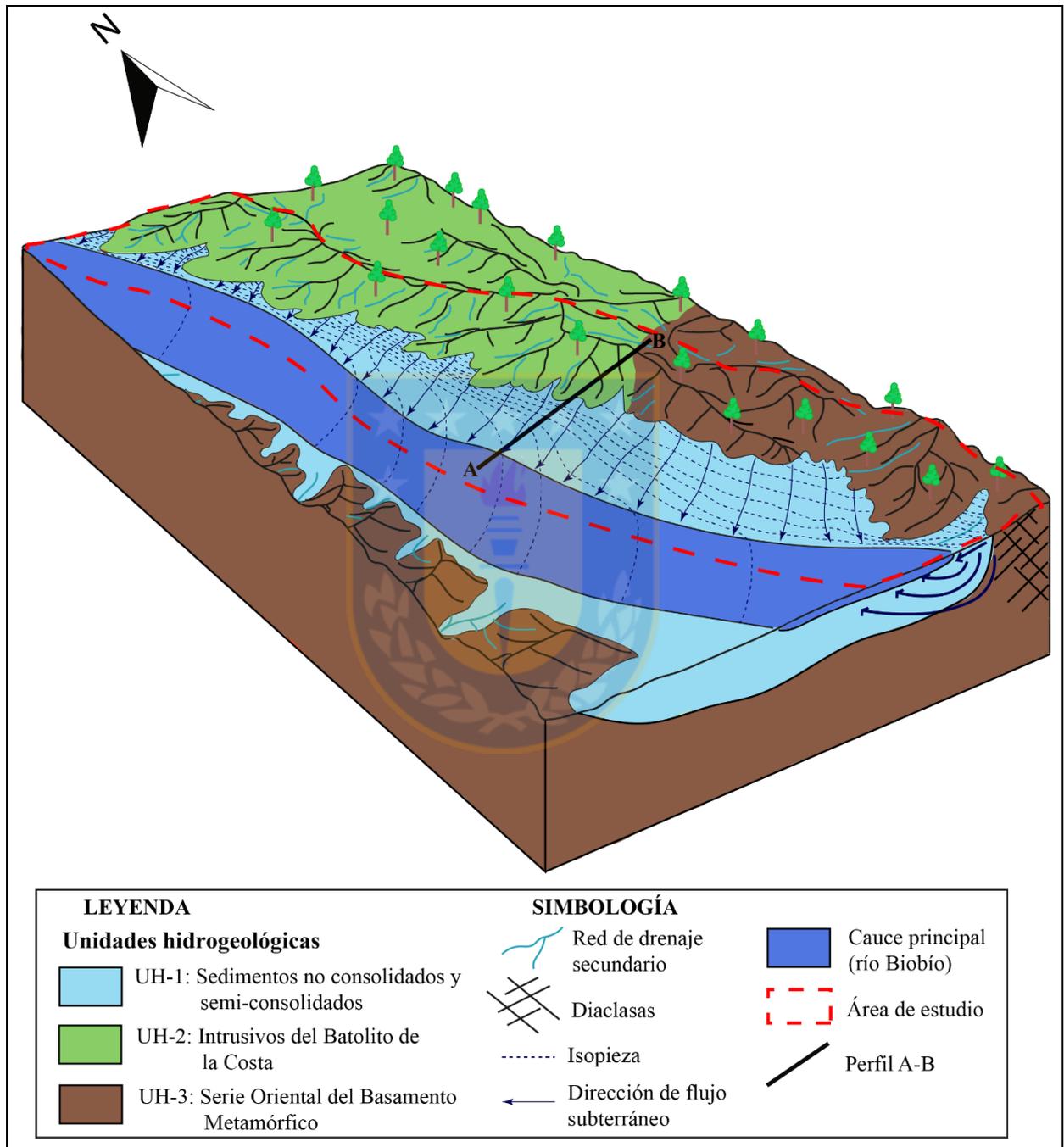


Figura 4.15: Esquematización en 3D del funcionamiento hidrogeológico en Chiguayante. Elaboración propia.

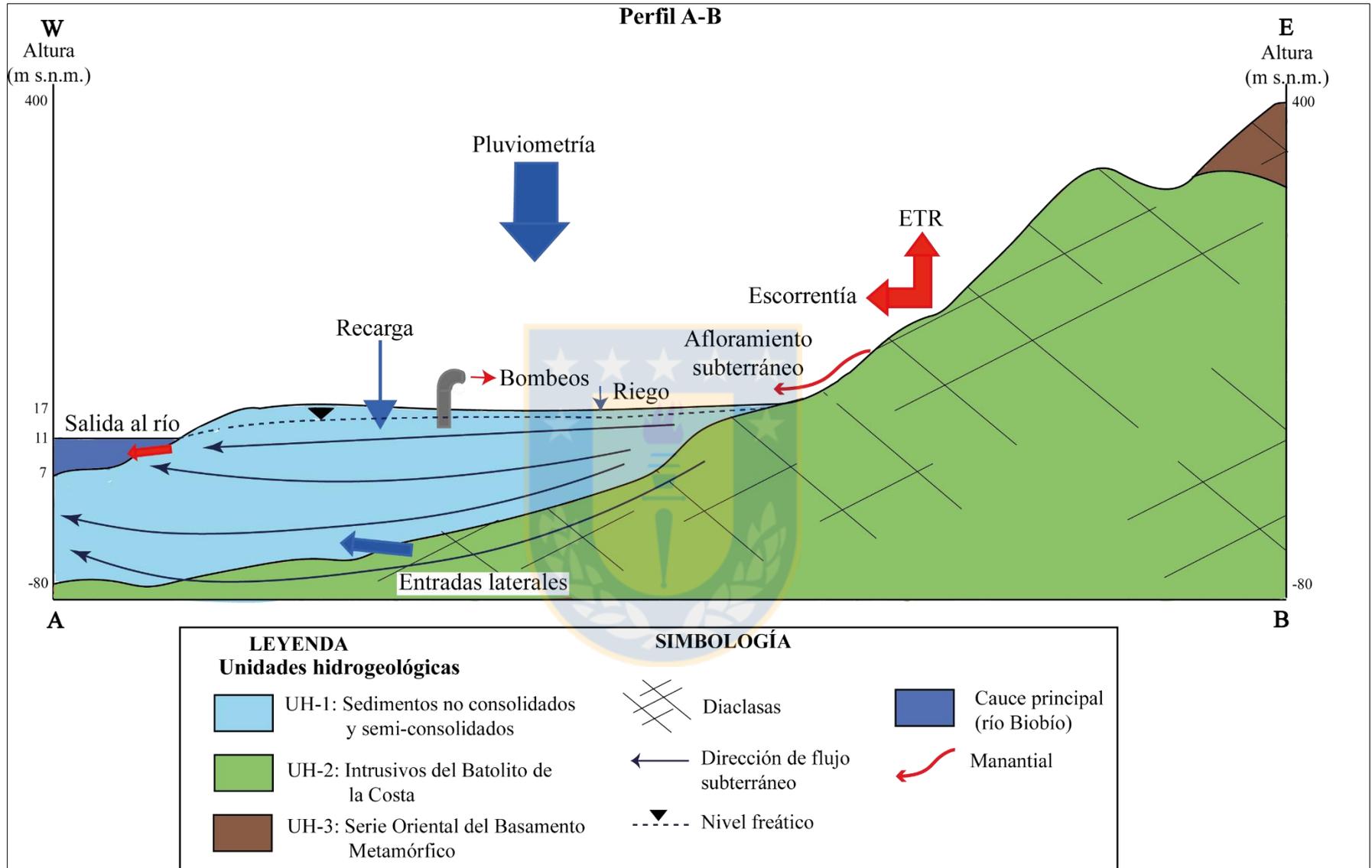


Figura 4.16: Perfil esquemático de los flujos de entrada (flechas en azul) y salida (flechas en rojo) del acuífero de Chiguayante. Elaboración propia.

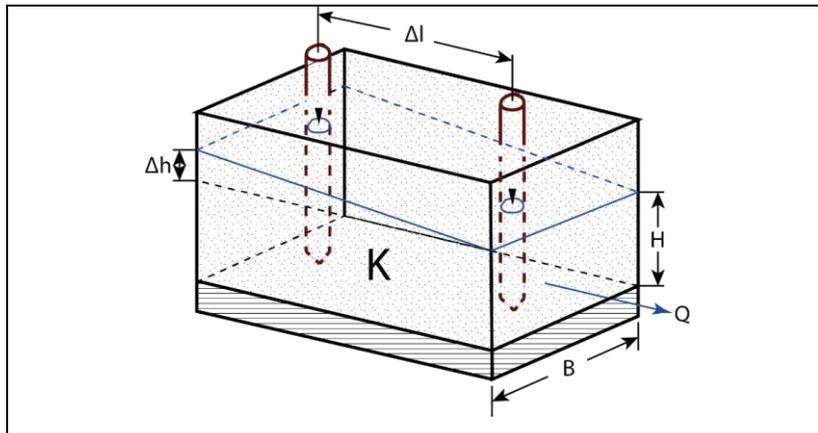


Figura 4.17: Parámetros de la ley de Darcy en un acuífero libre. El gradiente hidráulico “i” se determina con la relación $\Delta h/\Delta l$. Modificado de: Werner (1996).

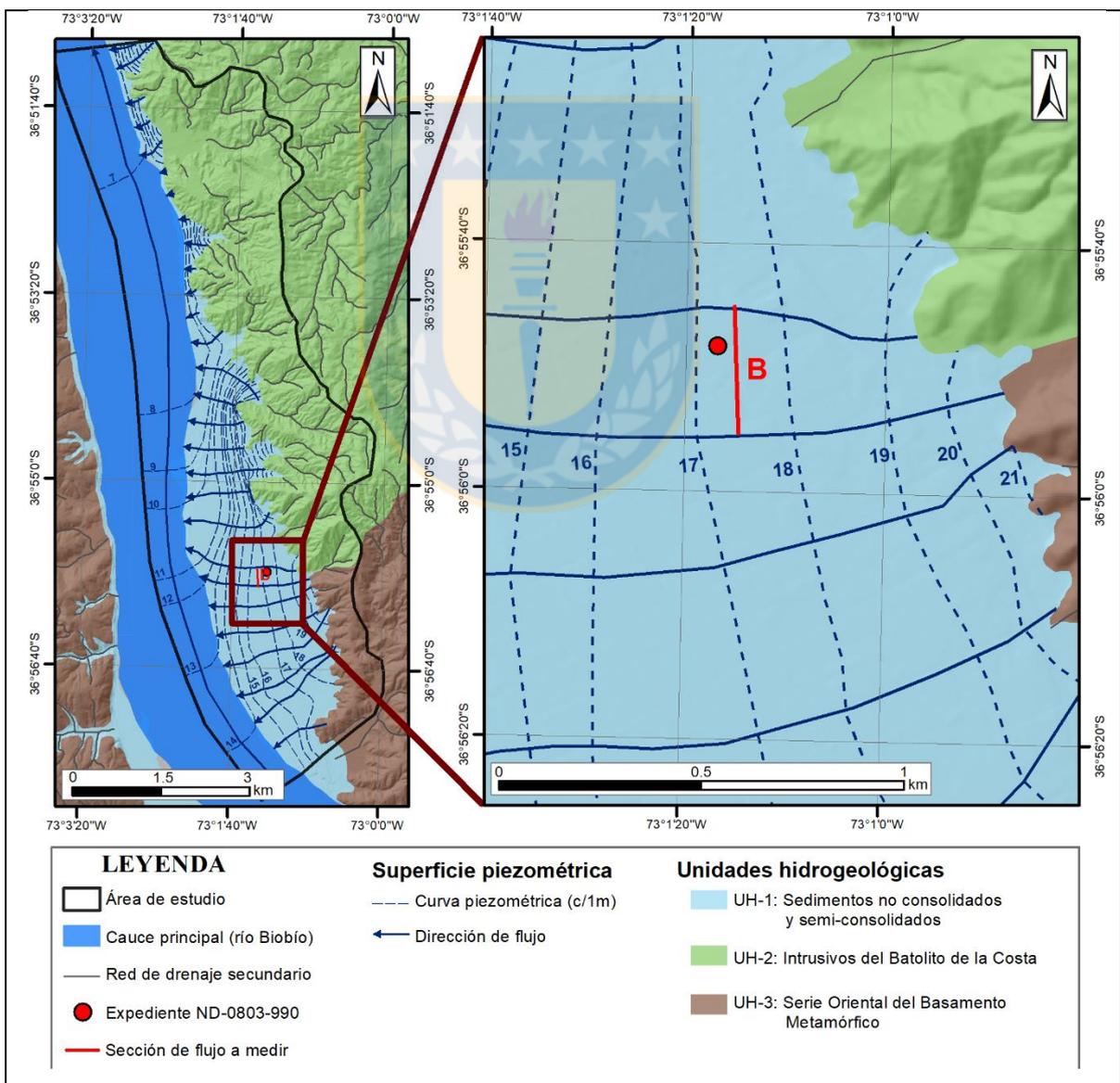


Figura 4.18: Ubicación geográfica de la sección “B”, a través del cual se determina el caudal de flujo pasante mediante la ley de Darcy.

5. HIDROGEOQUÍMICA

Este capítulo hace referencia exclusiva a las características fisicoquímicas del agua subterránea, tales como pH, temperatura, sólidos disueltos totales, conductividad eléctrica y composición química, en la cual ésta última incluye sólo la concentración de cationes, aniones y alcalinidad, sin incluir sustancias orgánicas disueltas en ella. Para ello, han sido extraídas 11 muestras a profundidad del nivel freático en distintos pozos distribuidos en la comuna y, además, 1 muestra perteneciente a una vertiente que proviene de la Cantera Lonco. El análisis químico ha sido efectuado en el laboratorio ACME *Bureau Veritas* de Vancouver, Canadá.

5.1. Parámetros fisicoquímicos

El agua subterránea natural, como consecuencia de su composición química y de acciones naturales externas y antrópicas, tiene una serie de características fisicoquímicas que varían en el espacio y tiempo, en la que las más representativas son: pH, temperatura, sólidos disueltos totales y conductividad eléctrica, cuya variación se ilustra en el Gráfico 5.1 y Gráfico 5.2 y discutida a continuación.

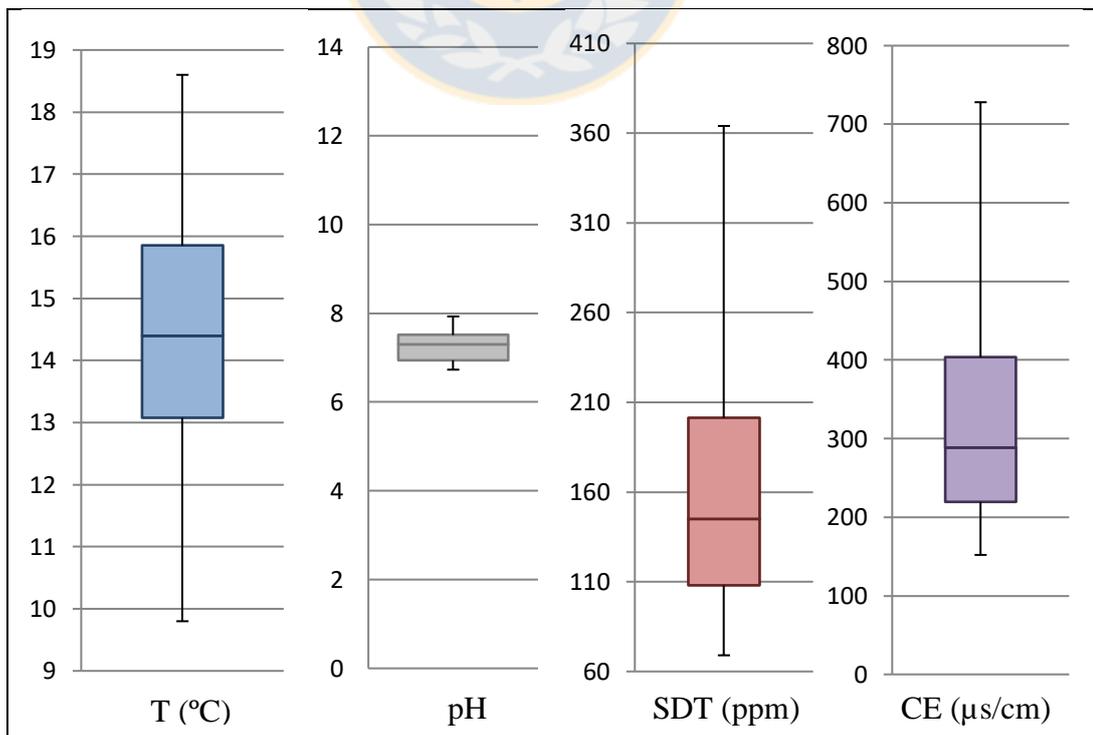


Gráfico 5.1: Distribución estadística de los parámetros fisicoquímicos en aguas subterráneas.

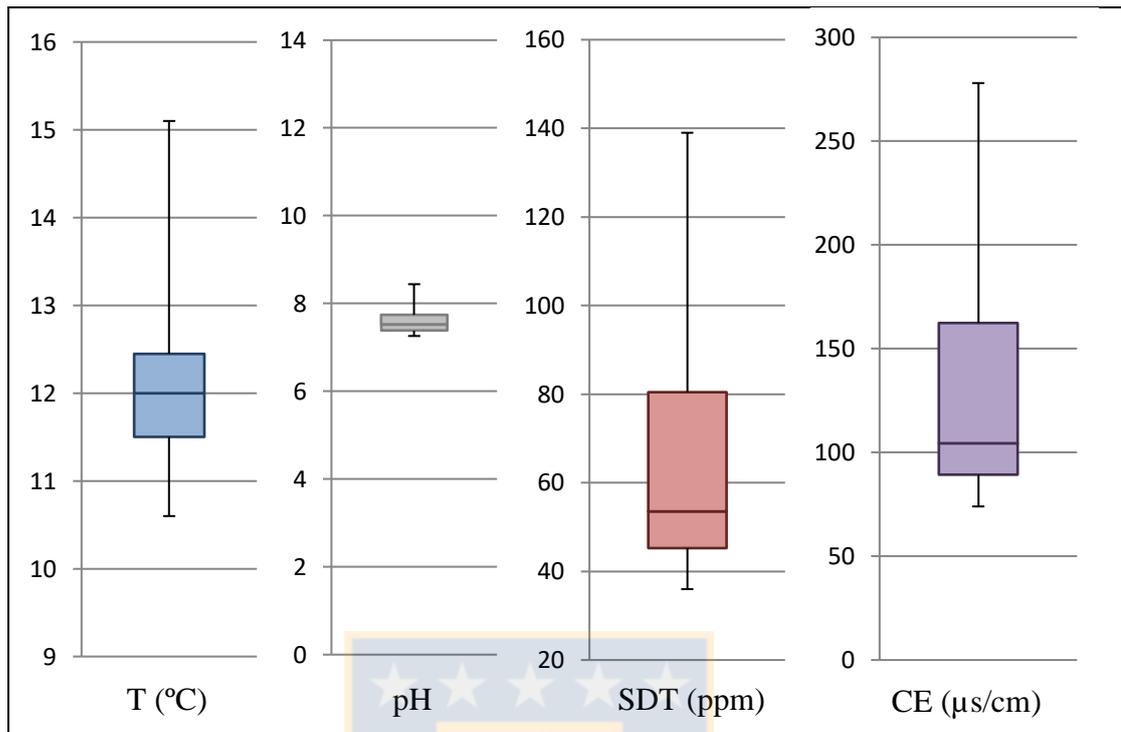


Gráfico 5.2: Distribución estadística de los parámetros fisicoquímicos en afloramientos de agua subterránea (manantiales).

5.1.1. Temperatura

El rango de temperatura del agua subterránea varía entre 9,8 °C y 18,6 °C, y su gradación va en aumento hacia el río Biobío, donde el nivel freático es más profundo (Figura 5.1). Este comportamiento se relaciona a la temperatura ambiental, puesto que hasta los 15 o 20 metros de profundidad, la temperatura del agua subterránea depende mayoritariamente de la del aire en la superficie, es decir, por factores climáticos o por la energía del sol (Werner, 1996). Así, mientras el nivel freático esté más cercano a la superficie de la tierra, más propenso será a las variaciones estacionales de temperatura del aire, mientras que a mayor profundidad ésta tendrá un efecto más amortiguador de la misma, lo que hace más difícil su variación (Werner, 1996). A lo anterior, es necesario agregar que la temperatura promedio del agua subterránea a los 20 m es de 15 a 17°C (Mezquita y Escuer, 2010), lo que es similar a lo observado en el área de estudio.

Es de suponer que, según el gradiente geotérmico, pasado los 33 m de profundidad el agua subterránea debe aumentar en, aproximadamente, 1°C su temperatura (Custodio & Llamas, 1996).

Para el caso de la temperatura registrada en los manantiales, ésta oscila entre 10,6 °C y 15,1°C, la cual está influenciada principalmente por la temperatura del ambiente. De este modo, las temperaturas altas coinciden con aquellas vertientes cuyas medidas han sido tomadas con sol directo y en horario cercano a las 14 horas, mientras que las vertientes medidas en horario más temprano y que han estado bajo sombra tienen temperaturas más bajas.

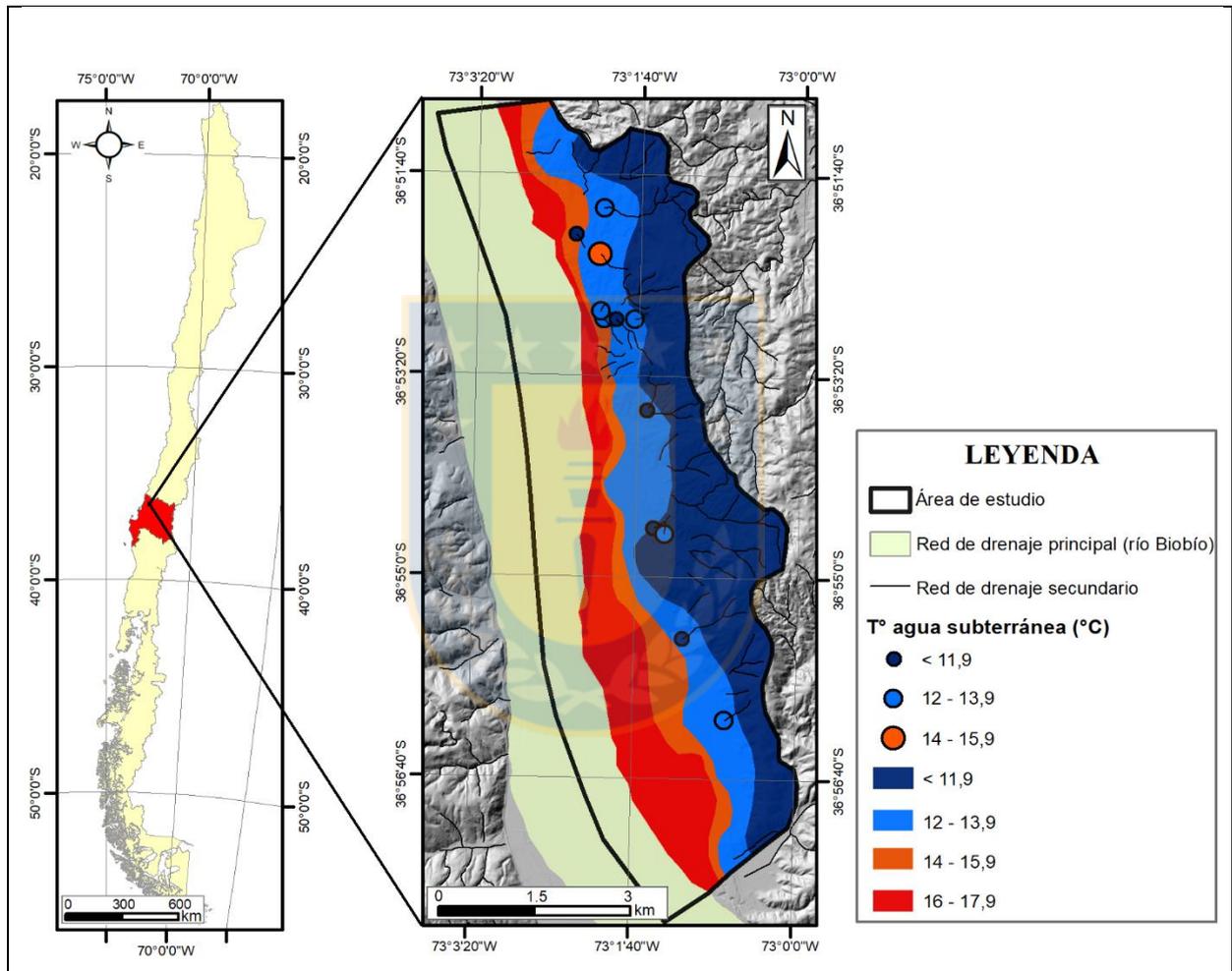


Figura 5.1: Distribución de la temperatura. Los círculos corresponden a registros obtenidos en manantiales.

5.1.2. pH

El pH es definido como el logaritmo negativo de la concentración del ión Hidrógeno (Sorensen, 1909), entonces:

$$\text{pH} = -\log [\text{H}^+]$$

El pH indica el grado de acidez o basicidad de una solución (según su valor sea menor o mayor a 7, respectivamente), y las aguas subterráneas del área de estudio están entre un rango de 6,73 y 7,93 (relativamente neutras), valores normales para aguas naturales subterráneas (Custodio y Llamas, 1996).

En la Figura 5.2 se puede observar que no existe una clara relación del pH con la variación espacial, ya que su valor es controlado, en primera instancia, por la presencia de ácido carbónico (H_2CO_3) y sus varias formas disociadas, no obstante, se encuentran dentro del rango normal para las aguas subterráneas, es decir, entre 6,5 y 8 (Custodio & Llamas, 1996). Situación similar ocurre con el pH de los manantiales, el cual varía entre 7,26 y 8,44.

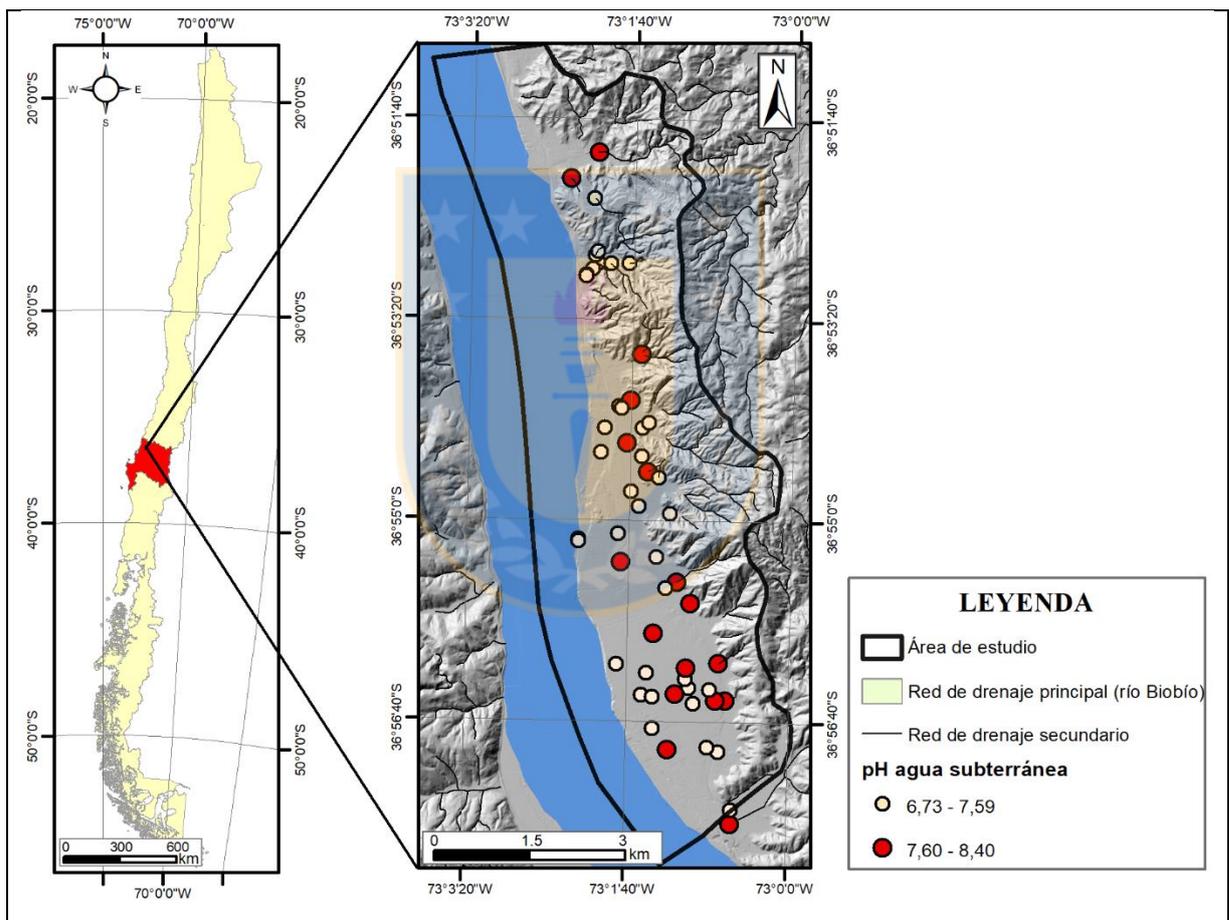


Figura 5.2: Distribución del pH.

5.1.3. Sólidos disueltos totales

La medida de los sólidos totales disueltos es un índice de la cantidad de sustancias disueltas en el agua. El registro de este parámetro obtenido en los pozos varía entre 69 ppm y 364 ppm y, según Custodio & Llamas (1996), las aguas dulces fluctúan entre 50 ppm y 1.500 ppm. Lo anterior, indica que el acuífero de Chiguayante tiene bajas concentraciones de sólidos

disueltos totales. Además, en la Figura 5.3 se puede determinar que hay una tendencia general de aumento de los valores de sólidos disueltos totales hacia el río, lo que es consistente con la dirección del movimiento principal del flujo subterráneo, proveniente desde la Cordillera de la Costa hacia el río Biobío.

La concentración de sólidos disueltos totales en los manantiales fluctúa entre 36 ppm y 139 ppm, siendo mayor hacia el norte, lo que puede deberse al mayor tiempo de contacto de las aguas superficiales con el medio, considerando, además, que éste se encuentra muy meteorizado en la Cordillera de la Costa. Lo anterior, genera mayor posibilidad de incorporar partículas al agua que circula. Sin embargo, la distribución geográfica de las concentraciones de sólidos disueltos se ajusta a los valores de las aguas subterráneas, y hacia el este éstas tienden a poseer menos partículas disueltas en ellas, dado el menor tiempo de contacto con el acuífero.

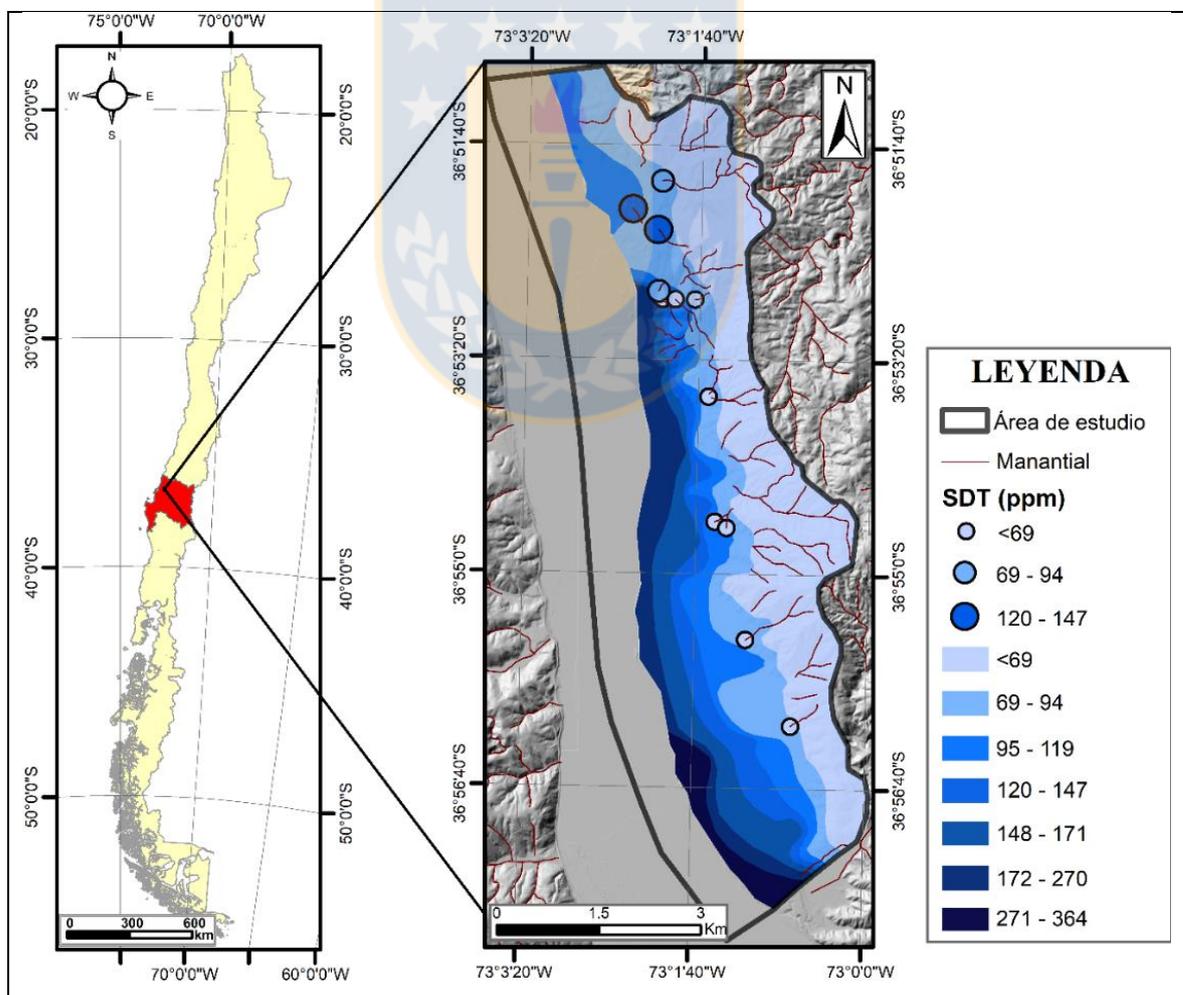


Figura 5.3: Distribución de sólidos disueltos totales. Los círculos corresponden a registros obtenidos en manantiales.

5.1.4. Conductividad eléctrica

La conductividad eléctrica es la capacidad del agua de conducir la electricidad, y es posible compararla con el contenido de iones disueltos, siempre que las aguas analizadas correspondan al mismo acuífero (Custodio y Llamas, 1996).

La conductividad eléctrica medida en los pozos varía entre $152 \mu\text{S}/\text{cm}$ y $728 \mu\text{S}/\text{cm}$, rango normal para las aguas dulces (entre $100 \mu\text{S}/\text{cm}$ y $2.000 \mu\text{S}/\text{cm}$, según Custodio y Llamas, 1996), y su distribución de magnitud es similar a la de los sólidos disueltos totales, donde una mayor concentración de iones genera una mayor conducción de electricidad (Figura. 5.4).

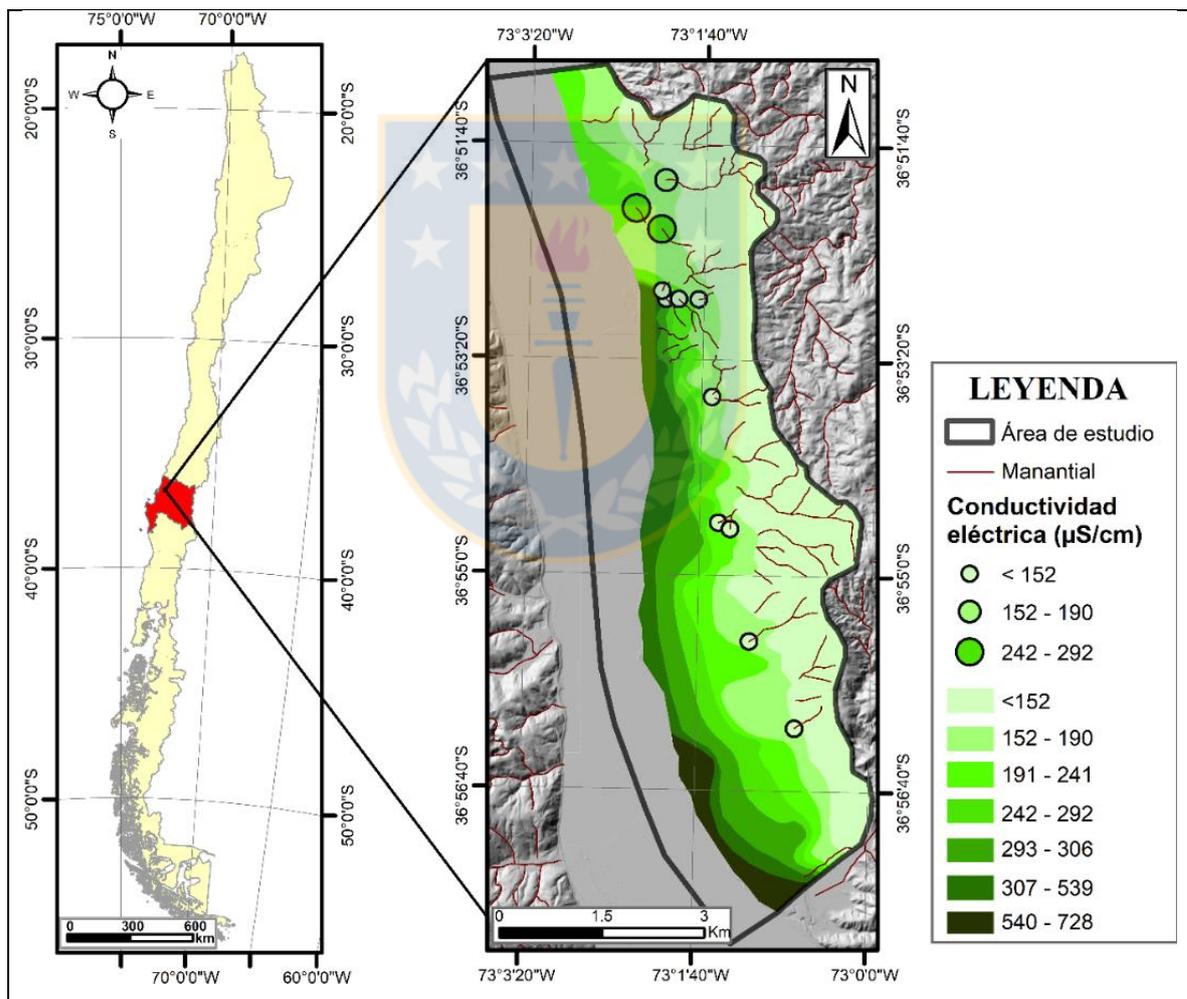


Figura 5.4: Distribución de la conductividad eléctrica. Los círculos corresponden a registros obtenidos en manantiales.

El registro de este parámetro obtenido en los manantiales fluctúa entre $74 \mu\text{S}/\text{cm}$ y $278 \mu\text{S}/\text{cm}$, y al comparar su distribución con los sólidos disueltos totales, estos tienden a las mismas

variaciones, es decir, hacia el norte existe mayor conductividad eléctrica por parte de las aguas superficiales.

5.2. Composición química

En base a la concentración de cada elemento registrado en las 12 muestras de agua subterránea (Anexo V), éstos son clasificados en mayoritarios, minoritarios y trazas, y ordenados en forma decreciente según su abundancia (Tabla 5.1). Del análisis han sido excluidos aquellos iones cuya concentración es inferior a su límite de detección para todos los puntos de monitoreo, dada la incertidumbre de su presencia. Lo anterior corresponde a: OH, Ag, Bi, Dy, Er, Eu, Ga, Ge, Hf, Hg, Ho, In, Lu, Nb, Pd, Pr, Pt, Re, Ru, Sc, Ta, Tb, Th, Tl, Tm, Yb.

Tabla 5.1: Clasificación de los elementos según rango de concentración en las aguas subterráneas.

Grupo de elementos	Concentración (mg/L)	Elementos
Mayoritarios	>10	HCO ₃ ⁻ , CaCO ₃ , Si, SO ₄ , Cl, Mg
Minoritarios	10 – 0,01	CO ₃ , P, Mn, Sr, Zn, Br, B, Ca, Fe, Na, Cu, Ba, Rb, Ti
Trazas	< 0,01	V, K, S, Cr, As, Li, Al, Ni, Se, Co, Sn, Mo, Pb, Sb, Cd, Te, Au, Be, U, W, Cs, Zr, Sm, Y, Ce, Nd, La, Gd

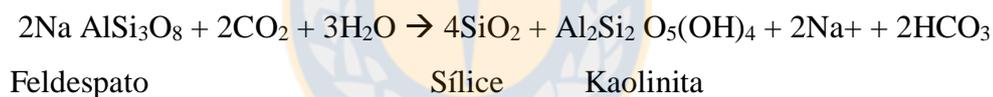
5.2.1. Constituyentes mayoritarios

En general, el origen de las aguas subterráneas y su composición química primaria está dada en primer lugar por el agua de lluvia, en cuya composición, según Matveyev & Bashmakova (1967), los iones dominantes son Cl, Na y K cerca de la costa, mientras que hacia el interior del continente prevalecen los iones SO₄, HCO₃ y Ca. La cantidad de NaCl del agua lluvia hacia el continente es inversamente proporcional a la distancia a la que se encuentre de la costa, y disminuye con la presencia de alguna elevación topográfica importante (Kolodijajnaia, 1962). Lo anterior es concordante con los resultados obtenidos para el área de estudio, donde las aguas subterráneas tienen una clara influencia marina, dada su cercanía a la costa, y lo más probable es que la presencia del gran macizo de la Cordillera de la Costa sí actúe, en parte, como barrera ante las precipitaciones. Sin embargo, también tiene características propias continentales como, por ejemplo, la presencia de sílice disuelta, cuyo origen posible es descrito a continuación:

- Silicio (Si): La presencia de silicio en aguas subterráneas y superficiales está relacionada al aporte de sílice y silicatos de minerales formadores de roca como feldespatos y micas presentes en granodioritas y granitos del Batolito de la Costa Sur (Geología de Campo II, 2009) que circunda a la comuna de Chiguayante, y a sedimentos arcillosos provenientes de su meteorización. Generalmente, la solubilidad del ion SiO_4 proveniente de las rocas ígneas es muy baja, pero aumenta con la temperatura y sus contenidos no disminuyen cuando posteriormente la temperatura decrece (Fournier & Truesdell, 1970).

Además, según Hutchinson (1957) la disolución de minerales en arcilla es promovida por diatomeas absorbidas a dicho sustrato, en la que liberan la sílice para la síntesis de sus frústulas por un mecanismo aún desconocido. Así, liberan hasta un 15% de la sílice incorporada en sus frústulas (Cole, 1983). Tal es el caso de la clase fitoplanctónica, presente en la cuenca del Biobío, Bacillariophyceae, cuyo hábitat natural es tanto la tierra húmeda como el agua dulce (Valdovinos & Parra, 2006).

Cabe destacar, que la alta concentración de CO_2 en la lluvia, manantiales y lixiviados de suelos mineraliza las rocas silíceas y produce la liberación de sílice de acuerdo con la siguiente reacción:



5.2.2. Constituyentes minoritarios y trazas

El origen de estos elementos en las aguas está ligado principalmente a la lixiviación de minerales durante la meteorización de rocas y su posterior disolución en la zona no saturada durante la infiltración, y por la interacción agua-roca durante el movimiento del flujo subterráneo. Así, la concentración de ellos en el material geológico limita la cantidad disuelta en las aguas subterráneas y superficiales.

5.3. Evolución fisicoquímica del agua

Durante la segunda campaña de terreno, realizada en verano (marzo del 2017), se hicieron nuevas mediciones de los parámetros fisicoquímicos del agua subterránea, con el fin de comprender la evolución temporal de los mismos, al pasar de una estación húmeda a otra seca. Para ello, han sido visitados 8 pozos relativamente distanciados, cuyos nuevos

resultados, respecto a los anteriores, están representados en la Tabla 5.2 y analizados a continuación.

Tabla 5.2: Valores de parámetros fisicoquímicos registrados en las estaciones de invierno y verano.

Pozo	pH		T° (°C)		SDT (ppm)		CE (µs/cm)	
	Invierno	Verano	Invierno	Verano	Invierno	Verano	Invierno	Verano
P2	6,95	6,31	12,10	19,60	201,00	250,00	402,00	496,00
P5	7,30	9,12	14,80	17,40	134,00	216,00	271,00	433,00
P9	7,21	5,42	12,40	18,50	93,00	101,00	190,00	203,00
P13	7,04	5,14	13,30	18,70	159,00	156,00	319,00	311,00
P28	7,29	5,19	14,70	21,40	142,00	199,00	286,00	401,00
P33	7,48	9,40	13,10	17,00	89,00	326,00	178,00	646,00
P36	7,54	6,82	12,30	20,01	69,00	181,00	152,00	362,00
P38	6,91	5,93	9,80	20,50	147,00	143,00	292,00	287,00

5.3.1. Temperatura y pH:

Mientras que la temperatura ha aumentado en un rango de 2°C a 10°C (lo que es de esperar en una estación de verano, dada la mayor radiación solar), el pH ha disminuido en 2,1, cuyo valor mínimo alcanza los 5,19, lo que demuestra una notable relación inversa entre ambos parámetros (sumado a otras características, mencionadas con anterioridad), puesto que el aumento de la temperatura puede causar una leve evaporación y, con ello, disociación de compuestos de hidrógeno, lo que disminuye el pH. Sin embargo, los pozos P5 y P33 no siguen la tendencia general en cuanto a la disminución del pH, ya que poseen valores de 9,12 y 9,4, respectivamente. Esto puede explicarse por un aumento en la concentración de calcio y/o carbonato a partir de la actividad biológica, ya que a temperatura cercana a los 17°C no habría suficiente evaporación para disociar iones y liberar H⁺ (notar que pozos P5 y P33 alcanzan temperatura de 17°C, aproximadamente, los cuales representan el mínimo valor entre todos los pozos).

5.3.2. Sólidos disueltos totales y conductividad eléctrica

Existe aumento de hasta 237 ppm de sólidos disueltos acompañado, proporcionalmente, por aumento en la conductividad eléctrica. Esto es debido a que durante la estación seca no existe recarga constante del acuífero que permita diluir o renovar las aguas subterráneas, lo que sumado a un aumento de temperatura y su consiguiente evaporación de las aguas, produce la concentración de partículas disueltas en ella. Aun así, los pozos P13 y P38 han disminuido ambos valores, pero en una magnitud muy pequeña, lo que puede deberse a un aporte local de manantiales ocultos.

5.4. Clasificación geoquímica del agua

5.4.1 Diagrama de Piper

Con el fin de realizar una comparación entre todas las muestras analizadas químicamente y determinar el tipo de agua correspondiente al acuífero de la comuna de Chiguayante, son graficadas las proporciones de los macroelementos presentes en el agua (Ca, Mg, Na + K, Cl, SO₄, HCO₃), usando el diagrama de Piper (Piper, 1953) (Figura 5.5 y Figura 5.6).

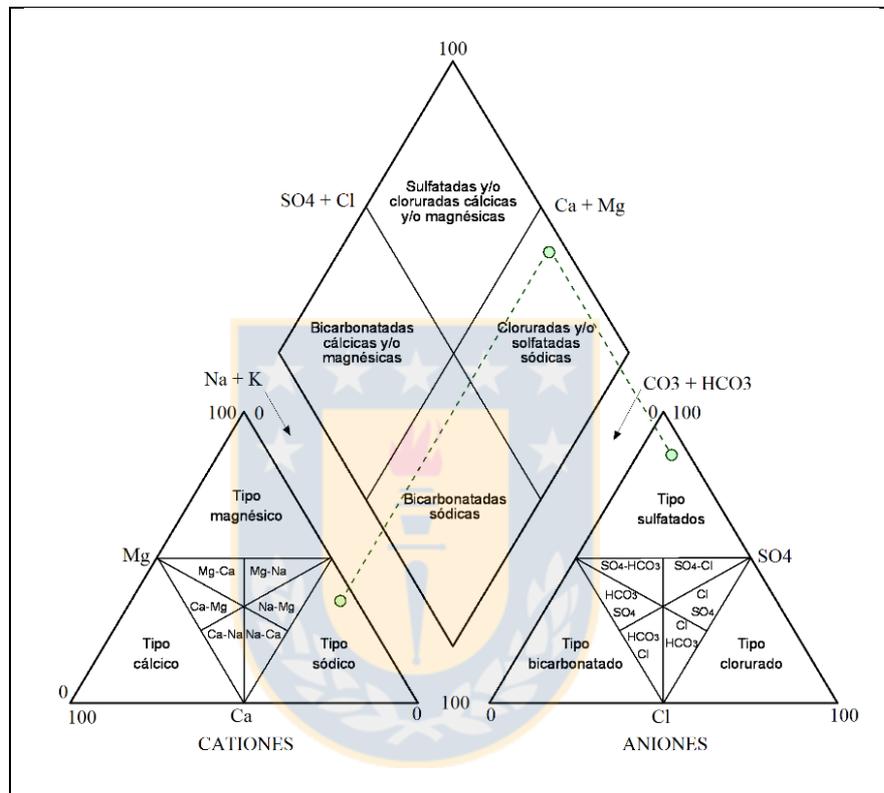


Figura 5.5: Clasificación de las aguas a partir del diagrama de Piper.

A partir del diagrama de Piper es posible interpretar que el agua del acuífero de la comuna de Chiguayante es de la facie bicarbonatada cálcica, grupo típico de aguas relativamente jóvenes y con escaso tiempo de residencia (D'Urso y otros, 2013). Asimismo, las aguas de esta zona tienen como anión predominante al bicarbonato, mientras que el catión que predomina es el calcio, por encima del sodio y magnesio. Los valores de las aguas están representados en la Tabla 5.3 y, al compararlos con los rangos típicos de aguas dulces, es posible inferir que las aguas del acuífero tienen muy poca evolución, lo que se debe a la escasa distancia que éstas recorren desde la Cordillera de la Costa al río Biobío, incorporando bajos contenidos de sales en solución.

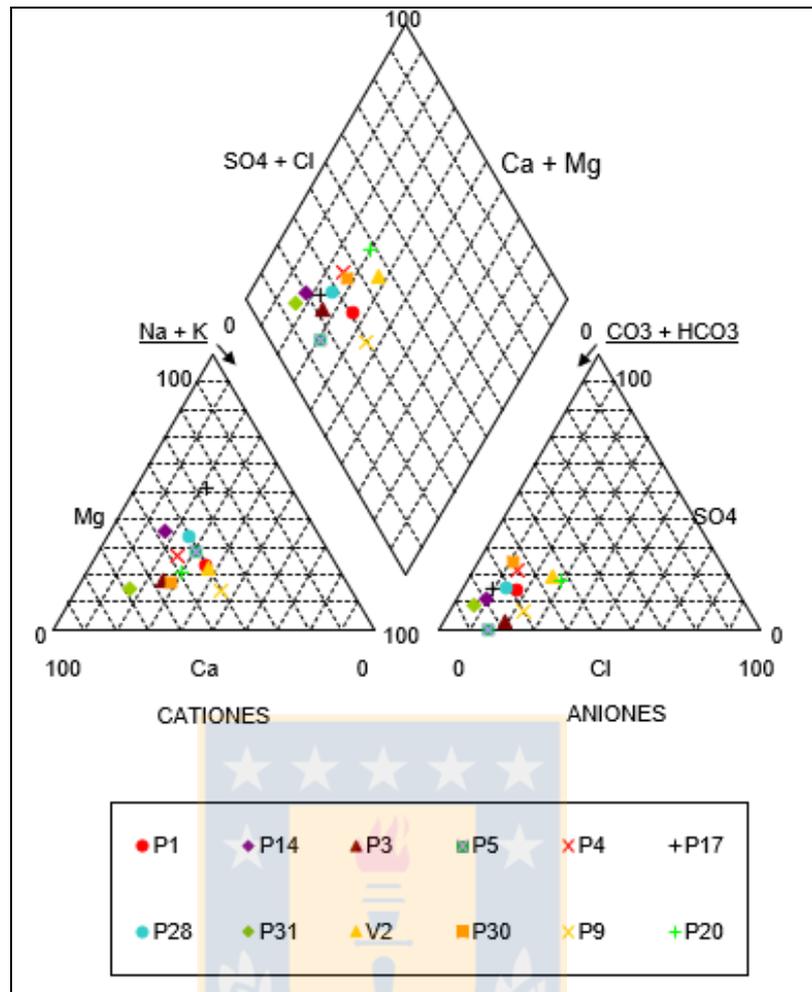


Figura 5.6: Clasificación de las aguas del acuífero de Chiguayante a partir del diagrama de Piper.

A modo de complemento, Mazor (2004) menciona que la huella litológica presente en las aguas subterráneas asociada a una geología del tipo volcánica (arenas fluviales) tiene como ión principal el bicarbonato, seguido del calcio y el sodio.

Tabla 5.3: Comparación entre la concentración de elementos mayoritarios de las aguas presentes en Chiguayante y los valores típicos de aguas dulces.

Ion	Concentración en aguas de Chiguayante (mg/l)	Concentración en aguas dulces (mg/L), según Custodio & Llamas (1996)
HCO ₃	48 - 291	50 - 350, incluso hasta 800
Ca	14 - 81	10 - 250, incluso hasta 600
Na	13 - 41	1 - 150
Mg	2 - 38	1 - 100

5.4.2. Diagrama de Stiff

Para dar información cualitativa del tipo y grado de mineralización relativa de las aguas del acuífero de Chiguayante, es utilizado el diagrama de Stiff (Stiff, 1951) para todas las muestras analizadas (Figura 5.7 y Figura 5.8).

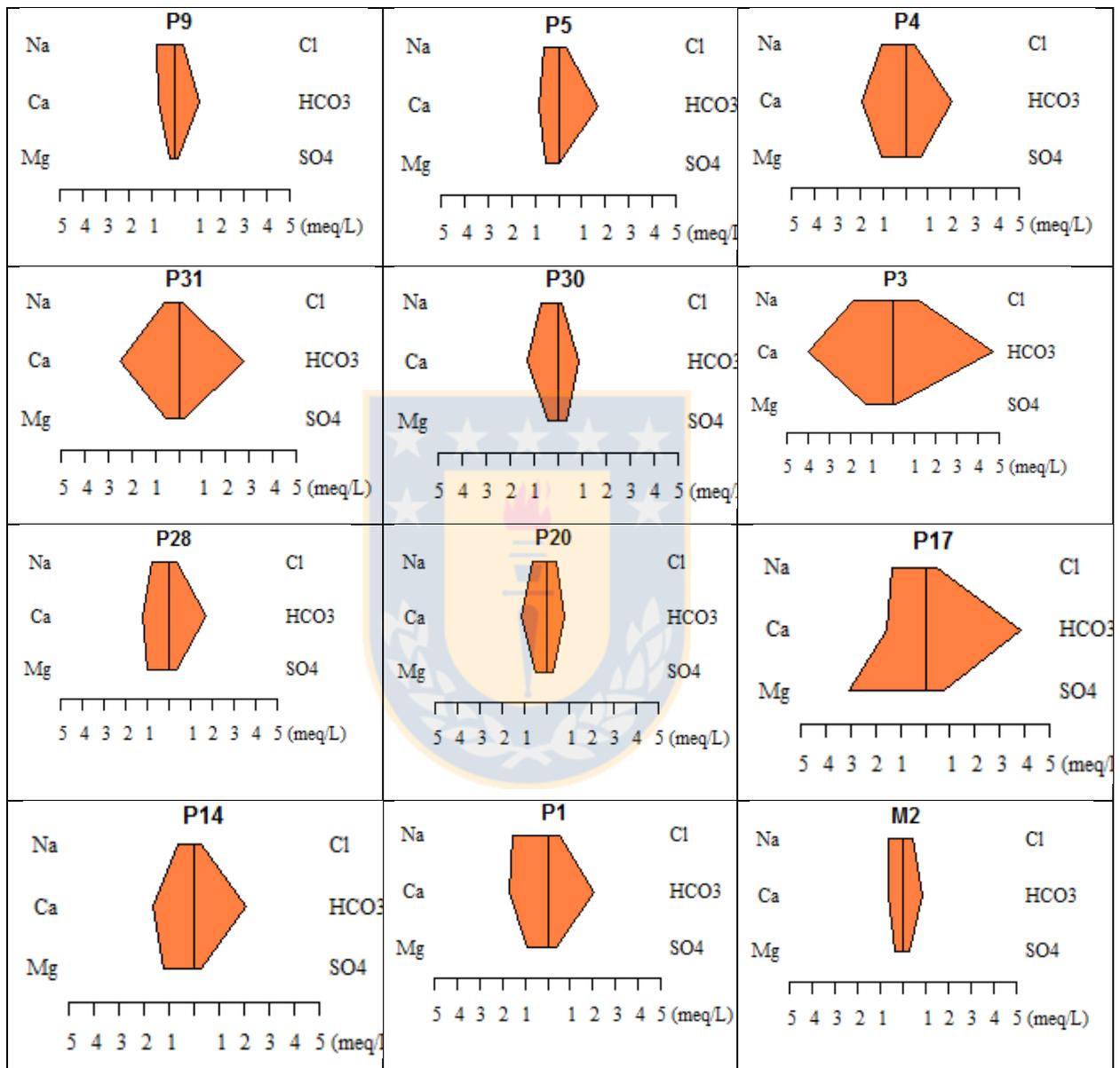


Figura 5.7: Diagramas de Stiff obtenidos para cada muestra de agua analizada químicamente.

En base a los diagramas de Stiff se observa que en toda el área de estudio las aguas del acuífero tienen una configuración similar en la proporción de iones, con un predominio del catión bicarbonato y anión calcio, y leves tendencias a los iones sodio y magnesio, lo que produce un polígono con forma de “punta de flecha”, típico de aguas subterráneas. Además, según su distribución espacial, se desprende que en la dirección de la línea de flujo (hacia el

río) las concentraciones de estos iones disueltos tienden a aumentar, lo que es afín con la evolución de las aguas subterráneas hacia la zona de descarga. Por otro lado, si bien el grado de mineralización varía entre una muestra y otra, en términos absolutos no existen grandes diferencias que permitan determinar alguna anomalía. Aun así, la diferencia en los contenidos de los parámetros puede deberse a distintos tiempos de permanencia en el medio, tipo de litología predominante (arcilla, arena, etc.), mezcla con aguas superficiales (lluvia), así como también al efecto de la evaporación de las aguas subterráneas para aquellas cuyo nivel freático está más cercano a la superficie.

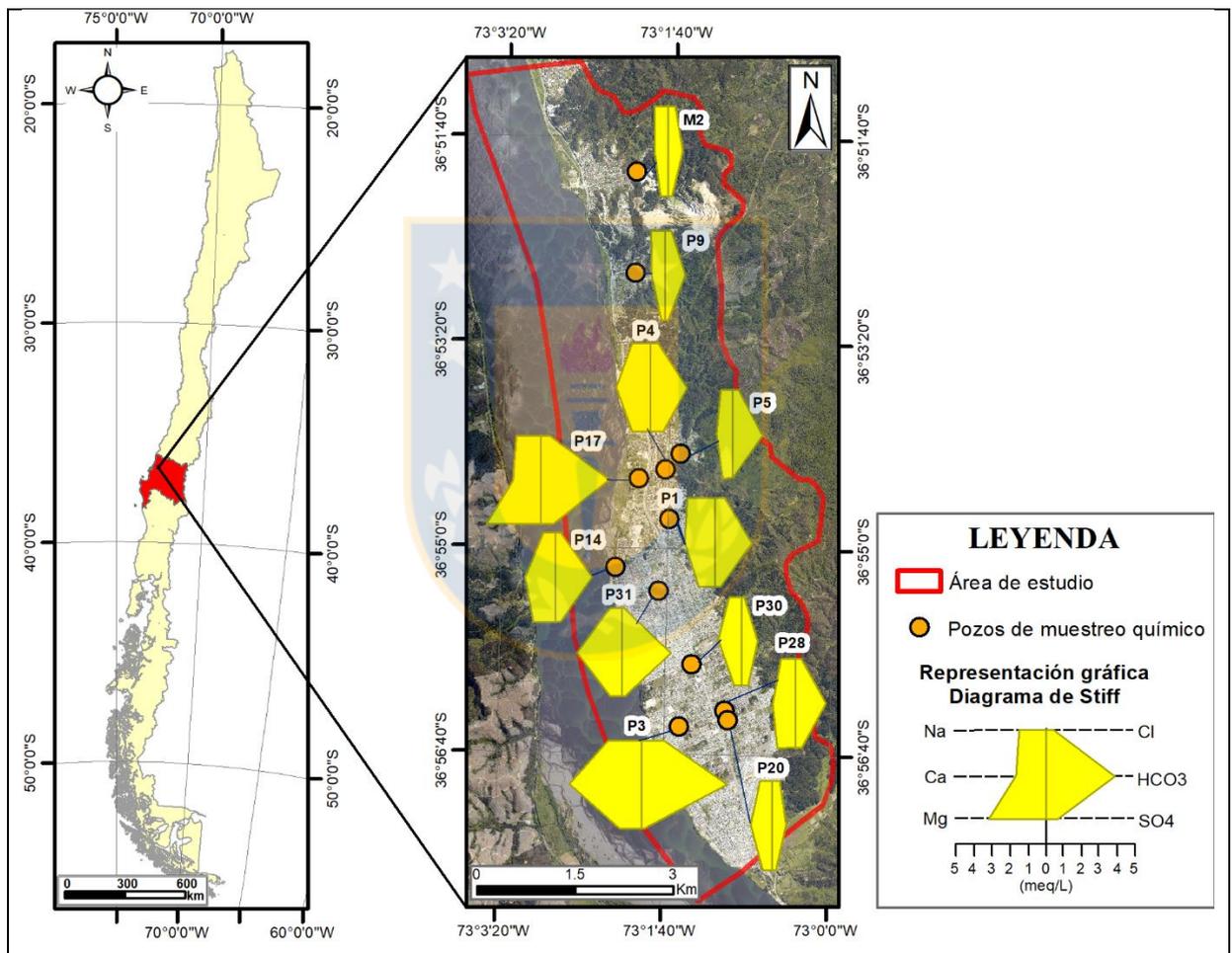


Figura 5.8: Mapa hidroquímico según la concentración de elementos mayoritarios.

5.5. Calidad del agua subterránea

En base a los parámetros fisicoquímicos y la concentración de iones disueltos en el agua subterránea del área de estudio, se realiza una comparación de éstos con los estándares de la norma chilena de calidad de agua potable (NCh409/2005). No obstante, este análisis es preliminar y no definitivo, por no considerar parámetros microbiológicos, turbiedad,

sustancias orgánicas, elementos radioactivos, entre otros, incluidos en la norma y que no fueron analizados.

5.5.1. Calidad de agua potable

La Tabla 5.4 adjunta las características de potabilidad que requiere el agua para ser considerada potable, según la norma NCh409/2005, y los valores obtenidos en cada muestra a partir del análisis de laboratorio. De ella, se desprende que sólo los pozos P3, P5, P17 y P31 no cumplen con la norma chilena de agua potable NCh409, al exceder la concentración de los iones manganeso y arsénico sobre el límite máximo permitido, mientras que la concentración de los demás parámetros se encuentra por debajo del límite establecido por la norma, para la totalidad de los pozos monitoreados. Asimismo, el valor del pH también cumple con el rango impuesto. A continuación, una breve explicación del posible origen de la concentración elevada de los iones.

- Arsénico (As): puede sustituir al Si^{4+} , Al^{3+} , Fe^{3+} y Ti^{4+} en muchas estructuras minerales, por lo que está presente en numerosos minerales formadores de rocas, pero en concentraciones muy bajas. Por ejemplo, la mayoría de los silicatos contienen alrededor de 1 ppm (1 mg/l) o menos de arsénico, tales como cuarzo, feldespato, biotita, anfíbol, olivino y piroxeno (Baur & Onishi, 1969), y ciertos fosfatos como el apatito tienen cantidad menor a 1 ppm (Baur & Onishi, 1969; Boyle & Jonasson, 1973). Para el caso del área de estudio, la mayor concentración de arsénico se registra sólo en el pozo P31 (Figura 5.9a), con un valor de 0,032 mg/l, mientras que los demás pozos no superan los 0,004 mg/l. Esta situación de carácter local puede ligarse, principalmente, a la actividad antropogénica (contaminación, uso de pesticidas, etc), puesto que, de estar relacionado a un ambiente geológico, se registrarían valores altos en la totalidad de los puntos de muestreo químico. Cabe recalcar, que en Salbu & Steinnes (1995) establecen un promedio de concentración de 0,5 y 0,9 mg/l para las aguas subterráneas, en tanto que la norma chilena de calidad del agua potable NCh409 permite un máximo de 0,01 mg/l de arsénico.
- Manganeso (Mn): la norma chilena de calidad de agua potable NCh409 establece concentración máxima de manganeso permitido menor o igual a 0,1 mg/l. La concentración de este elemento químico en los pozos P3, P5, P17 y P31 varía entre 0,23 y 0,82 mg/l, mientras que los demás puntos de muestreo no superan los 0,03 mg/l (Figura 5.9b).

El manganeso está extensamente distribuido en rocas metamórficas, sedimentarias e ígneas y, a diferencia de otros elementos, al poseer un radio iónico similar al del magnesio, hierro y calcio, es capaz de sustituir a estos en estructuras de silicatos, tales como piroxenos y anfíbolos (Adriano, 2001; Salomons y Forstner, 1984). Además, está presente en muchos productos domésticos, tales como: fertilizantes, baterías, acero inoxidable, entre otros. Por lo tanto, su origen puede ser tanto geológico como antrópico.

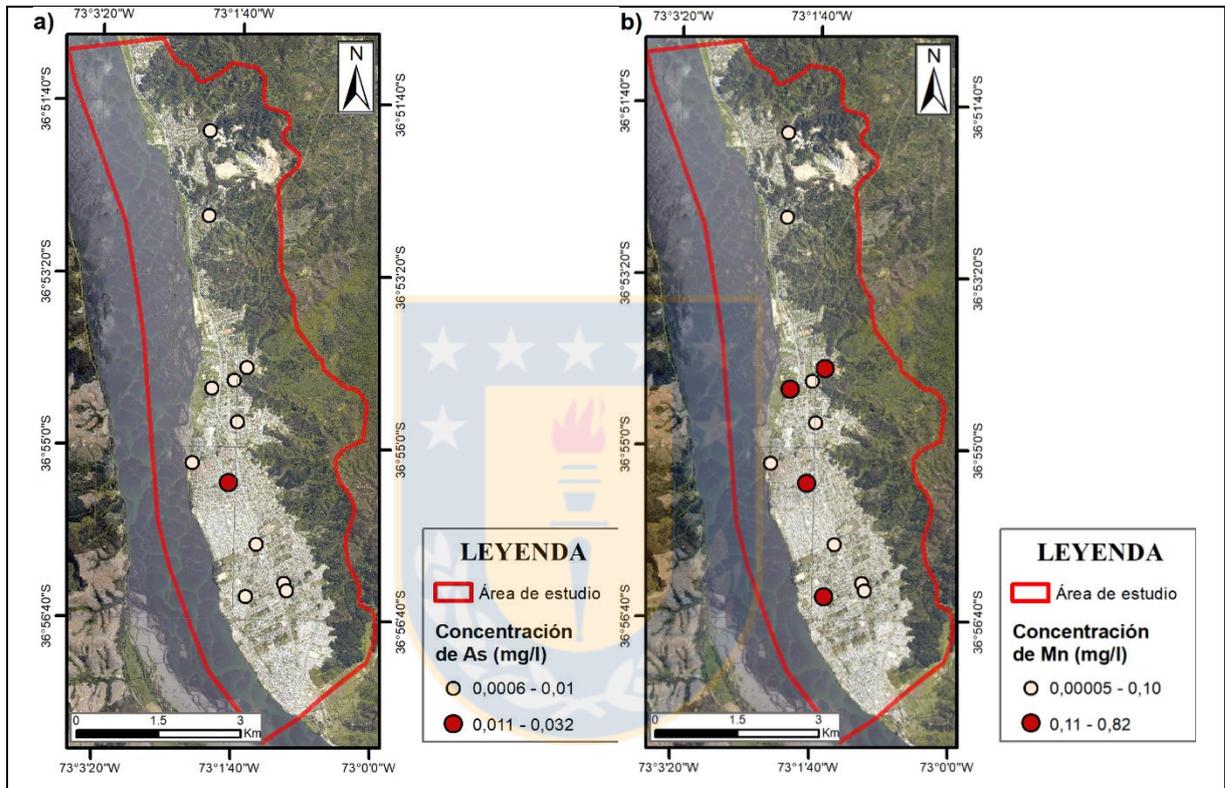


Figura 5.9: Distribución de la concentración de elementos que superan la norma NCh409 para todas las muestras de agua analizadas. a) Arsénico. b) Manganeso.

Tabla 5.4: Valores obtenidos para cada parámetro de calidad de agua potable requerido por la norma NCh409/2005. Valores en amarillo indican que la concentración excede el límite máximo.

Punto de análisis	Elementos esenciales							Elementos no esenciales					Caract. organolépticas		
	Cu	Cr	Fe	Mn	Mg	Se	Zn	As	Cd	Hg	Pb	Cl	pH	SO4	STD
Límite máximo (mg/l)	2,0	0,05	0,3	0,1	125	0,01	3,0	0,01	0,01	0,001	0,05	400	6.5 – 8.5*	500	1500
P1	16E ⁻⁴	37E ⁻⁴	<1E ⁻²	<5E ⁻⁵	11,38	6E ⁻⁴	15E ⁻³	6E ⁻⁴	<5E ⁻⁵	<1E ⁻⁴	<1E ⁻⁴	18,00	7,50	19,60	162
P14	46E ⁻⁴	42E ⁻⁴	<1E ⁻²	<5E ⁻⁵	14,77	<5E ⁻⁴	11E ⁻³	8E ⁻⁴	5E ⁻⁵	<1E ⁻⁴	4E ⁻⁴	8,80	6,78	14,10	160
P3	29E ⁻⁴	96E ⁻⁴	<1E ⁻²	82E ⁻²	15,04	<5E ⁻⁴	11E ⁻³	29E ⁻⁴	<5E ⁻⁵	<1E ⁻⁴	<1E ⁻⁴	43,00	7,49	6,82	329
P5	<1E ⁻⁴	33E ⁻⁴	<1E ⁻²	5E ⁻¹	6,72	<5E ⁻⁴	<5E ⁻⁴	17E ⁻⁴	<5E ⁻⁵	<1E ⁻⁴	<1E ⁻⁴	11,00	7,30	<0,50	134
P4	17E ⁻²	44E ⁻⁴	<1E ⁻²	77E ⁻⁴	12,84	<5E ⁻⁴	46E ⁻²	9E ⁻⁴	26E ⁻⁵	<1E ⁻⁴	3E ⁻⁴	15,00	7,80	32,70	119
P17	38E ⁻⁴	74E ⁻⁴	<1E ⁻²	72E ⁻²	37,06	7E ⁻⁴	16E ⁻³	11E ⁻⁴	<5E ⁻⁵	<1E ⁻⁴	<1E ⁻⁴	17,00	6,92	34,80	219
P28	26E ⁻⁴	34E ⁻⁴	<1E ⁻²	31E ⁻³	12,70	<5E ⁻⁴	79E ⁻³	8E ⁻⁴	<5E ⁻⁵	<1E ⁻⁴	<1E ⁻⁴	12,00	7,29	16,70	142
P31	37E ⁻⁴	15E ⁻⁴	23E ⁻³	23E ⁻²	6,75	<5E ⁻⁴	94E ⁻³	32E ⁻³	<5E ⁻⁵	<1E ⁻⁴	<1E ⁻⁴	7,40	7,70	13,40	144
V2	6E ⁻⁴	15E ⁻⁴	27E ⁻²	16E ⁻⁴	4,53	<5E ⁻⁴	36E ⁻⁴	42E ⁻⁴	<5E ⁻⁵	<1E ⁻⁴	<1E ⁻⁴	15,00	7,66	14,70	84
P30	1E ⁻³	22E ⁻⁴	<1E ⁻²	2E ⁻⁴	4,71	<5E ⁻⁴	17E ⁻³	14E ⁻⁴	<5E ⁻⁵	<1E ⁻⁴	<1E ⁻⁴	5,50	7,90	17,00	78
P9	21E ⁻⁴	21E ⁻⁴	<1E ⁻²	6E ⁻⁴	2,99	<5E ⁻⁴	76E ⁻⁴	21E ⁻⁴	<5E ⁻⁵	<1E ⁻⁴	<1E ⁻⁴	13,00	7,21	5,21	93
P20	27E ⁻⁴	2E ⁻³	<1E ⁻²	<5E ⁻⁵	6,01	<5E ⁻⁴	41E ⁻⁴	1E ⁻³	<5E ⁻⁵	<1E ⁻⁴	<1E ⁻⁴	16,00	7,37	12,7	114

6. VULNERABILIDAD DEL ACUÍFERO

6.1. Generalidades

Dado que las aguas subterráneas representan una importante fuente de suministro de agua potable a nivel nacional para las diversas localidades tanto urbanas como rurales, es necesario preservar su calidad para no afectar a la salud de la comunidad, lo que implica conocer su vulnerabilidad ante una contaminación. Así, desde que Margat (1968) introdujera el término “vulnerabilidad del agua subterránea a la contaminación”, han hecho numerosas definiciones, calificaciones y metodologías sobre el mismo. Algunos autores (Foster, 1987; Foster e Hirata, 1991, por ejemplo) definen la vulnerabilidad como la susceptibilidad del agua subterránea a ser afectada adversamente por una carga contaminante aplicada en la superficie, y la consideran como una propiedad referida exclusivamente al medio (tipo de acuífero y cobertura, permeabilidad, profundidad, recarga, etc.). Sin embargo, otros autores (Vrba & Zaporozec, 1994; EPA, 1991) le otorgan a la vulnerabilidad, además del comportamiento del medio, trascendencia al tipo y carga del contaminante.

Por otro lado, los diversos métodos para su determinación (DRASTIC, SINTACS, GOD, EPIK, EKV, $\Delta HT'$) y los criterios para su elección dependen de muchos factores (conocimiento del método, información disponible, nivel de detalle, validación de resultados).

6.2. Método DRASTIC

Durante esta investigación ha sido utilizado el método DRASTIC, dado la escala de trabajo (1:80.000, semi-detalle) y la cantidad de información disponible que permite su uso.

El método DRASTIC, desarrollado por Aller y otros (1987), es un método de uso muy difundido a nivel internacional que está basado en la asignación de índices del 1 al 10, para cada una de las características requeridas, según:

- D (*depth*): profundidad del agua subterránea
- R (*Recharge*): recarga neta, determinado a partir del balance hídrico
- A (*Aquifer*): litología del acuífero

- S (*Soil*): tipo de suelo
- T (*Topography*): topografía
- I (*Impact*): litología de la sección no saturada
- C (*Hydraulic Conductivity*): conductividad hidráulica del acuífero

Además, a cada variable le es asignada una ponderación (factor) entre 1 y 5 (Tabla 6.1), de acuerdo con su influencia respecto a la vulnerabilidad y según el contaminante se trate de un pesticida u otro (1, menor vulnerabilidad; 5, mayor). Así, es obtenida una valoración final mediante la expresión:

Tabla 6.1: Valoración obtenida para cada parámetro requerido por el método DRASTIC. (*) La profundidad del agua subterránea varía de 0,38 a 16,4 m.

Parámetro	Características del acuífero	Valoración	Pesticida		Otro contaminante	
			Factor	Resultado	Factor	Resultado
D (*)	0 – 1,5 m	10	5	50	5	50
	1,5 – 4,6 m	9		45		45
	4,6 – 9,1 m	7		35		35
	9,1 -15,2 m	5		25		25
	15,2 – 22,9 m	3		15		15
R	472,52 mm/año	9	4	36	4	36
A	Arena fluvial	8	3	24	3	24
S	98,8% arena 1,2% limo 0% Arcilla	9	5	45	2	18
T	0 - 3,8%	10	3	30	1	10
I	Arena y arcilla	6	4	24	5	30
C	241,92 m/día	10	2	20	3	30

$$DRASTIC = (D_r \times D_w) + (R_r \times R_w) + (A_r \times A_w) + (S_r \times S_w) + (T_r \times T_w) \\ + (I_r \times I_w) + (C_r \times C_w)$$

Donde:

r: factor de valoración

w: factor de ponderación

De acuerdo con los valores adoptados para cada parámetro, según el método (Anexo VI), son determinados los índices correspondientes en base a las características del medio del acuífero de Chiguayante, y multiplicado con su factor de vulnerabilidad ante

el contaminante (Tabla 6.1). Cabe destacar, que la pendiente topográfica ha sido determinada a partir del mapa de pendientes realizada en ArcGIS (Figura 6.1).

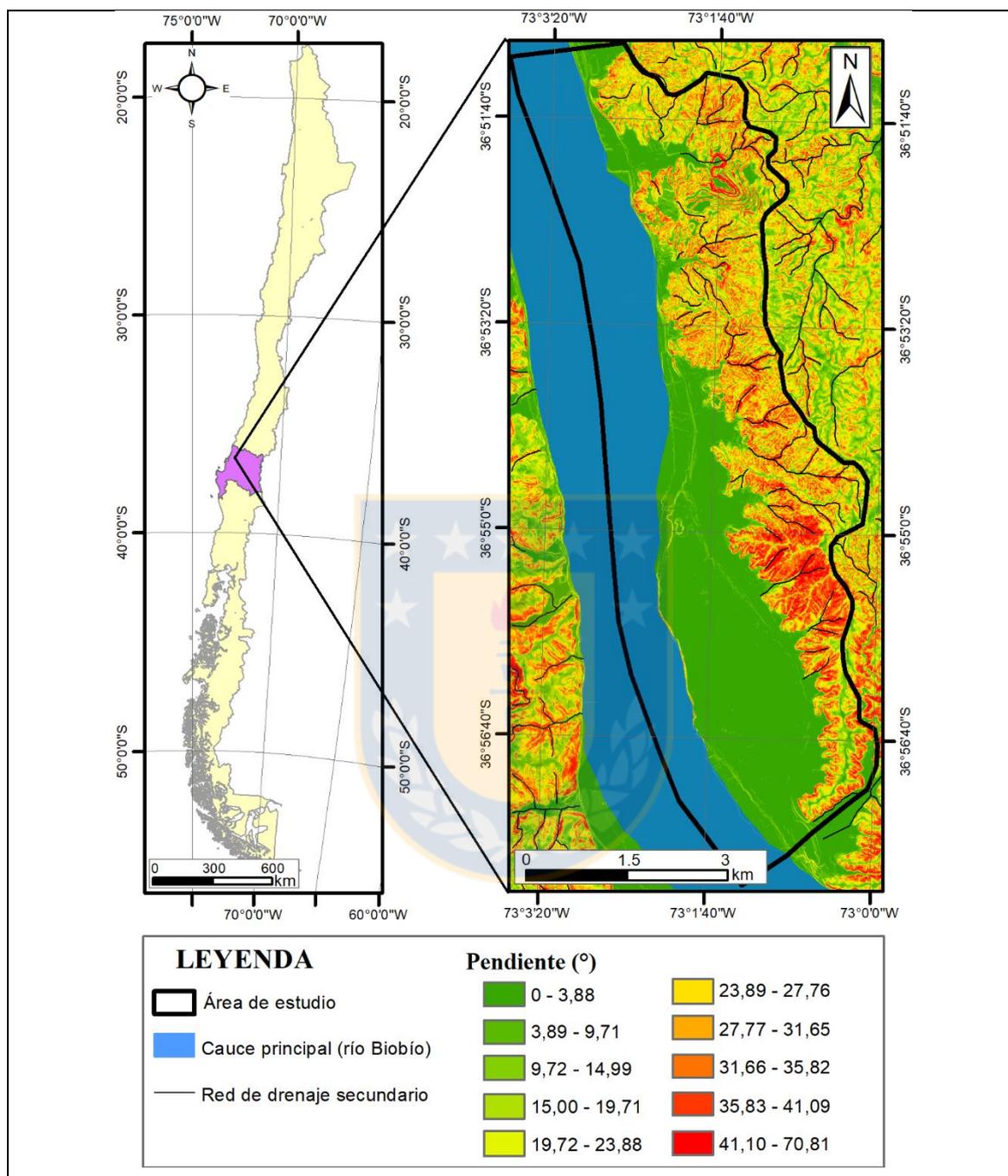


Figura 6.1: Mapa de pendientes.

En la tabla anterior, quedan de manifiesto cinco rangos de profundidad del nivel freático (sugeridos por el método), por lo que el valor final para la vulnerabilidad del acuífero es asignado para cada uno de ellos, según la puntuación ponderada (Tabla 6.2).

Tabla 6.2: Categorización de vulnerabilidad a distintas profundidades del nivel freático, según la puntuación obtenida.

Profundidad del agua (m)	Pesticida		Otro contaminante	
	Vulnerabilidad total	Grado	Vulnerabilidad total	Grado
0 – 1,5	229	Muy alto	198	Muy alto
1,6 – 4,6	224	Muy alto	193	Muy alto
4,7 – 9,1	214	Alto	183	Alto
9,2 – 15,2	204	Alto	173	Alto
15,3 – 22,9	194	Alto	163	Alto

Según los resultados obtenidos, el acuífero de la comuna de Chiguayante posee un muy alto grado de vulnerabilidad ante la contaminación tanto por el uso de pesticidas como de otro contaminante, cuando la profundidad del nivel freático se encuentra hasta los 4,6m, sin embargo, a medida que aumenta la profundidad (en dirección hacia el río), la vulnerabilidad disminuye levemente, aunque se mantiene en un alto grado, afectando tanto al norte como al sur al área de estudio (Figura 6.2).

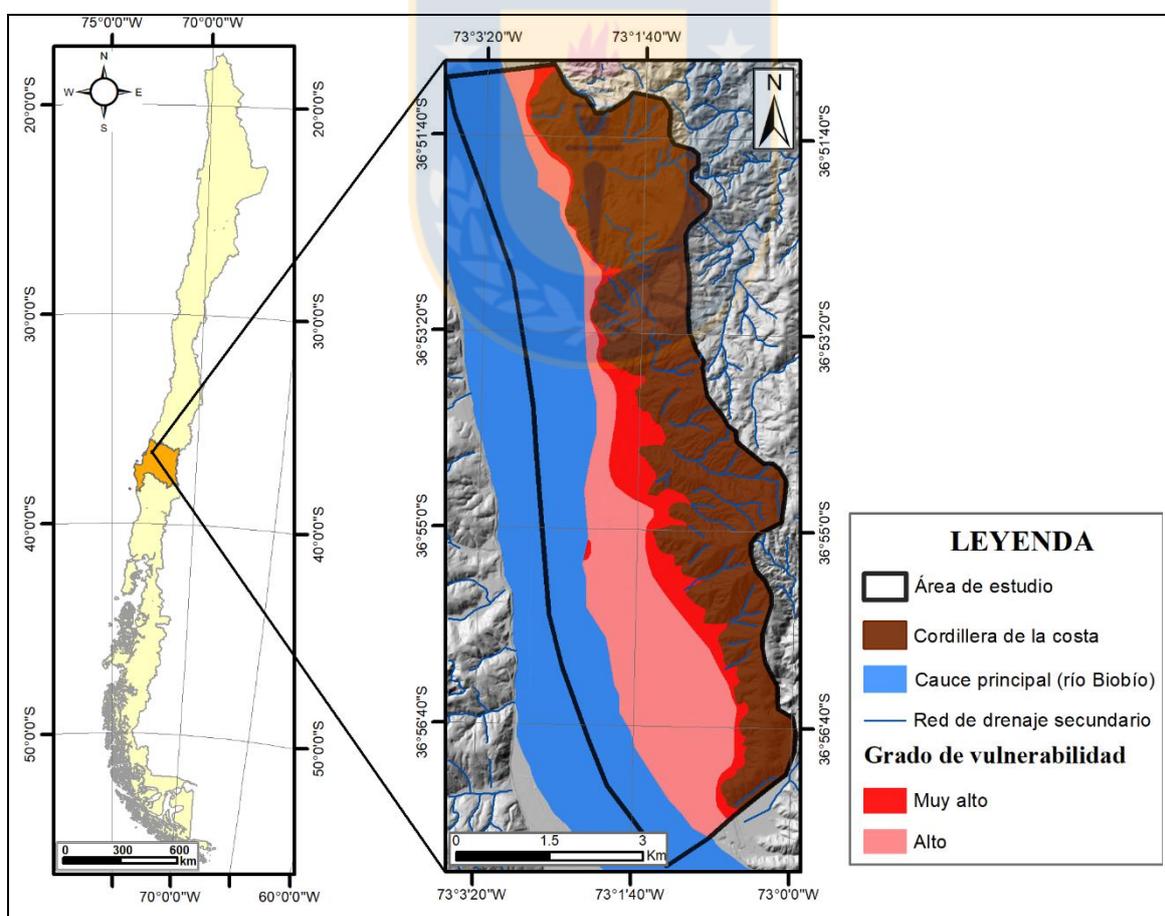


Figura 6.2: Mapa de vulnerabilidad del acuífero ante pesticidas y otros contaminantes.

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1. Conclusiones

- En el área de estudio se definen tres unidades hidrogeológicas:
 - Sedimentos no consolidados y semi-consolidados fluvio-aluviales (UH-1) compuestos principalmente por arenas y, en menor medida, limos y arcillas, las que poseen una alta importancia hidrogeológica debido a la configuración de una permeabilidad primaria que genera un alto grado de interconexión entre los espacios granulares.
 - Intrusivos del Batolito de la Costa (UH-2), conformados por rocas graníticas que varían de tonalita a granodiorita, cuya importancia hidrogeológica se limita a la presencia de una moderada permeabilidad secundaria (diaclasas), siendo ésta de carácter bajo.
 - Serie Oriental del Basamento Metamórfico (UH-3), constituida por esquistos, pizarras y filitas con escasa cantidad de fracturas y de muy baja importancia hidrogeológica.
- De acuerdo con la geología y distribución espacial de las unidades hidrogeológicas que componen el área de estudio, el acuífero presente en el área de estudio es de tipo libre.
- La interpretación de pruebas de bombeo evidencia un aumento de este a oeste, en la capacidad de transmisión de agua subterránea de la unidad hidrogeológica UH-1, relacionado al tipo de material del acuífero. Así, en las cercanías de la Cordillera de la Costa, la transmisividad varía, aproximadamente, entre 1 y 60 m²/día, dado el aporte de material meteorizado a la estratigrafía del suelo. Por el contrario, en dirección al río Biobío y donde el nivel estático se encuentra en tramos arenosos, la transmisividad alcanza los 797,76 m²/día.
- Según Custodio (1983) un valor entre 0,05 y 0,32 para el coeficiente de almacenamiento obtenido a partir del análisis de ensayos de bombeo suele obtenerse en acuíferos libres, lo que es coherente al valor obtenido para el acuífero de la comuna de Chiguayante.

- La cota de la superficie piezométrica, al este del área de estudio alcanza los 32,46 m s.n.m. y disminuye progresivamente hacia el oeste, llegando a 8,93 m s.n.m., lo que genera un movimiento del agua subterránea es en sentido este-oeste hasta descargar al río Biobío.
- A partir del balance hídrico, y con un promedio de precipitaciones de 1.022,5 mm/año, un total 472,52 mm/año se infiltran al acuífero como recarga, constituyendo la entrada principal de agua al sistema, mientras que la salida principal del agua es producida por la evapotranspiración ocurrida desde la superficie del terreno (335,46 mm/año) y la escorrentía superficial (214,52 mm/año). Además de ello, se debe considerar la descarga del flujo hacia el río Biobío y el bombeo de pozos, con caudales de extracción entre 0,15 y 10 l/s (Anexo III).
- Durante la época estival, y dado que hay una disminución en las precipitaciones y un aumento en el uso del agua subterránea, la profundidad del nivel estático aumenta entre un rango de 0,02m a 1,68m.
- La composición química del agua subterránea se ajusta considerablemente a la clasificación de Freeze & Cherry (1979), en base a la concentración de iones disueltos (Tabla 9.1), lo que implica que las aguas no cuentan con la presencia de algún elemento en concentraciones anómalas cuyo origen provenga de algún contexto geológico y/o antropológico importante a considerar, tales como una intrusión salina, yacimiento geológico, vertido de aguas residuales industriales, entre otros.

Tabla 9.1: Frecuencia decreciente de elementos en aguas subterráneas, según Freeze & Cherry (1979).

Tipo de ion	Aniones	Cationes	Otros
Mayoritario	HCO ₃ , CO ₄ , Cl, SO ₄ , NO ₃	Ca, Mg, Na, K, NH ₄	SO ₂ , O ₂ , SiO ₄ H ₄ , SiO ₂
Minoritario	F, S, SH, Br, I, NO ₂ , PO ₄ , BO ₃	Mn, Fe, Li, Sr, Zn	No define
Traza	Al, Ti, Co, Cu, Pb, Ni, Cr, etc.	No define	No define

- Los parámetros fisicoquímicos indican que el agua subterránea posee pocos sólidos disueltos totales, al este del área de estudio (<69 ppm), y a medida que fluye por el acuífero en dirección oeste incorpora a ella elementos del entorno geológico, lo que aumenta su contenido de partículas hasta un valor de 364 ppm. Asimismo, la conductividad eléctrica aumenta gradualmente su valor, según los sólidos disueltos presentes, hasta 728 $\mu\text{S}/\text{cm}$. El rango de pH, gracias a la capacidad *buffer* el agua, varía ligeramente de 7, mientras que la temperatura característica de las aguas de esta zona oscila entre 9,8 y 18,6°C, la que depende netamente de la temperatura ambiental. Además, los rangos de todos los parámetros mencionados son normales comparados con los valores definidos para las aguas subterráneas (Custodio, 1983), y tanto los sólidos disueltos totales como la conductividad eléctrica son en general bajos, lo que indica una escasa evolución del agua y, en cierta medida, su pureza.
- Según los diagramas de Piper y Stiff, las muestras de agua subterránea analizadas son del tipo bicarbonatada cálcica con leve tendencia a los iones sodio y magnesio. Lo anterior denota que éstas son relativamente jóvenes y con escaso tiempo de residencia, lo que corresponde a aguas poco evolucionadas, tanto por el pequeño tramo que éstas recorren, como por la constante renovación a partir de la recarga. La fuente principal de estos iones se debe a la interacción agua-roca, donde el agua subterránea disuelve iones provenientes de minerales silicatados (ferromagnesianos, plagioclasas, y otros) de las rocas intrusivas y metamórficas (Custodio, 1967; Custodio, 1983) que componen Cordillera de la Costa, así como también del agua lluvia y actividad urbana. Lo anterior, es un indicador de la homogeneidad química de las aguas en la comuna de Chiguayante, sin la evidencia de contaminación antrópica que constituya una amenaza para la dinámica del acuífero.
- De acuerdo con el análisis de calidad de agua potable, los pozos P3, P5, P17 y P31 no cumplen con la norma NCh409/2005, debido a que exceden el límite permitido de concentración de manganeso y/o arsénico.

- A partir del método DRASTIC y hasta una profundidad de 4,6 m del nivel freático, la estimación de la vulnerabilidad del acuífero es muy alta ante el uso de pesticidas y otros tipos de contaminantes, en tanto que desde los 4,6 m hasta los 22,9 m de profundidad la vulnerabilidad se califica como alta. Sin embargo, es importante señalar que todos los acuíferos son vulnerables a contaminantes persistentes en el tiempo y no degradables, incluso aquellas zonas consideradas de menor vulnerabilidad. Además, una vez contaminados es difícil de rehabilitar, sobre todo porque existe una evolución espacial de la pluma de contaminación que afecta cada vez a un área más grande.

7.2. Recomendaciones

- Dado que no pudo utilizarse los datos de precipitaciones y temperaturas reportados por la estación meteorológica de Chiguayante, es de gran importancia realizar un correcto y constante registro de éstos con el fin de obtener un balance hídrico que se ajuste a las condiciones reales de Chiguayante.
- Es importante realizar una base de datos de los parámetros hidráulicos del acuífero en forma continua en el tiempo, para entender de mejor manera su funcionamiento. Lo anterior, haría posible y facilitaría estudios futuros que tienen la finalidad de aportar al conocimiento de las características propias de la comuna para una mejor gestión de sus recursos.

8. REFERENCIAS

ADRIANO, D.C. 2001. Trace elements in terrestrial environments: biogeochemistry, bioavailability, and risks of metals. 2nd edition. Springer: 867 pp. New York

AGUIRRE, L.; HERVÉ, F. & GODOY, E. 1972. Distribution of metamorphic facies in Chile. An outline. *Kristalinikum*, N°9: 7-19.

ALLER, L.; BENNET, T.; LEHR, J.; PETTY, R. & HACKETT, G. 1987. Drastic: a standardized system for evaluating ground water pollution potential using hydrogeologic settings. U.S. EPA /600/2-87-036: 1-455. Oklahoma.

ANDERSON, M. & WOESSNER, W. 1992. Applied groundwater modeling. Simulation of flow and advective transport. Academic Press, Inc.: 381 pp. San Diego.

AQUALOGY MEDIOAMBIENTE CHILE S.A. 2014. Levantamiento hidrogeológico en cuencas pluviales costeras en la región del Libertador General Bernardo O'higgins, Maule y del Bio-Bío, etapa 2. Recuperado de: <http://documentos.dga.cl/SUB5568.pdf>: 268 pp. Santiago.

AQUATERRA INGENIEROS LIMITADA. 2012. Estudio hidrogeológico cuenca Bio-Bío. Recuperado de: <http://documentos.dga.cl/SUB5433v1.pdf>: 165 pp. Santiago.

BAUR, W.H. & ONISHI, B.M.H. 1969. Arsenic. In: Wedepohl, K.H. (Editors). Handbook of Geochemistry. Springer-Verlag: 33-133. Berlin.

BENOIT, I. 1989. Libro rojo de la flora terrestre de Chile. Corporación Nacional Forestal (CONAF): 157 pp. Santiago.

BODOQUE, J.M. 2006. Ensayos metodológicos para la cuantificación de procesos geomorfológicos activos asociados a la hidrología de superficie en la Sierra de Guadarrama y Gredos. Tesis doctoral. Facultad de Ciencias Geológicas, Universidad Complutense de Madrid. (Inédito): 401 pp. Madrid.

BÖRGEL, R. 1983. Geografía de Chile, Tomo II, Geomorfología. Geografía de Chile, Ediciones Instituto Geográfico Militar: 182 pp. Santiago.

BOYLE, R.W. & JONASSON, I.R. 1973. The geochemistry of arsenic and its use as an indicator element in geochemical prospecting. *Journal of Geochemical Exploration*. Vol. 2, 252-296.

CENTRO DE CIENCIAS DEL CLIMA Y LA RESILIENCIA (CR)². 2016-2019. Explorador climático (CR)². Santiago, Chile. Recuperado de: <http://explorador.cr2.cl/>

CHOW, V.T. 1964. *Handbook of Applied Hydrology*. McGraw-Hill Book Company, New York.

CIER-SERPLAC (Centro de Estudios Regionales-Secretarías Regionales de Planificación y Coordinación), 1977. *Carta Geológica Concepción Metropolitano*. Escala 1:50.000; CIER-SERPLAC. Concepción.

CIREN-CHILE. 1999. Descripción de materiales y símbolos. Estudio Agroecológico VIII región. Centro de Información de Recursos Naturales. Tomo 1. 288 pp. Santiago.

CIREN-CHILE. 1999. Estudio Agrológico de la VIII Región. Centro de Información de Recursos Naturales. Tomos I y II. 586 pp. Santiago.

CISTERNAS, MA. 1993. Descripción sedimentológica (granulometría) en sedimentos del curso superior e inferior del río Biobío. Serie Monografías Científicas Centro EULA - Chile 12: 293 - 311. Concepción.

COLE, G. A. 1983. *Textbook of Limnology*. 3rd edition. The CV Mosby Company. 412 pp. Saint Louis.

CONIC BF INGENIEROS CIVILES CONSULTORES LTDA. 2010. Mejoramiento y ampliación de red de aguas subterráneas, regiones VII a X. Recuperado de: <http://documentos.dga.cl/FLU5240v1.pdf>. 189 pp. Santiago.

CORVALÁN, J. & MUNIZAGA, F. 1972. Edades radiométricas de rocas intrusivas y metamórficas de la Hoja Valparaíso-San Antonio. Instituto de Información Geológica. Boletín N°28. 1-40. Santiago.

COYNE ET BELLIER – EUROPACT (1995). Gestión de los recursos hídricos, corporación de cuenca del río Bio-Bío. Recuperado de: <http://documentos.dga.cl/MAN804v4.pdf>. 134 pp. Santiago.

CRUZ SILVA, C. & CALDERÓN SUENZEN, J. 2008. Guía Climática Práctica. Dirección Meteorológica de Chile: 117 pp. Santiago.

CUSTODIO, E. 1983. Hidráulica de captaciones de agua subterránea. En: Hidrología Subterránea: 969-981. Custodio, E. y M. R. Llamas (Eds.). Omega, 2 tomos: 2350 pp. Barcelona.

CUSTODIO, E. & LLAMAS, M. R. 1983. Hidrología Subterránea. Edición Omega. 2^{da} Edición. Vol. 2: 1-2350. Barcelona.

CUSTODIO, E. & LLAMAS, M. R. 1996. Hidrología Subterránea. Edición Omega: 1224 pp. Barcelona.

D'URSO, C.; RODRÍGUEZ AREAL, M.; MARCHISIO, P.; RODRÍGUEZ, M.; LÓPEZ, J. P.; RODRÍGUEZ, G. & SALES, A. 2013. Caracterización hidroquímica del valle de Tafí, provincia de Tucumán, República Argentina. Acta Geológica Lilloana: 9-20. Tucumán.

DARCY, H. 1856. Les fontaines publiques de la Ville de Dijon. Exposition des principes à suivre et des formules à employer dans les questions de distribution d'eau. Los Límites de la Ley de Darcy 94 Libraire des Corps Impériaux des Ponts et Chaussées et des Mines. A translation into Spanish of the Appendix D is available at www.fabianhoyos.com.

DARWIN, C. 1846. Geological Observations on South America: Being the Third Part of the Geology of the Voyage of the Beagle, Under the Command of Capt. Fitzroy, R.N. During the years 1832 to 1836: Smith, Elder & Co: 279 pp. London.

DECKART, K.; HERVÉ, F.; FANNING, C.; RAMÍREZ, V.; CALDERÓN, M. & GODOY, E. 2014. U-Pb Geochronology and Hf-O Isotopes of zircons from the Pennsylvanian Coastal Batholith, South-Central Chile. Andean geology. Vol. 41 (1): 49-82 pp. Santiago.

DEPARTAMENTO DE ADMINISTRACION DE RECURSOS HIDRICOS. 2004. Evaluación de los recursos hídricos superficiales en la cuenca del río Biobío. Recuperado de: <http://documentos.dga.cl/SUP4186.pdf>. 24 pp. Santiago.

DGA. 1987. Balance Hídrico de Chile. Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas. Recuperado de: <http://documentos.dga.cl/SUP1540.pdf>. 59pp. Santiago.

DÍEZ-HERRERO, A.; LAÍN-HUERTA, L. & LLORENTE-ISIDRO, M. 2008b. Mapas de peligrosidad por avenidas e inundaciones. Guía metodológica para su elaboración. Riesgos Geológicos/Geotecnia, nº 1. Instituto Geológico y Minero de España: 190 pp. Madrid.

EPA. 1993. A review of methods for assessing the sensitivity of aquifers to pesticide contamination: 204 pp. Washington.

FERRARIS, F. 1981. Mapas geológicos preliminares de Chile. Hoja Los Ángeles-Angol. Escala 1:250.000. Mapa Mapas Geológicos Preliminares de Chile, Nº 5. Instituto de Investigaciones Geológicas. Chile

FERRER, F.J. 1993. Recomendaciones para el Cálculo Hidrometeorológico de avenidas. Centro de Estudios de Experimentación. Ministerio de Obras Públicas: 76 pp. Madrid.

FOSTER, S. 1987. Fundamental concepts in aquifer vulnerability, pollution, risk and protection strategy. In: Van Duijvenbooden, W. & Van Waegeningh, H.G. (Eds), Vulnerability of soils and groundwater to pollutants, Committee on Hydrogeological Research. 69-86. Netherlands.

FOSTER, S. & HIRATA, R. 1991. Determinación del riesgo de contaminación de aguas subterráneas. Una metodología basada en datos existentes. OPS-CEPIS: 80 pp. Lima.

FOURNIER, R. O. & TRUESDELL, A. H. (1970): Chemical indicators of subsurface temperature applied to hot springs waters of Yellowstone National Park, Wyoming, USA., Geothermics-Special-Issue U. N. Symposium on the Development and Utilization of Geothermal Resources. Vol. 2. 529-535. Pisa.

FREEZE, A. & CHERRY, J. 1979. Groundwater. Prentice-Hall, Englewood Cliffs: 604 pp. New Jersey.

FUENZALIDA, H. 1965. "Clima". En *Geografía Económica de Chil*. Texto refundido. Corporación de Fomento de la Producción: 99-151. Santiago.

GAJARDO, A. 1981. Hoja Concepción-Chillán, Mapas geológicos preliminares de Chile, escala 1:250.000. Instituto de Investigaciones Geológicas: 56 pp.

GASSON, P.E. & CUTLER, D.F. 1990. Tree root plate morphology. *Arboricultural Journal*. Vol. **14**, N°3. 193-286. London.

GAUME, E.; BAIN, V.; BERNARDARA, P.; NEWINGER, O.; BARBUC, M.; BATEMAN, A.; BLASKOVICOVÁ, L.; BLÖSCHL, G.; BORGA, M.; DUMITRESCU, A.; DALIAKOPOULOS, I.; GARCIA, J.; IRIMESCU, A.; KOHNOVA, S.; KOUTROULIS, A.; MARCHI, L.; MATREATA, S.; MEDINA, V.; PRECISO, E.; SEMPERE-TORRES, D.; STANCALIE, G.; SZOLGAY, J.; TSANIS, I.; VELASCO, D. & VIGLIONE, A. 2009. A compilation of data on European flash floods. *Journal of Hydrology*. Vol. 367. 70-78.

GEOLOGÍA DE CAMPO II. 2009. Geología del sector costero provincia de concepción región del Biobío, Chile. Informe final de la asignatura. Universidad de Concepción, Departamento de Ciencias de la Tierra (Inédito): 216 pp. Concepción.

GLODNY, J.; ECHTLER, H.; COLLAO, S.; ARDILES, M.; BURÓN, P. & FIGUEROA, O. 2008. Differential Late Paleozoic active margin evolution in South-Central Chile (37°-40°S) The Lanalhue Fault Zone. *Journal of South American Earth Sciences*. Vol. 26: 397-411 pp. Oxford.

GONZÁLEZ-BONORINO, F. 1970. Series metamórficas del basamento cristalino de la Cordillera de la Costa, Chile Central. Universidad de Chile, Departamento de Geología, Publicación N° 24, 119 pp. Santiago.

GRIMALDI, S.; PETROSELLI, A. & ROMANO, N. 2013a. Green-Ampt Curve-Number mixed procedure as an empirical tool for rainfall-runoff modelling in small and ungauged basins. *Hydrological Processes*. Vol. **27**, 1253-1264.

GSI INGENIEROS CONSULTORES LTDA. 2002. Consultoría PM-14 Plan Maestro de Evacuación y Drenaje de Aguas Lluvias de Talcahuano, San Pedro de La Paz y Chiguayante, VIII Región. 38 pp. Concepción.

HERVÉ, F. 1976. Estudio geológico de la falla Liquiñe-Reloncaví en el área de Liquiñe, antecedentes de un movimiento transcurrente (Provincia de Valdivia). En Primer Congreso Geológico Chileno. Actas, Vol. 1: B39-B56. Santiago.

HERVÉ, F.; MUNIZAGA, F.; MANTOVANI, M. & HERVÉ, M. 1976. Edades Rb-Sr neopaleozoicas del basamento cristalino de la Cordillera de Nahuelbuta. Primer Congreso Geológico Chileno. Actas, Vol. 2: F19-F26. Santiago.

HERVÉ, F. 1977. Petrology of the Crystalline Basement of the Nahuelbuta Mountains, South Central Chile. En: Comparative studies on the geology of the Circum-Pacific Orogenic Belt in Japan and Chile: T. Ishikawa and L. Aguirre. Japan Society for the promotion of Science: 1-51. Tokyo.

HERVÉ, F. & MUNIZAGA, F. 1978. Evidencias geocronológicas de un magmatismo intrusivo Triásico Superior-Jurásico en la Cordillera de la Costa de Chile entre los 35°30'S y 36°30'S. 7° Congreso Geológico Argentino, N°2: 43-52. Neuquén.

HERVÉ, F. 1994. The Southern Andes between 39° and 44°S latitude: the geological signatura of a transpressive tectonic regime related to magmatic arc. En Tectonics of the Southern Central Andes (Reutter, K.J.; Scheuber, E.; Wigger, P.J. (Editors). *Springer Verlag*: 243-248. Santiago.

HUTCHINSON, G.E. 1957. A Treatise on Limnology: Geography, physics, and chemistry. pt. 1. Geography and physics of lakes, John Wiley & Sons, Vol. 1. 1015 pp. New York.

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS. 2010. Análisis preliminar de niveles de aguas subterráneas. Recuperado de: <http://documentos.dga.cl/SUB5241.pdf>. 52pp. Santiago.

KOLODIAJNAIA, A. 1964. Influence of the chemical composition of atmospheric precipitations on sea-littorals upon karst formation. Int. Geological Congress, Atenas. Greek Inst. Geology and Subsurface Research, Atenas, 1964. págs 249-255. Athens.

LIRA, R. 2000. Proyecto MOP: "Concesión de defensas fluviales y carretera Ribera Norte Río Bío-Bío, sector Chiguayante-Puente Viejo". *Urbano*, 3(3), 7-11. Recuperado a partir de <http://revistas.ubiobio.cl/index.php/RU/article/view/661>

MARGAT, J. 1968. Vulnérabilité des nappes d'eau souterraines à la pollution. Bases de la cartographie. Bureau de Recherches Géologiques et Minières N°68. SLG 198 HYD. 30pp. Orléans.

MATVEYEV, A. & BASCHMAKOVA, O. 1967. Chemical composition of atmospheric precipitation in some regions of the USSR. Soviet Hydrologic: Selected Papers, (5): 480-491.

MAZOR, E. 2004. Chemical and Isotopic Groundwater hydrology: the applied approach (3rd edition). Marcel Dekker, Inc: 460pp. New York.

MEZQUITA, B. & ESCUER, J. 2010. Obtención de parámetros para el aprovechamiento geotérmico a partir de datos hidrogeológicos. II Congreso de Energía Geotérmica en la Edificación y la Industria Geoener. 8pp. Madrid.

MOCKUS, V. 1964. Estimation of direct runoff from storm rainfall. SCS, National Engineering Handbook, Section 4: Hydrology, 30pp. Washington, DC.

MOPU. 1990. Instrucción de carreteras 5.2-IC Drenaje superficial (BOE de 23 de mayo de 1990). Ministerio de Obras Públicas. 14036-14082. Madrid.

NRCS (Natural Resources Conservation Service). 2008. Part 630 Hydrology, National Engineering Handbook. U.S. Department of Agriculture: 103pp. Washington, DC.

PADEM (Plan Anual de Desarrollo Educativo Municipal). 2000. Departamento de Educación. I Municipalidad de Chiguayante: 190pp. Concepción.

PARRA, O. 1996. El río Biobío: Elemento base del desarrollo de la Región. Cuadernos del Biobío, Ediciones Universidad de Concepción:1-83. Concepción.

PARRA, O.; VALDOVINOS, C.; FIGUEROA, R. & ACUÑA, A. 1996. Programa de Monitoreo de la Calidad del Agua del Sistema Río Biobío. Fase I: 1994-1996. Centro de Ciencias Ambientales EULA-Chile, Universidad de Concepción. 26 pp. Concepción.

PEÑA, F. 1995. Geomorfología de la ribera norte del río Biobío en su curso inferior. Limitaciones y potencialidades del área. *Revista de Geografía Norte Grande*, Vol. 22: 27-33. Concepción.

- PIPER, A.M., 1953. A graphical procedure in the geochemical interpretation of water analysis. USGS Ground Water Note, N°12: 63pp. Virginia.
- PLADECO. 2006. Plan de desarrollo comunal 2007 – 2010 comuna de Chiguayante: 187 pp. Concepción.
- PLADEYRA, S.C. 2003. Estudio de paisajes hidrológicos y balance hídrico de la cuenca Lerma Chapala (Planeación, Desarrollo y recuperación ambiental). 83 pp. Ciudad de México.
- PONCE, V.M. & HAWKINS, R.H. 1996. Runoff curve number: Has it reached maturity?. Journal of hydrologic engineering, January 1996. Vol.: 11-19.
- RAVEN, P.; EVERT, R. & EICHHORN, S. 1999. Biology of Plants. 6th Edition, W.H. Freeman & Company. 686 pp. New York.
- RODRIGUEZ, G.; RODRIGUEZ, R. & BARRALES, H. 1995. Plantas ornamentales chilenas. Editorial Universidad de Concepción: 230 pp. Concepción.
- RODRIGUEZ, R.; MATTHEI, O. & QUEZADA, M. 1983. Flora arbórea de Chile. Editorial Universidad de Concepción: 408 pp. Concepción.
- RUSSELL, W. E. & RUSSELL, E. J. 1973. Soil conditions and plant growth, Longman: 551-554. New York.
- SAHUQUILLO, A. 2009. La importancia de las aguas subterráneas. X Programa de Promoción de la Cultura Científica y Tecnológica. Revista de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Vol. **103**, N° 1: 97-114. Madrid.
- SALBU, B. & STEINNES, E. 1995. Trace Elements in Natural Waters. CRC Press Incorporation: 302 pp. Florida.
- SALOMONS, W. & FORSTNER, U. 1984. Metal in the hydrocycle. Springer-Verlag. Heidelberg: 349pp. Berlin.
- SAMPER, J.; HUGUET, L.; GARCÍA-VERA, M. A. & ARES, J. 1999. Manual del usuario del programa VISUAL BALAN V.1.0: Código interactivo para la realización de

balances hidrológicos y la estimación de la recarga. Informe Técnico para ENRESA. Universidad de la Coruña. 124 pp. La Coruña.

SAXTON, K.E.; RAWLS, W.J.; ROMBERGER, J.S. & PAPENDICK, R.I. 1986. Estimating generalized soil water characteristics from texture. Trans. Vol. **50**:1031–1035. Madison.

SCHMIDT, R. 1987. Groundwater contamination susceptibility in Wisconsin. Wisconsin's Groundwater Management Plan Report. Wisconsin Department of Natural Resources. Plan Report N°5: 1-27. Madison.

SCS. 1972. Section 4: Hidrology. National Engineering Handbook. Soil Conservation Service. United States Department of Agriculture. 126pp. Washington.

SORENSEN, S. 1909. Enzyme studies II. The measurement and meaning of hydrogen ion concentration in enzymatic process Biochemische Zeitschrift. Vol. **21**: 131-200.

STIFF, H. A. 1951. The interpretation of chemical water analysis by means of patterns. Journal of Petrology Technology. Vol. **3**, N°10: 15-17.

THEIS, C.V. 1935. The relation between the lowering of the piezometric surface and the rate and duration of discharge of a well using groundwater storage. Trans. Amer. Geophys. Union, 16: 519-524. Washington, DC.

THIELE, R.; MORENO, H.; ELGUETA, S.; LAHSEN, A.; REBOLLEDO, S. & PETIT-BREUIH, M.E. 1998. Evolución geológico-geomorfológica cuaternaria del tramo superior del valle del río Laja. *Revista Geológica de Chile*. Vol. **25**, N°2: 229-255. Santiago.

THORNTHWAITE, C.W. & MATHER, J.R. 1955. The water balance. Centerton, NJ: Drexel Institute of Technology - Laboratory of Climatology, Publications in Climatology, Vol. **8**, N°1: 104pp.

TRUCKMEIER, W. F. & MARGAT, J. 1995. Hydrogeological Maps - A Guide and a Standard Legend: Hannover, Germany, International Contributions to Hydrogeology, IAH publication, Vol. **17**: 177pp. Hannover.

TUTIEMPO NETWORK S.L. 2019. El tiempo. Madrid, España. Recuperado de: <https://www.tutiempo.net/>

USDA-SCS. 1964. Hydrology. Section 4, part I, Watershed planning. En: National Engineering handbook. Departamento de agricultura de los Estados Unidos, Servicio de Conservación de Suelos: 16pp: Washington DC.

USDA Soil Conservation Service. (1972). National engineering handbook,
USDA Soil Conservation Service. (1972). National engineering handbook,

USDA-SCS. 1972. National engineering handbook, Section 4: Hydrology, Chapters 4-10. Departamento de agricultura de los Estados Unidos, Servicio de Conservación de Suelos. 4-10. Washington, DC.

VALDOVINOS, C. & PARRA, O. 2006. La cuenca del río Biobío: Historia Natural de un Ecosistema de uso múltiple. Publicaciones Centro EULA, Universidad de Concepción. En: El río Biobío en nuestras vidas. Explora Conicyt (publicación electrónica). 25pp. Concepción.

VÁSQUEZ, P. 2001. Petrología y Geotermobarometría del Basamento Metamórfico de la Cordillera de la Costa entre los 36°30' S y 38°00' S. Memoria para optar al Título de Geólogo. Universidad de Concepción, Departamento Ciencias de la Tierra (Inédito): 170 pp. Concepción.

VILLANUEVA, M. & IGLESIAS, A. 1984. Pozos y acuíferos. Técnicas de evaluación mediante ensayos de bombeo. Instituto Geológico y Minero de España: 426 pp. Madrid.

VRBA, J. & ZAPOROZEC, A. 1994. Guidebook on mapping groundwater vulnerability. IAH. Vol.16: 1-131. Verlag Heinz Heise. Hannover.

WEAVER, J.E. & CLEMENTS, F.E. 1938. Plant Ecology. 2nd Edition, McGraw-Hill Book Co.: 601 pp. New York.

WERNER, J. 1996. Introducción a la Hidrogeología. Ed. Facultad de Ciencias de la Tierra. Universidad Autónoma de Nuevo León. Primera edición: 174 pp. Ciudad de México.

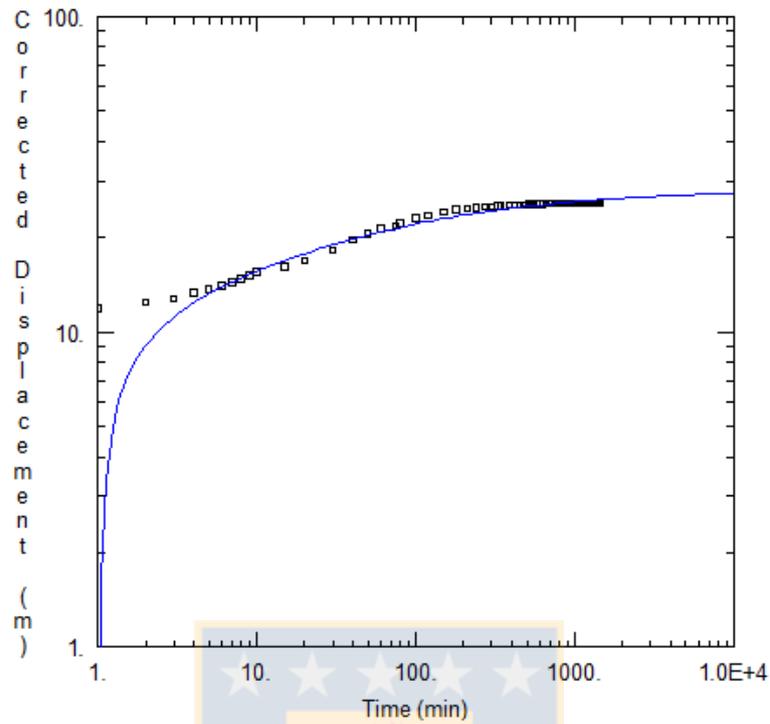
WILLNER, A.; GERDES, A.; MASSONNE, H.; SCHMIDT, A.; SUDO, M.; THOMSON, S. & VUJOVICH, G. 2011. The geodynamics of collision of a microplate (Chilena) in Devonian times deduced by the pressure–temperature–time evolution within part of a collisional belt (Guarguaraz Complex, W-Argentina). *Contributions to Mineralogy and Petrology*. Vol. 162 (2): 303-327 pp.

WINTER, T.C.; HARVEY, J.W.; FRANKE, O.L. & ALLEY, W.M. 1998. *Ground Water and Surface Water a Single Resource*. U.S. Geological Survey Circular 1.139: 79pp. Denver Colorado.





ANEXO I: INTERPRETACIÓN DE PRUEBAS DE BOMBEO



WELL TEST ANALYSIS

Data Set:
Date: 10/09/18

Time: 15:07:11

PROJECT INFORMATION

Location: Estadio Español
Test Well: PB-O'higgins
Test Date: 01/10/2018

WELL DATA

Pumping Wells			Observation Wells		
Well Name	X (m)	Y (m)	Well Name	X (m)	Y (m)
PB-O'higgins	0	0	PB-O'higgins	0	0

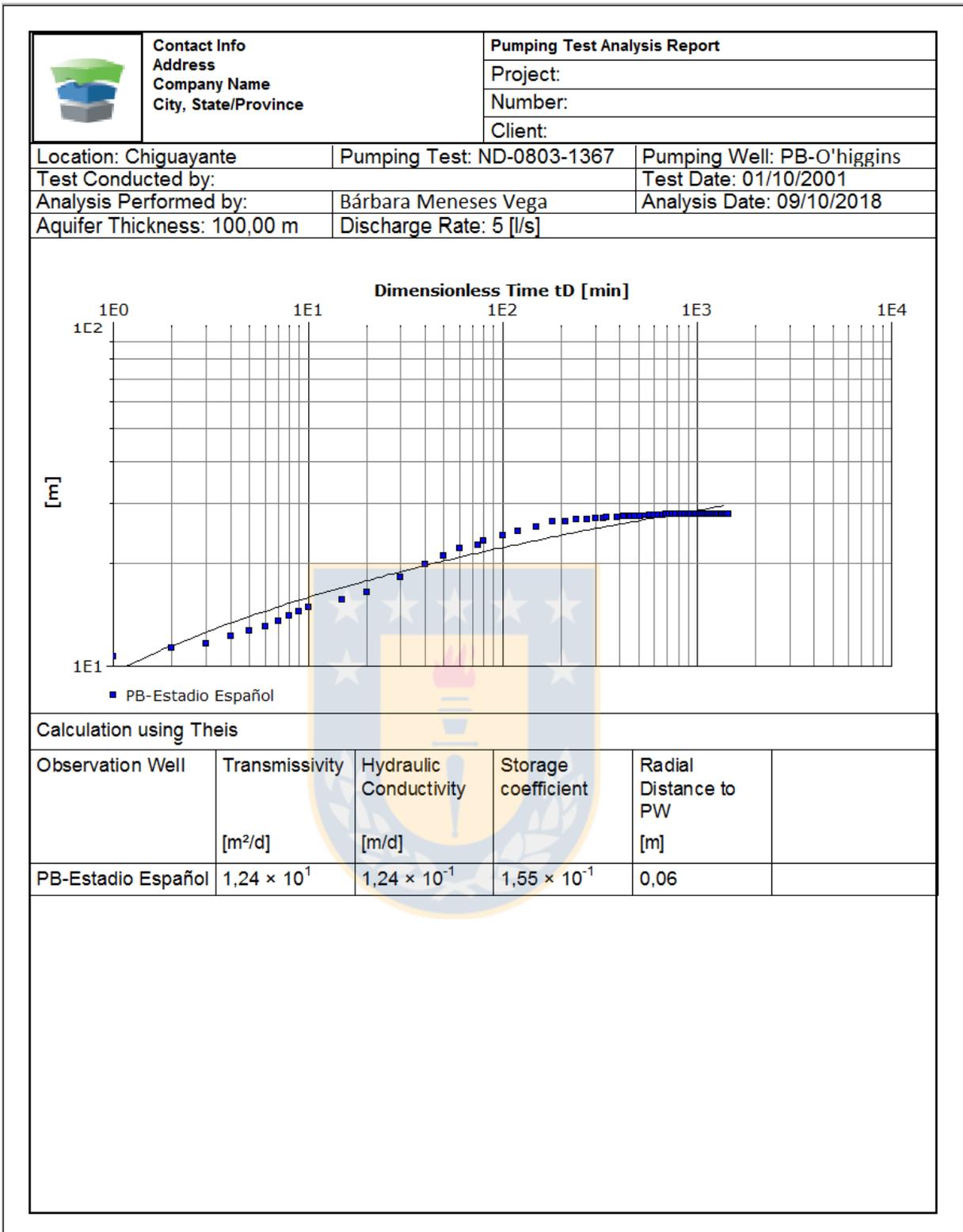
SOLUTION

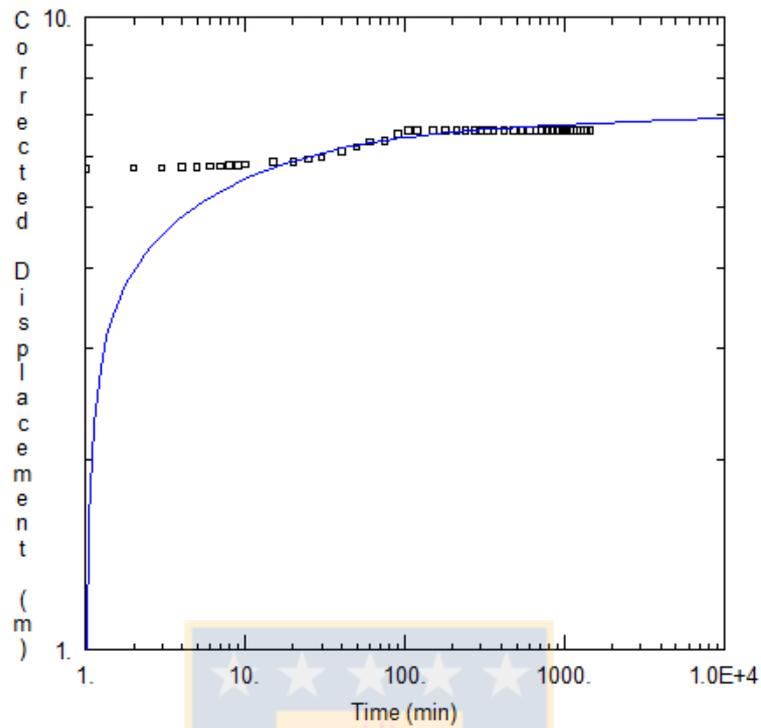
Aquifer Model: Unconfined

Solution Method: Theis

T = 60.29 m²/day
Kz/Kr = 1

S = 0.216
b = 100 m





WELL TEST ANALYSIS

Data Set:
Date: 10/09/18

Time: 15:56:50

PROJECT INFORMATION

Location: Villuco
Test Well: PB-Villuco1
Test Date: 01/10/2018

WELL DATA

Pumping Wells			Observation Wells		
Well Name	X (m)	Y (m)	Well Name	X (m)	Y (m)
PB-Villuco1	0	0	PB-Villuco1	0	0

SOLUTION

Aquifer Model: Unconfined

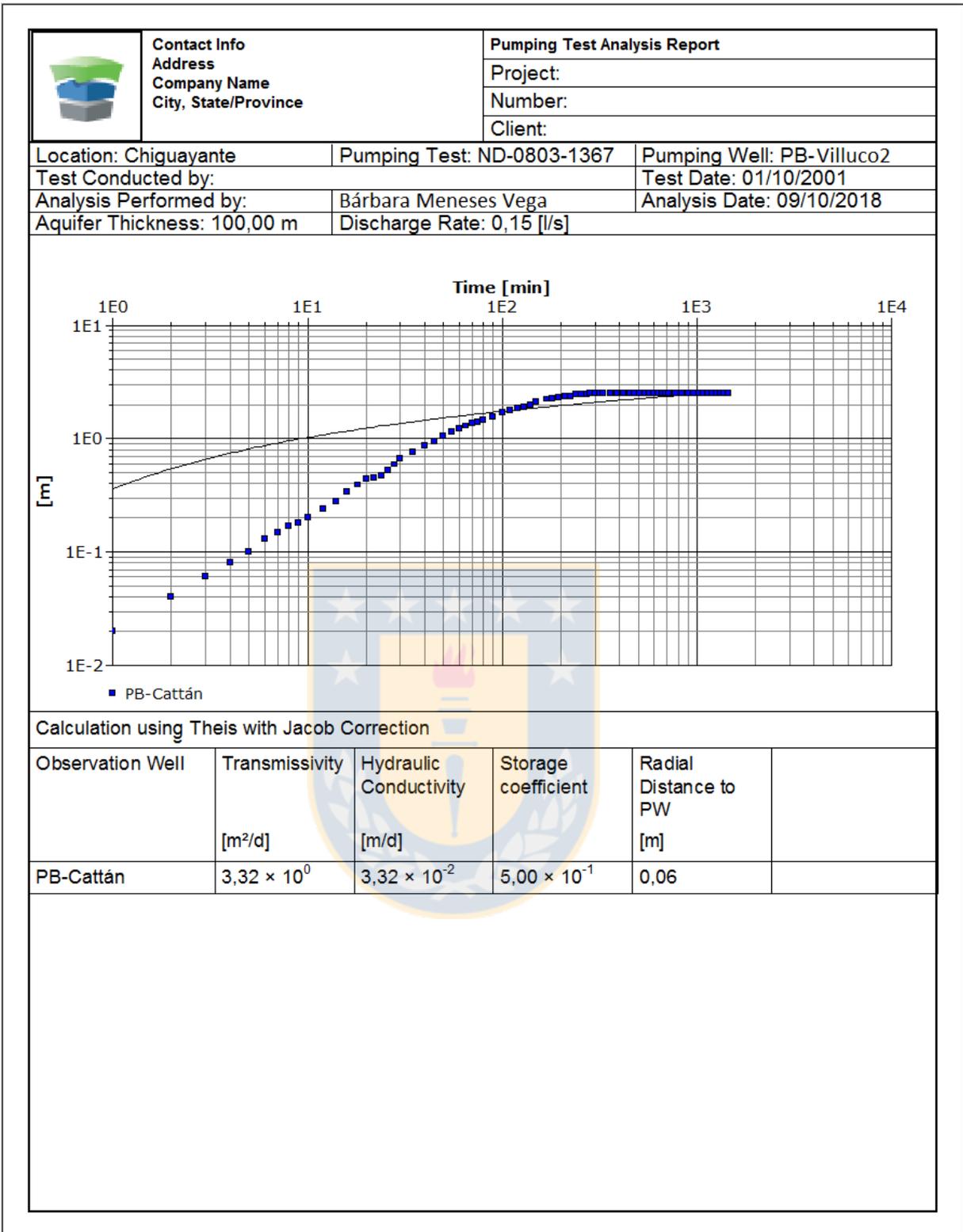
Solution Method: Theis

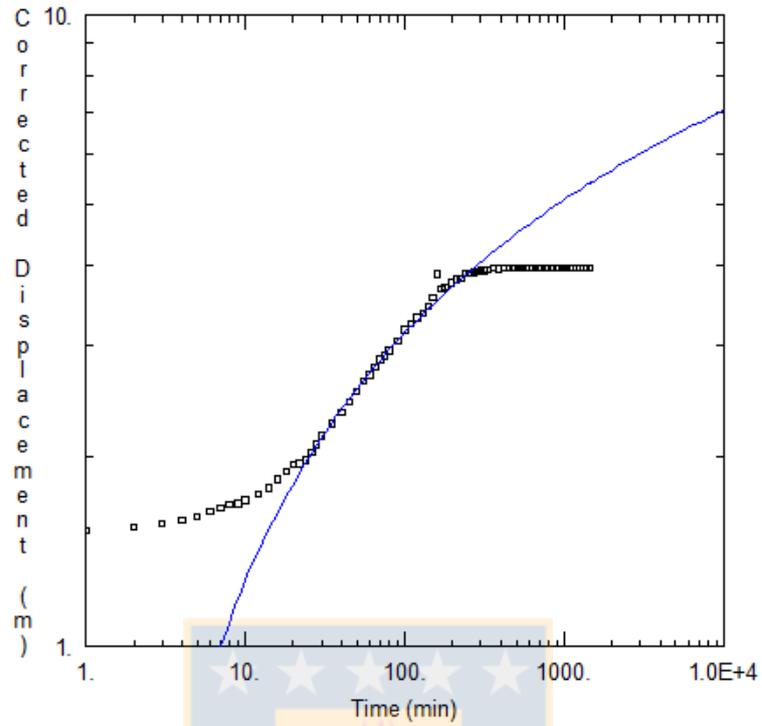
T = 18.13 m²/day

S = 0.01361

Kz/Kr = 1

b = 100 m





WELL TEST ANALYSIS

Data Set:
Date: 10/09/18

Time: 15:46:02

PROJECT INFORMATION

Location: Villuco
Test Well: PB-Villuco2
Test Date: 01/10/2018

WELL DATA

Pumping Wells			Observation Wells		
Well Name	X (m)	Y (m)	Well Name	X (m)	Y (m)
PB-Villuco2	0	0	PB-Villuco2	0	0

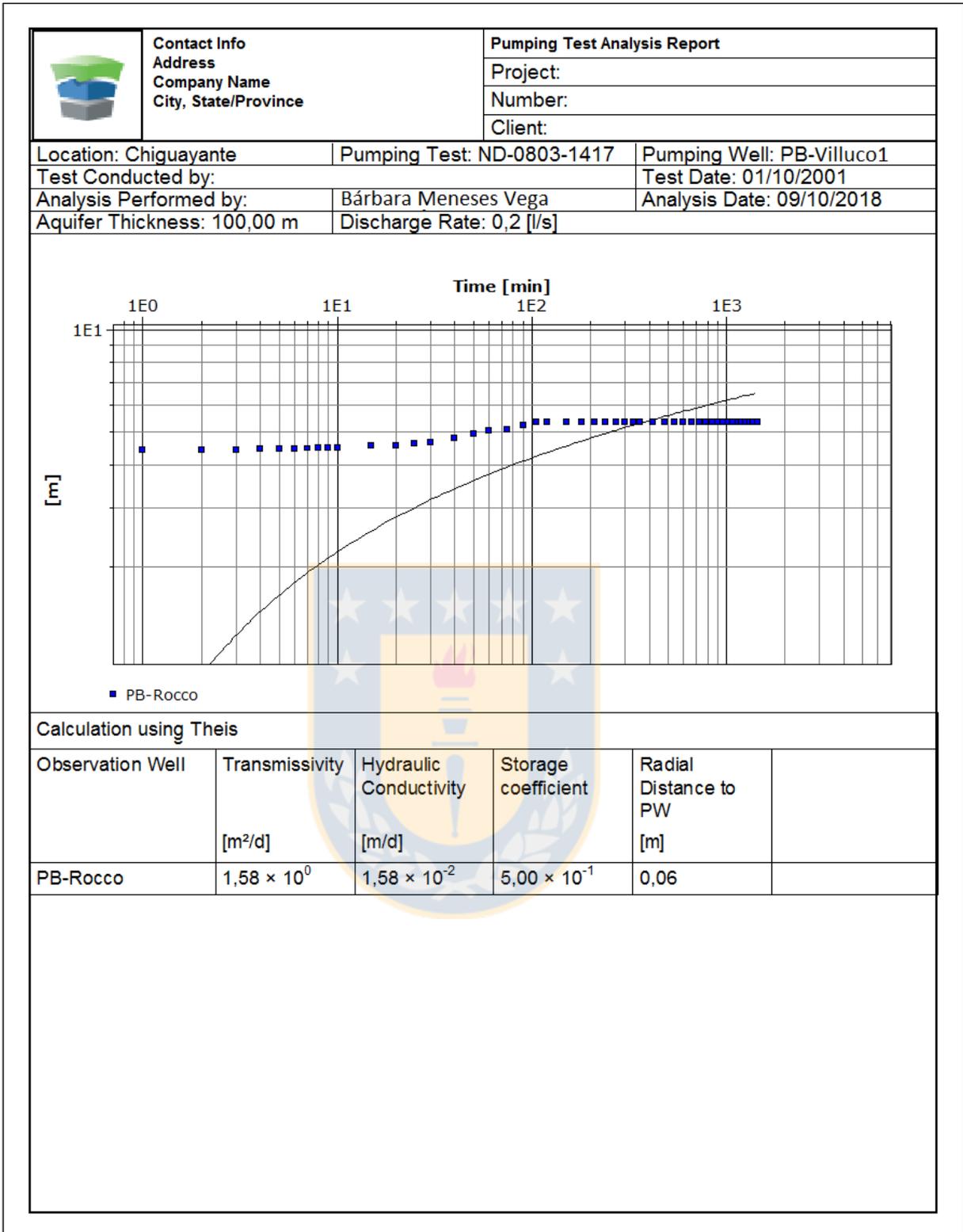
SOLUTION

Aquifer Model: Unconfined

Solution Method: Theis

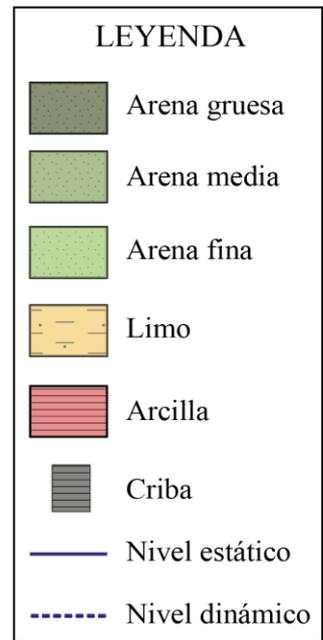
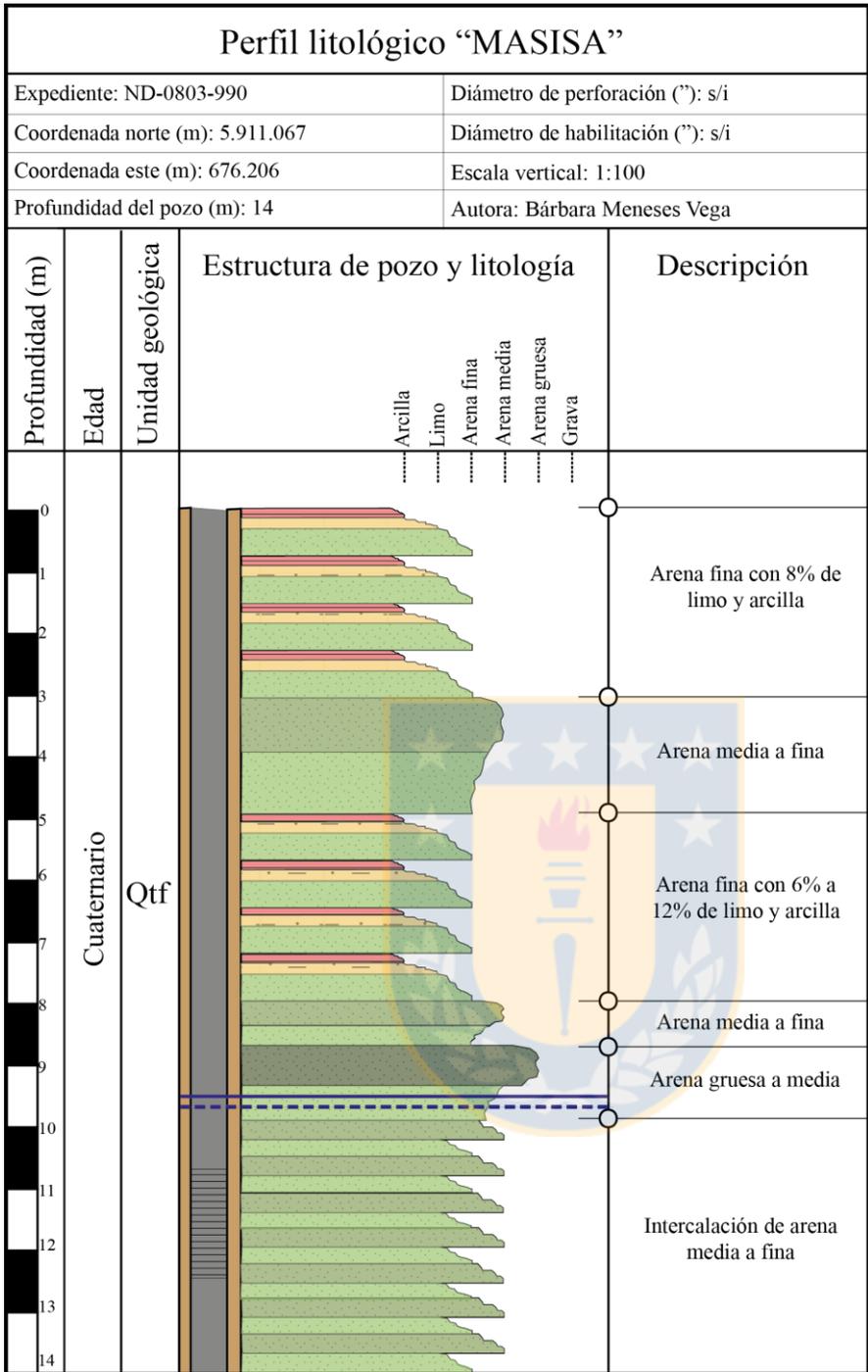
T = 1.21 m²/day
Kz/Kr = 3.968E+4

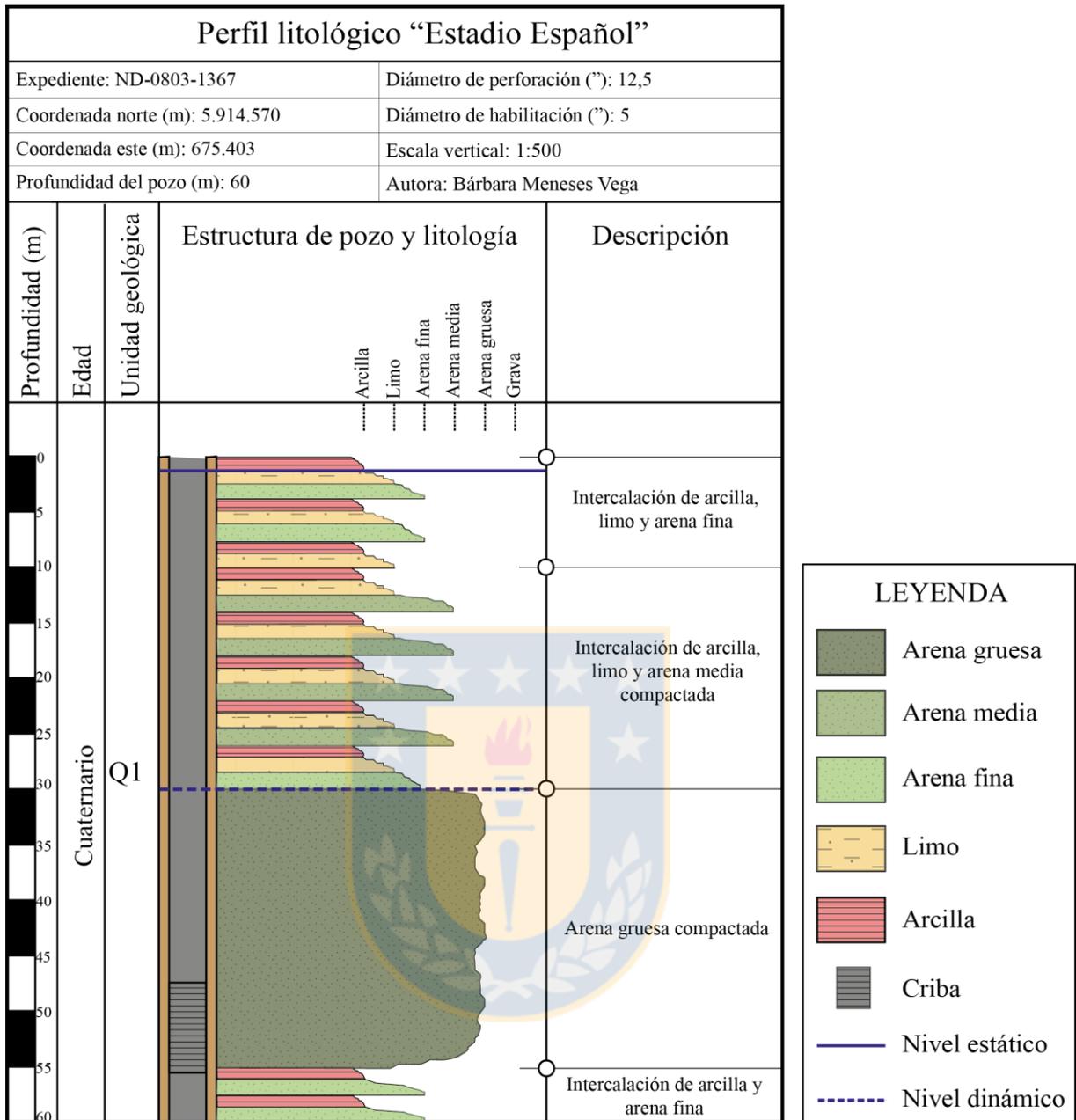
S = 0.3174
b = 100. m

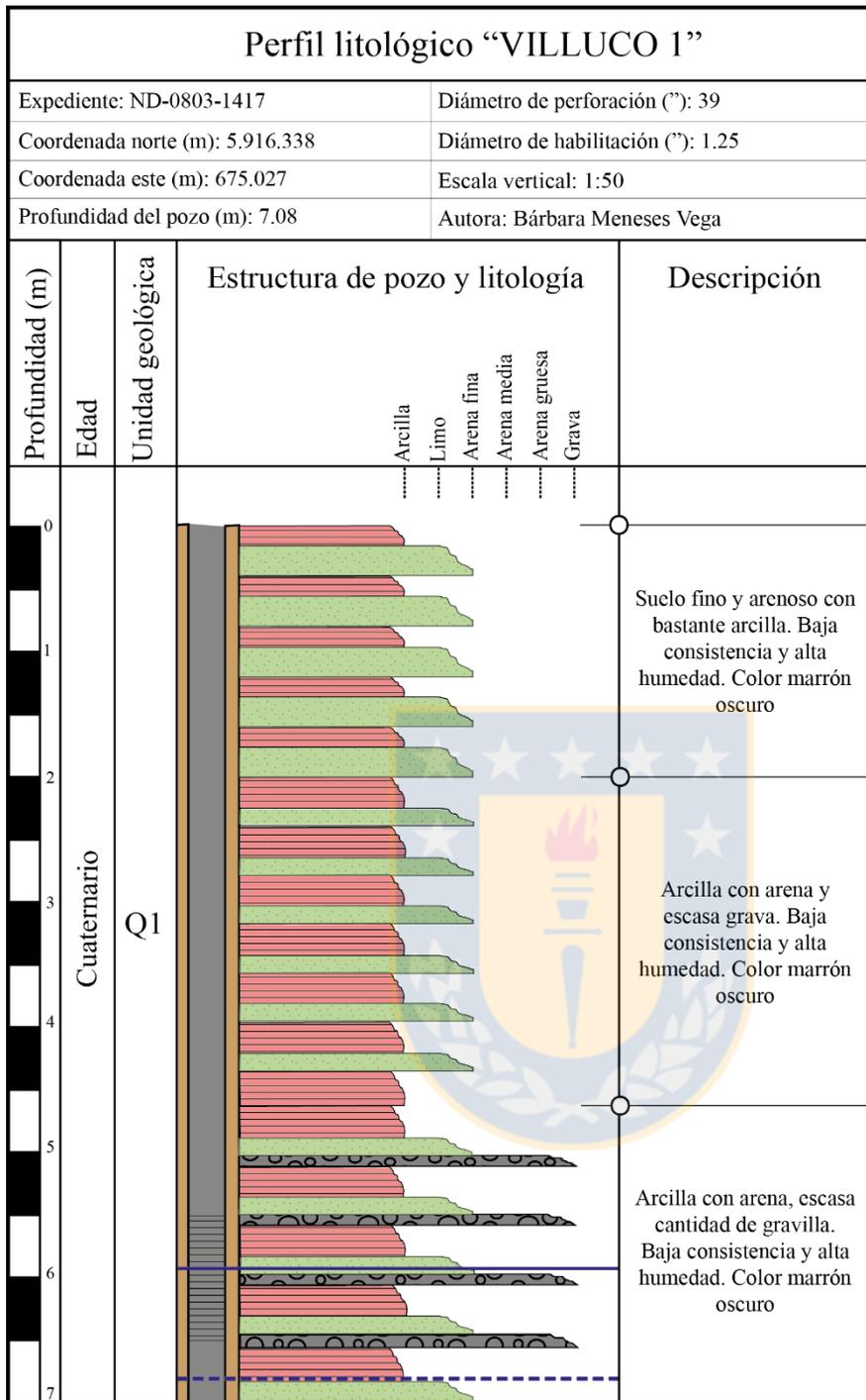


ANEXO II: ESTRATIGRAFÍA DE POZOS





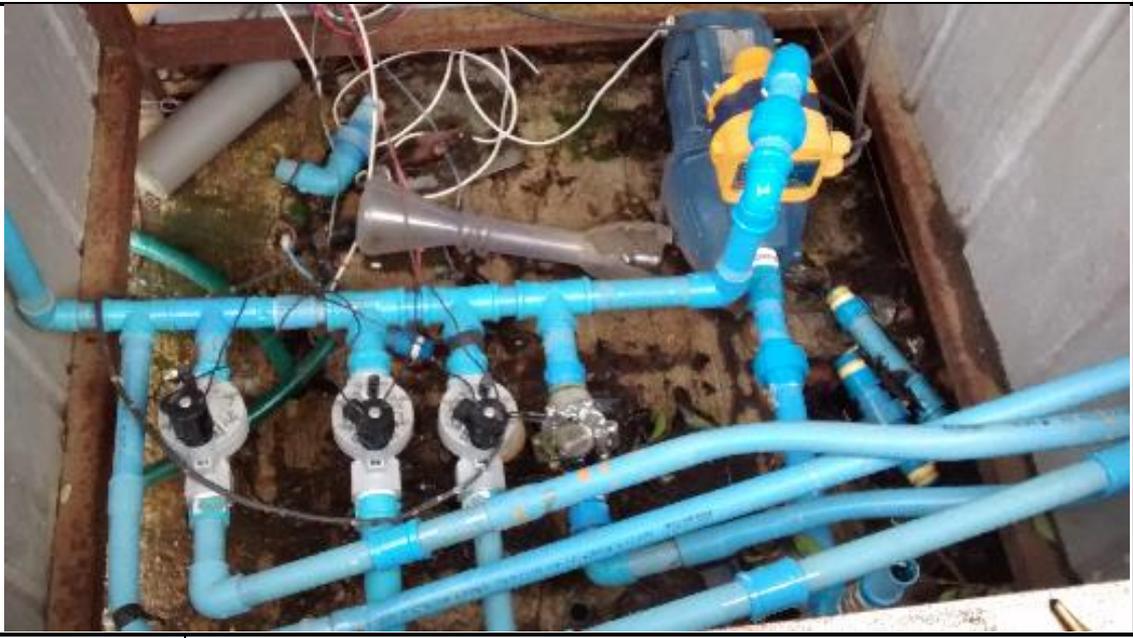




ANEXO III: CATASTRO DE POZOS Y MANANTIALES



ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO COMUNA DE CHIGUAYANTE						
REGISTRO DE POZOS						
1.- UBICACIÓN						
POZO		P1				
LOCALIDAD		Calle Prat				
PROPIETARIO		Particular				
ENTREVISTADO		Anónimo				
COORDENADAS UTM		NORTE	5912997			
		ESTE	675707			
DATUM	WGS1984	HUSO	18			
		COTA (m s.n.m.)	21.97			
2.- CARACTERÍSTICAS DEL POZO Y DIAGNÓSTICO A LA FECHA						
NIVEL ESTÁTICO (m)		4,01				
PROFUNDIDAD (m)		24				
DIÁMETRO (cm)		12				
NIVEL FREÁTICO (m s.n.m.)		17.96				
USO ACTUAL	RIEGO	X	POTABLE		INDUSTRIAL	
	SIN USO		OTRO			
3.- PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS						
pH		7,5				
TEMPERATURA (°C)		11,7				
SÓLIDOS DISUELTOS (ppm)		162				
CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (µS)		335				
4.- FRECUENCIA DE BOMBEO						
VERANO	MINUTOS	30	DÍAS	Lu-Do	MESES	Oct-Mar
INVIERNO	MINUTOS	30	DÍAS	Lu-Do	MESES	Abr-Sept
5.- OBSERVACIONES						
						
Fecha	Viernes 5 de Agosto, 2016					

ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO COMUNA DE CHIGUAYANTE						
REGISTRO DE POZOS						
1.- UBICACIÓN						
POZO		P2				
LOCALIDAD		Altos de Chiguayante				
PROPIETARIO		Particular				
ENTREVISTADO		Anónimo				
COORDENADAS UTM		NORTE	5912275			
		ESTE	674903			
DATUM	WGS1984	HUSO	18			
		COTA (m s.n.m.)	13.71			
2.- CARACTERÍSTICAS DEL POZO Y DIAGNÓSTICO A LA FECHA						
NIVEL ESTÁTICO (m)		3,94				
PROFUNDIDAD (m)		9.77				
DIÁMETRO (cm)		12				
NIVEL FREÁTICO (m s.n.m.)						
USO ACTUAL	RIEGO	X	POTABLE		INDUSTRIAL	
	SIN USO		OTRO	X	Piscina	
3.- PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS						
pH		6,95				
TEMPERATURA (°C)		12,1				
SÓLIDOS DISUELTOS (ppm)		201				
CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (µS)		402				
4.- FRECUENCIA DE BOMBEO						
VERANO	MINUTOS	60	DÍAS	Lu-Do	MESES	Oct-Mar
INVIERNO	MINUTOS	60	DÍAS	Lu-Do	MESES	Abr-Sept
5.- OBSERVACIONES						
						
Fecha	Viernes 5 de Agosto, 2016					

ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO COMUNA DE CHIGUAYANTE						
REGISTRO DE POZOS						
1.- UBICACIÓN						
POZO		P3				
LOCALIDAD		Manquimávida				
PROPIETARIO		Particular				
ENTREVISTADO		Anónimo				
COORDENADAS UTM		NORTE	5909876			
		ESTE	675850			
DATUM	WGS1984	HUSO	18			
		COTA (m s.n.m.)	28.93			
2.- CARACTERÍSTICAS DEL POZO Y DIAGNÓSTICO A LA FECHA						
NIVEL ESTÁTICO (m)		12,39				
PROFUNDIDAD (m)		15				
DIÁMETRO (cm)		120				
NIVEL FREÁTICO (m s.n.m.)		16.54				
USO ACTUAL	RIEGO		POTABLE		INDUSTRIAL	
	SIN USO	X	OTRO			
3.- PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS						
pH		7,49				
TEMPERATURA (°C)		15,8				
SÓLIDOS DISUELTOS (ppm)		329				
CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (µS)		655				
4.- FRECUENCIA DE BOMBEO						
VERANO	MINUTOS	-	DÍAS	-	MESES	Oct-Mar
INVIERNO	MINUTOS	-	DÍAS	-	MESES	Abr-Sept
5.- OBSERVACIONES		La estratigrafía corresponde a arena de río				
						
Fecha	Viernes 5 de Agosto, 2016					

ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO COMUNA DE CHIGUAYANTE						
REGISTRO DE POZOS						
1.- UBICACIÓN						
POZO		P4				
LOCALIDAD		Plaza de armas de Chiguayante				
PROPIETARIO		Particular				
ENTREVISTADO		Anónimo				
COORDENADAS UTM		NORTE	5913742			
		ESTE	675645			
DATUM	WGS1984	HUSO	18			
		COTA (m s.n.m.)	21.81			
2.- CARACTERÍSTICAS DEL POZO Y DIAGNÓSTICO A LA FECHA						
NIVEL ESTÁTICO (m)		8,5				
PROFUNDIDAD (m)		-				
DIÁMETRO (cm)		12				
NIVEL FREÁTICO (m s.n.m.)		13.31				
USO ACTUAL	RIEGO	X	POTABLE		INDUSTRIAL	
	SIN USO		OTRO			
3.- PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS						
pH		7,8				
TEMPERATURA (°C)		13,9				
SÓLIDOS DISUELTOS (ppm)		119				
CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (µS)		241				
4.- FRECUENCIA DE BOMBEO						
VERANO	MINUTOS	20	DÍAS	Lu-Do	MESES	Oct-Mar
INVIERNO	MINUTOS	-	DÍAS	-	MESES	Abr-Sept
5.- OBSERVACIONES						
						
Fecha	Viernes 5 de Agosto, 2016					

ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO COMUNA DE CHIGUAYANTE						
REGISTRO DE POZOS						
1.- UBICACIÓN						
POZO		P5				
LOCALIDAD		Calle La Alhambra				
PROPIETARIO		Particular				
ENTREVISTADO		Anónimo				
COORDENADAS UTM		NORTE	5913973			
		ESTE	675878			
DATUM	WGS1984	HUSO	18			
		COTA (m s.n.m.)	24.12			
2.- CARACTERÍSTICAS DEL POZO Y DIAGNÓSTICO A LA FECHA						
NIVEL ESTÁTICO (m)		1,45				
PROFUNDIDAD (m)		-				
DIÁMETRO (cm)		12				
NIVEL FREÁTICO (m s.n.m.)		22.67				
USO ACTUAL	RIEGO	X	POTABLE		INDUSTRIAL	
	SIN USO		OTRO			
3.- PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS						
pH		7,3				
TEMPERATURA (°C)		14,8				
SÓLIDOS DISUELTOS (ppm)		134				
CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (µS)		271				
4.- FRECUENCIA DE BOMBEO						
VERANO	MINUTOS	10	DÍAS	Lu-Do	MESES	Oct-Mar
INVIERNO	MINUTOS	10	DÍAS	Lu-Do	MESES	Abr-Sept
5.- OBSERVACIONES		Tiñe las paredes de color amarillo anaranjado, además de expeler olor a oxidado. Agua color amarillento.				
						
Fecha	Viernes 5 de Agosto, 2016					

ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO COMUNA DE CHIGUAYANTE						
REGISTRO DE POZOS						
1.- UBICACIÓN						
POZO		P6				
LOCALIDAD		Manantiales				
PROPIETARIO		Particular				
ENTREVISTADO		Anónimo				
COORDENADAS UTM		NORTE	5914313			
		ESTE	675522			
DATUM	WGS1984	HUSO	18			
		COTA (m s.n.m.)	13			
2.- CARACTERÍSTICAS DEL POZO Y DIAGNÓSTICO A LA FECHA						
NIVEL ESTÁTICO (m)		2,2				
PROFUNDIDAD (m)		12				
DIÁMETRO (cm)		12				
NIVEL FREÁTICO (m s.n.m.)		18.43				
USO ACTUAL	RIEGO	X	POTABLE		INDUSTRIAL	
	SIN USO		OTRO	X	Piscina	
3.- PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS						
pH		7,04				
TEMPERATURA (°C)		18,6				
SÓLIDOS DISUELTOS (ppm)		211				
CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (µS)		426				
4.- FRECUENCIA DE BOMBEO						
VERANO	MINUTOS	30	DÍAS	Lu-Do	MESES	Oct-Mar
INVIERNO	MINUTOS	-	DÍAS	-	MESES	Abr-Sept
5.- OBSERVACIONES		Jardinero atestigua que estratigrafía corresponde a arena.				
						
Fecha	Viernes 5 de Agosto, 2016					

ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO COMUNA DE CHIGUAYANTE						
REGISTRO DE POZOS						
1.- UBICACIÓN						
POZO		P7				
LOCALIDAD		Manantiales				
PROPIETARIO		Particular				
ENTREVISTADO		Anónimo				
COORDENADAS UTM		NORTE	5914400			
		ESTE	675701			
DATUM	WGS1984	HUSO	18			
		COTA (m s.n.m.)	22.78			
2.- CARACTERÍSTICAS DEL POZO Y DIAGNÓSTICO A LA FECHA						
NIVEL ESTÁTICO (m)		0,54				
PROFUNDIDAD (m)		-				
DIÁMETRO (cm)		12				
NIVEL FREÁTICO (m s.n.m.)		22.24				
USO ACTUAL	RIEGO	X	POTABLE		INDUSTRIAL	
	SIN USO		OTRO			
3.- PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS						
pH		7,93				
TEMPERATURA (°C)		13				
SÓLIDOS DISUELTOS (ppm)		94				
CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (µS)		188				
4.- FRECUENCIA DE BOMBEO						
VERANO	MINUTOS	20	DÍAS	Lu-Do	MESES	Oct-Mar
INVIERNO	MINUTOS	-	DÍAS	-	MESES	Abr-Sept
5.- OBSERVACIONES						
						
Fecha	Viernes 5 de Agosto, 2016					

ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO COMUNA DE CHIGUAYANTE						
REGISTRO DE POZOS						
1.- UBICACIÓN						
POZO		P8				
LOCALIDAD		Villuco				
PROPIETARIO		Particular				
ENTREVISTADO		Anónimo				
COORDENADAS UTM		NORTE	5916425			
		ESTE	675131			
DATUM	WGS1984	HUSO	18			
		COTA (m s.n.m.)	30.41			
2.- CARACTERÍSTICAS DEL POZO Y DIAGNÓSTICO A LA FECHA						
NIVEL ESTÁTICO (m)		6,53				
PROFUNDIDAD (m)		12				
DIÁMETRO (cm)		115				
NIVEL FREÁTICO (m s.n.m.)		23.88				
USO ACTUAL	RIEGO		POTABLE		INDUSTRIAL	
	SIN USO	X	OTRO			
3.- PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS						
pH		7,06				
TEMPERATURA (°C)		15,6				
SÓLIDOS DISUELTOS (ppm)		235				
CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (µS)		473				
4.- FRECUENCIA DE BOMBEO						
VERANO	MINUTOS	-	DÍAS	-	MESES	Oct-Mar
INVIERNO	MINUTOS	-	DÍAS	-	MESES	Abr-Sept
5.- OBSERVACIONES		<i>Siempre tiene agua (6m de columna de agua aprox.)</i>				
<i>Actualmente está en desuso por problemas técnicos. Jardinero atestigua que estratigrafía corresponde a maicillo.</i>						
						
Fecha	Martes 9 de Agosto, 2016					

ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO COMUNA DE CHIGUAYANTE						
REGISTRO DE POZOS						
1.- UBICACIÓN						
POZO		P9				
LOCALIDAD		Villuco				
PROPIETARIO		Particular				
ENTREVISTADO		Anónimo				
COORDENADAS UTM		NORTE	5916693			
		ESTE	675208			
DATUM	WGS1984	HUSO	18			
		COTA (m s.n.m.)	25.35			
2.- CARACTERÍSTICAS DEL POZO Y DIAGNÓSTICO A LA FECHA						
NIVEL ESTÁTICO (m)		0,38				
PROFUNDIDAD (m)		3				
DIÁMETRO (cm)		115				
NIVEL FREÁTICO (m s.n.m.)		24.87				
USO ACTUAL	RIEGO	X	POTABLE	X	INDUSTRIAL	
	SIN USO		OTRO	X	Ducha	
3.- PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS						
pH		7,21				
TEMPERATURA (°C)		12,4				
SÓLIDOS DISUELTOS (ppm)		93				
CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (µS)		190				
4.- FRECUENCIA DE BOMBEO						
VERANO	MINUTOS	20	DÍAS	Lu-Do	MESES	Oct-Mar
INVIERNO	MINUTOS	20	DÍAS	Lu-Do	MESES	Abr-Sept
5.- OBSERVACIONES		Dueño de casa atestigua que estratigrafía del suelo corresponde a fango, arcilla y arena. Para ducha, ésta se mezcla con agua potable.				
						
Fecha	Martes 9 de Agosto, 2016					

ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO COMUNA DE CHIGUAYANTE						
REGISTRO DE POZOS						
1.- UBICACIÓN						
POZO		P10				
LOCALIDAD		Villuco				
PROPIETARIO		Particular				
ENTREVISTADO		Anónimo				
COORDENADAS UTM		NORTE	5916338			
		ESTE	675027			
DATUM	WGS1984	HUSO	18			
		COTA (m s.n.m.)	21.74			
2.- CARACTERÍSTICAS DEL POZO Y DIAGNÓSTICO A LA FECHA						
NIVEL ESTÁTICO (m)		4,3				
PROFUNDIDAD (m)		8,5				
DIÁMETRO (cm)		120				
NIVEL FREÁTICO (m s.n.m.)		17.44				
USO ACTUAL	RIEGO	X	POTABLE	X	INDUSTRIAL	
	SIN USO		OTRO			
3.- PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS						
pH		6,77				
TEMPERATURA (°C)		17,1				
SÓLIDOS DISUELTOS (ppm)		241				
CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (µS)		482				
4.- FRECUENCIA DE BOMBEO						
VERANO	MINUTOS	720	DÍAS	Lu-Do	MESES	Oct-Mar
INVIERNO	MINUTOS	720	DÍAS	Lu-Do	MESES	Abr-Sept
5.- OBSERVACIONES		Dueño de casa atestigua que estratigrafía del suelo corresponde a maicillo. El agua pasa por una bomba que filtra, clora y potabiliza el agua.				
						
Fecha	Martes 9 de Agosto, 2016					

ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO COMUNA DE CHIGUAYANTE						
REGISTRO DE POZOS						
1.- UBICACIÓN						
POZO		P11				
LOCALIDAD		Villuco				
PROPIETARIO		Particular				
ENTREVISTADO		Anónimo				
COORDENADAS UTM		NORTE	5916315			
		ESTE	675028			
DATUM	WGS1984	HUSO	18			
		COTA (m s.n.m.)	22.39			
2.- CARACTERÍSTICAS DEL POZO Y DIAGNÓSTICO A LA FECHA						
NIVEL ESTÁTICO (m)		5,27				
PROFUNDIDAD (m)		7,16				
DIÁMETRO (cm)		120				
NIVEL FREÁTICO (m s.n.m.)		17.12				
USO ACTUAL	RIEGO	X	POTABLE	X	INDUSTRIAL	
	SIN USO		OTRO			
3.- PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS						
pH		6,79				
TEMPERATURA (°C)		17,1				
SÓLIDOS DISUELTOS (ppm)		240				
CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (µS)		484				
4.- FRECUENCIA DE BOMBEO						
VERANO	MINUTOS	720	DÍAS	Lu-Do	MESES	Oct-Mar
INVIERNO	MINUTOS	720	DÍAS	Lu-Do	MESES	Abr-Sept
5.- OBSERVACIONES		<i>Dueño de casa atestigua que estratigrafía del suelo corresponde a maicillo. El agua pasa por una bomba que filtra, clora y potabiliza el agua.</i>				
						
Fecha	Martes 9 de Agosto, 2016					

ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO COMUNA DE CHIGUAYANTE						
REGISTRO DE POZOS						
1.- UBICACIÓN						
POZO		P12				
LOCALIDAD		Plaza de armas de Chiguayante				
PROPIETARIO		Particular				
ENTREVISTADO		Anónimo				
COORDENADAS UTM		NORTE	5913540			
		ESTE	675869			
DATUM	WGS1984	HUSO	18			
		COTA (m s.n.m.)	28.34			
2.- CARACTERÍSTICAS DEL POZO Y DIAGNÓSTICO A LA FECHA						
NIVEL ESTÁTICO (m)		2				
PROFUNDIDAD (m)		-				
DIÁMETRO (cm)		120				
NIVEL FREÁTICO (m s.n.m.)		26.34				
USO ACTUAL	IRIEGO		POTABLE		INDUSTRIAL	
	SIN USO	X	OTRO			
3.- PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS						
pH		7,1				
TEMPERATURA (°C)		12,2				
SÓLIDOS DISUELTOS (ppm)		135				
CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (µS)		274				
4.- FRECUENCIA DE BOMBEO						
VERANO	MINUTOS	-	DÍAS	-	MESES	Oct-Mar
INVIERNO	MINUTOS	-	DÍAS	-	MESES	Abr-Sept
5.- OBSERVACIONES		Pozo sin uso desde hace 2 años.				
						
Fecha	Miércoles 10 de Agosto, 2016					

ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO COMUNA DE CHIGUAYANTE						
REGISTRO DE POZOS						
1.- UBICACIÓN						
POZO		P13				
LOCALIDAD		Calle Libertad				
PROPIETARIO		Particular				
ENTREVISTADO		Anónimo				
COORDENADAS UTM		NORTE	5910349			
		ESTE	675478			
DATUM	WGS1984	HUSO	18			
		COTA (m s.n.m.)	27.67			
2.- CARACTERÍSTICAS DEL POZO Y DIAGNÓSTICO A LA FECHA						
NIVEL ESTÁTICO (m)		16,4				
PROFUNDIDAD (m)		-				
DIÁMETRO (cm)		12				
NIVEL FREÁTICO (m s.n.m.)		11.27				
USO ACTUAL	RIEGO	X	POTABLE		INDUSTRIAL	
	SIN USO		OTRO			
3.- PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS						
pH		7,04				
TEMPERATURA (°C)		13,3				
SÓLIDOS DISUELTOS (ppm)		159				
CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (µS)		319				
4.- FRECUENCIA DE BOMBEO						
VERANO	MINUTOS	60	DÍAS	Lu-Do	MESES	Oct-Mar
INVIERNO	MINUTOS	-	DÍAS	-	MESES	Abr-Sept
5.- OBSERVACIONES		Agua con olor extraño y textura aceitosa.				
						
Fecha	Miércoles 10 de Agosto, 2016					

ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO COMUNA DE CHIGUAYANTE						
REGISTRO DE POZOS						
1.- UBICACIÓN						
POZO		P14				
LOCALIDAD		Altos de Chiguayante				
PROPIETARIO		Particular				
ENTREVISTADO		Anónimo				
COORDENADAS UTM		NORTE	5912249			
		ESTE	674903			
DATUM	WGS1984	HUSO	18			
		COTA (m s.n.m.)	13.53			
2.- CARACTERÍSTICAS DEL POZO Y DIAGNÓSTICO A LA FECHA						
NIVEL ESTÁTICO (m)		3,94				
PROFUNDIDAD (m)		-				
DIÁMETRO (cm)		6				
NIVEL FREÁTICO (m s.n.m.)		9.59				
USO ACTUAL	RIEGO	X	POTABLE		INDUSTRIAL	
	SIN USO		OTRO			
3.- PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS						
pH		6,78				
TEMPERATURA (°C)		15,7				
SÓLIDOS DISUELTOS (ppm)		160				
CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (µS)		320				
4.- FRECUENCIA DE BOMBEO						
VERANO	MINUTOS	30	DÍAS	Lu-Do	MESES	Oct-Mar
INVIERNO	MINUTOS	-	DÍAS	-	MESES	Abr-Sept
5.- OBSERVACIONES						
						
Fecha	Miércoles 10 de Agosto, 2016					

ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO COMUNA DE CHIGUAYANTE						
REGISTRO DE POZOS						
1.- UBICACIÓN						
POZO		P15				
LOCALIDAD		Colón				
PROPIETARIO		Particular				
ENTREVISTADO		Anónimo				
COORDENADAS UTM		NORTE	5914049			
		ESTE	675984			
DATUM	WGS1984	HUSO	18			
		COTA (m s.n.m.)	26.26			
2.- CARACTERÍSTICAS DEL POZO Y DIAGNÓSTICO A LA FECHA						
NIVEL ESTÁTICO (m)		7				
PROFUNDIDAD (m)		9				
DIÁMETRO (cm)		2,2				
NIVEL FREÁTICO (m s.n.m.)		19.25				
USO ACTUAL	RIEGO		POTABLE		INDUSTRIAL	
	SIN USO	X	OTRO			
3.- PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS						
pH		7,11				
TEMPERATURA (°C)		13,6				
SÓLIDOS DISUELTOS (ppm)		103				
CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (µS)		205				
4.- FRECUENCIA DE BOMBEO						
VERANO	MINUTOS	-	DÍAS	-	MESES	Oct-Mar
INVIERNO	MINUTOS	-	DÍAS	-	MESES	Abr-Sept
5.- OBSERVACIONES		<i>Puntera hecha recientemente. El agua tiene color marrón por tiempo retendido. Jardinero atestigua que la estratigrafía corresponde a maicillo y arena.</i>				
						
Fecha	Miércoles 10 de Agosto, 2016					

ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO COMUNA DE CHIGUAYANTE						
REGISTRO DE POZOS						
1.- UBICACIÓN						
POZO		P16				
LOCALIDAD		Manantiales				
PROPIETARIO		Particular				
ENTREVISTADO		Anónimo				
COORDENADAS UTM		NORTE	5914276			
		ESTE	675563			
DATUM	WGS1984	HUSO	18			
		COTA (m s.n.m.)	21.61			
2.- CARACTERÍSTICAS DEL POZO Y DIAGNÓSTICO A LA FECHA						
NIVEL ESTÁTICO (m)		2,2				
PROFUNDIDAD (m)		12				
DIÁMETRO (cm)		6				
NIVEL FREÁTICO (m s.n.m.)		19.41				
USO ACTUAL	RIEGO	X	POTABLE		INDUSTRIAL	
	SIN USO		OTRO			
3.- PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS						
pH		6,79				
TEMPERATURA (°C)		12,7				
SÓLIDOS DISUELTOS (ppm)		146				
CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (µS)		288				
4.- FRECUENCIA DE BOMBEO						
VERANO	MINUTOS	20	DÍAS	Lu-Ju	MESES	Oct-Mar
INVIERNO	MINUTOS	-	DÍAS	-	MESES	Abr-Sept
5.- OBSERVACIONES						
						
Fecha	Miércoles 10 de Agosto, 2016					

ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO COMUNA DE CHIGUAYANTE						
REGISTRO DE POZOS						
1.- UBICACIÓN						
POZO		P17				
LOCALIDAD		8 Oriente				
PROPIETARIO		Particular				
ENTREVISTADO		Anónimo				
COORDENADAS UTM		NORTE	5913606			
		ESTE	675249			
DATUM	WGS1984	HUSO	18			
		COTA (m s.n.m.)	12.39			
2.- CARACTERÍSTICAS DEL POZO Y DIAGNÓSTICO A LA FECHA						
NIVEL ESTÁTICO (m)		3,46				
PROFUNDIDAD (m)		6,71				
DIÁMETRO (cm)		6				
ALT. PIEZOMÉTRICA (m s.n.m.)		8.93				
USO ACTUAL	RIEGO	X	POTABLE		INDUSTRIAL	
	SIN USO		OTRO			
3.- PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS						
pH		6,92				
TEMPERATURA (°C)		17				
SÓLIDOS DISUELTOS (ppm)		219				
CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (µS)		440				
4.- FRECUENCIA DE BOMBEO						
VERANO	MINUTOS	120	DÍAS	Lu-Do	MESES	Oct-Mar
INVIERNO	MINUTOS	-	DÍAS	-	MESES	Abr-Sept
5.- OBSERVACIONES		Agua de color gris. Riego de 6 lt por metro. Dueño de casa atestigua que estratigrafía del suelo corresponde sólo a arena.				
						
Fecha		Jueves 11 de Agosto, 2016				

ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO COMUNA DE CHIGUAYANTE						
REGISTRO DE POZOS						
1.- UBICACIÓN						
POZO		P18				
LOCALIDAD		Valle La Piedra				
PROPIETARIO		Terminal de buses Las Galaxias				
ENTREVISTADO		Anónimo				
COORDENADAS UTM		NORTE	5908984			
		ESTE	677020			
DATUM	WGS1984	HUSO	18			
		COTA (m s.n.m.)	29.53			
2.- CARACTERÍSTICAS DEL POZO Y DIAGNÓSTICO A LA FECHA						
NIVEL ESTÁTICO (m)		14,44				
PROFUNDIDAD (m)		20				
DIÁMETRO (cm)		120				
NIVEL FREÁTICO (m s.n.m.)		15.09				
USO ACTUAL	RIEGO	X	POTABLE		INDUSTRIAL	
	SIN USO		OTRO			
3.- PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS						
pH		7,30				
TEMPERATURA (°C)		15,3				
SÓLIDOS DISUELTOS (ppm)		170				
CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (µS)		358				
4.- FRECUENCIA DE BOMBEO						
VERANO	MINUTOS	180	DÍAS	Lu-Ju	MESES	Oct-Mar
INVIERNO	MINUTOS	-	DÍAS	-	MESES	Abr-Sept
5.- OBSERVACIONES						
						
Fecha	Jueves 11 de Agosto, 2016					

ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO COMUNA DE CHIGUAYANTE						
REGISTRO DE POZOS						
1.- UBICACIÓN						
POZO		P19				
LOCALIDAD		Manuel Rodríguez				
PROPIETARIO		Indama				
ENTREVISTADO		Anónimo				
COORDENADAS UTM		NORTE	5909061			
		ESTE	676852			
DATUM	WGS1984	HUSO	18			
		COTA (m s.n.m.)	30.79			
2.- CARACTERÍSTICAS DEL POZO Y DIAGNÓSTICO A LA FECHA						
NIVEL ESTÁTICO (m)		13,34				
PROFUNDIDAD (m)		20				
DIÁMETRO (cm)		120				
NIVEL FREÁTICO (m s.n.m.)		17.45				
USO ACTUAL	RIEGO	X	POTABLE		INDUSTRIAL	
	SIN USO		OTRO			
3.- PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS						
pH		7,45				
TEMPERATURA (°C)		17,7				
SÓLIDOS DISUELTOS (ppm)		105				
CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (µS)		212				
4.- FRECUENCIA DE BOMBEO						
VERANO	MINUTOS	240	DÍAS	Lu-Do	MESES	Oct-Mar
INVIERNO	MINUTOS	-	DÍAS	-	MESES	Abr-Sept
5.- OBSERVACIONES		Trabajador atestigua que estratigrafía del suelo corresponde a limo ("borde río").				
						
Fecha	Jueves 11 de Agosto, 2016					

ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO COMUNA DE CHIGUAYANTE						
REGISTRO DE POZOS						
1.- UBICACIÓN						
POZO		P20				
LOCALIDAD		Manquimávida				
PROPIETARIO		Particular				
ENTREVISTADO		Anónimo				
COORDENADAS UTM		NORTE	5909973			
		ESTE	676575			
DATUM	WGS1984	HUSO	18			
		COTA (m s.n.m.)	29.48			
2.- CARACTERÍSTICAS DEL POZO Y DIAGNÓSTICO A LA FECHA						
NIVEL ESTÁTICO (m)		11				
PROFUNDIDAD (m)		16				
DIÁMETRO (cm)		120				
NIVEL FREÁTICO (m s.n.m.)		18.48				
USO ACTUAL	RIEGO	X	POTABLE	X	INDUSTRIAL	
	SIN USO		OTRO			
3.- PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS						
pH		7,37				
TEMPERATURA (°C)		15,3				
SÓLIDOS DISUELTOS (ppm)		114				
CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (µS)		226				
4.- FRECUENCIA DE BOMBEO						
VERANO	MINUTOS	360	DÍAS	Lu-Do	MESES	Oct-Mar
INVIERNO	MINUTOS	360	DÍAS	Lu-Do	MESES	Abr-Sept
5.- OBSERVACIONES						
						
Fecha	Jueves 11 de Agosto, 2016					

ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO COMUNA DE CHIGUAYANTE						
REGISTRO DE POZOS						
1.- UBICACIÓN						
POZO		P21				
LOCALIDAD		Coquimbo				
PROPIETARIO		Particular				
ENTREVISTADO		Anónimo				
COORDENADAS UTM		NORTE	5909769			
		ESTE	677135			
DATUM	WGS1984	HUSO	18			
		COTA (m s.n.m.)	27.43			
2.- CARACTERÍSTICAS DEL POZO Y DIAGNÓSTICO A LA FECHA						
NIVEL ESTÁTICO (m)		8,34				
PROFUNDIDAD (m)		11				
DIÁMETRO (cm)		90				
NIVEL FREÁTICO (m s.n.m.)		19.09				
USO ACTUAL	RIEGO		POTABLE		INDUSTRIAL	
	SIN USO	X	OTRO			
3.- PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS						
pH		7,53				
TEMPERATURA (°C)		14,6				
SÓLIDOS DISUELTOS (ppm)		202				
CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (µS)		409				
4.- FRECUENCIA DE BOMBEO						
VERANO	MINUTOS	-	DÍAS	-	MESES	Oct-Mar
INVIERNO	MINUTOS	-	DÍAS	-	MESES	Abr-Sept
5.- OBSERVACIONES						
						
Fecha	Viernes 12 de Agosto, 2016					

ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO COMUNA DE CHIGUAYANTE						
REGISTRO DE POZOS						
1.- UBICACIÓN						
POZO		P22				
LOCALIDAD		Coquimbo				
PROPIETARIO		Particular				
ENTREVISTADO		Anónimo				
COORDENADAS UTM		NORTE	5909769			
		ESTE	676984			
DATUM	WGS1984	HUSO	18			
		COTA (m s.n.m.)	30.66			
2.- CARACTERÍSTICAS DEL POZO Y DIAGNÓSTICO A LA FECHA						
NIVEL ESTÁTICO (m)		12,22				
PROFUNDIDAD (m)		13				
DIÁMETRO (cm)		120				
NIVEL FREÁTICO (m s.n.m.)		18.44				
USO ACTUAL	RIEGO	X	POTABLE		INDUSTRIAL	
	SIN USO		OTRO			
3.- PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS						
pH		7,51				
TEMPERATURA (°C)		13,4				
SÓLIDOS DISUELTOS (ppm)		125				
CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (µS)		253				
4.- FRECUENCIA DE BOMBEO						
VERANO	MINUTOS	60	DÍAS	Lu-Do	MESES	Oct-Mar
INVIERNO	MINUTOS	-	DÍAS	-	MESES	Abr-Sept
5.- OBSERVACIONES						
						
Fecha	Viernes 12 de Agosto, 2016					

ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO COMUNA DE CHIGUAYANTE						
REGISTRO DE POZOS						
1.- UBICACIÓN						
POZO		P23				
LOCALIDAD		Santo Domingo				
PROPIETARIO		Particular				
ENTREVISTADO		Anónimo				
COORDENADAS UTM		NORTE	5911506			
		ESTE	676224			
DATUM	WGS1984	HUSO	18			
		COTA (m s.n.m.)	22.32			
2.- CARACTERÍSTICAS DEL POZO Y DIAGNÓSTICO A LA FECHA						
NIVEL ESTÁTICO (m)		3,69				
PROFUNDIDAD (m)		5				
DIÁMETRO (cm)		120				
NIVEL FREÁTICO (m s.n.m.)		18.63				
USO ACTUAL	RIEGO		POTABLE		INDUSTRIAL	
	SIN USO	X	OTRO			
3.- PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS						
pH		7,24				
TEMPERATURA (°C)		14,4				
SÓLIDOS DISUELTOS (ppm)		270				
CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (µS)		539				
4.- FRECUENCIA DE BOMBEO						
VERANO	MINUTOS	-	DÍAS	-	MESES	Oct-Mar
INVIERNO	MINUTOS	-	DÍAS	-	MESES	Abr-Sept
5.- OBSERVACIONES		Dueño de casa atestigua que estratigrafía del suelo corresponde a arcilla y arena (este último en su mayoría).				
						
Fecha	Viernes 12 de Agosto, 2016					

ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO COMUNA DE CHIGUAYANTE						
REGISTRO DE POZOS						
1.- UBICACIÓN						
POZO		P24				
LOCALIDAD		8 Oriente				
PROPIETARIO		Particular				
ENTREVISTADO		Anónimo				
COORDENADAS UTM		NORTE	5913984			
		ESTE	675304			
DATUM	WGS1984	HUSO	18			
		COTA (m s.n.m.)	12.98			
2.- CARACTERÍSTICAS DEL POZO Y DIAGNÓSTICO A LA FECHA						
NIVEL ESTÁTICO (m)		3,62				
PROFUNDIDAD (m)		11				
DIÁMETRO (cm)		6				
NIVEL FREÁTICO (m s.n.m.)		9.36				
USO ACTUAL	RIEGO	X	POTABLE		INDUSTRIAL	
	SIN USO		OTRO			
3.- PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS						
pH		7,43				
TEMPERATURA (°C)		12,3				
SÓLIDOS DISUELTOS (ppm)		217				
CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (µS)		434				
4.- FRECUENCIA DE BOMBEO						
VERANO	MINUTOS	120	DÍAS	Lu-Ju	MESES	Oct-Mar
INVIERNO	MINUTOS	-	DÍAS	-	MESES	Abr-Sept
5.- OBSERVACIONES		Dueño atestigua que estratigrafía del suelo corresponde a arena.				
						
Fecha	Viernes 12 de Agosto, 2016					

ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO COMUNA DE CHIGUAYANTE						
REGISTRO DE POZOS						
1.- UBICACIÓN						
POZO		P25				
LOCALIDAD		Esperanza				
PROPIETARIO		Particular				
ENTREVISTADO		Anónimo				
COORDENADAS UTM		NORTE	5909032			
		ESTE	676252			
DATUM	WGS1984	HUSO	18			
		COTA (m s.n.m.)	28.32			
2.- CARACTERÍSTICAS DEL POZO Y DIAGNÓSTICO A LA FECHA						
NIVEL ESTÁTICO (m)		11,23				
PROFUNDIDAD (m)		18				
DIÁMETRO (cm)		250				
NIVEL FREÁTICO (m s.n.m.)		17.09				
USO ACTUAL	RIEGO	X	POTABLE		INDUSTRIAL	
	SIN USO		OTRO			
3.- PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS						
pH		7,52				
TEMPERATURA (°C)		11,7				
SÓLIDOS DISUELTOS (ppm)		162				
CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (µS)		356				
4.- FRECUENCIA DE BOMBEO						
VERANO	MINUTOS	60	DÍAS	Lu-Do	MESES	Oct-Mar
INVIERNO	MINUTOS	-	DÍAS	-	MESES	Abr-Sept
5.- OBSERVACIONES						
						
Fecha	Martes 16 de Agosto, 2016					

ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO COMUNA DE CHIGUAYANTE						
REGISTRO DE POZOS						
1.- UBICACIÓN						
POZO		P26				
LOCALIDAD		Pasaje Higueras				
PROPIETARIO		Particular				
ENTREVISTADO		Anónimo				
COORDENADAS UTM		NORTE	5909943			
		ESTE	676893			
DATUM	WGS1984	HUSO	18			
		COTA (m s.n.m.)	29.33			
2.- CARACTERÍSTICAS DEL POZO Y DIAGNÓSTICO A LA FECHA						
NIVEL ESTÁTICO (m)		10,33				
PROFUNDIDAD (m)		18				
DIÁMETRO (cm)		120				
NIVEL FREÁTICO (m s.n.m.)		19				
USO ACTUAL	RIEGO		POTABLE		INDUSTRIAL	
	SIN USO	X	OTRO			
3.- PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS						
pH		7,36				
TEMPERATURA (°C)		13,4				
SÓLIDOS DISUELTOS (ppm)		171				
CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (µS)		306				
4.- FRECUENCIA DE BOMBEO						
VERANO	MINUTOS	-	DÍAS	-	MESES	Oct-Mar
INVIERNO	MINUTOS	-	DÍAS	-	MESES	Abr-Sept
5.- OBSERVACIONES						
						
Fecha	Martes 16 de Agosto, 2016					

ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO COMUNA DE CHIGUAYANTE						
REGISTRO DE POZOS						
1.- UBICACIÓN						
POZO		P27				
LOCALIDAD		Manquimávida				
PROPIETARIO		Particular				
ENTREVISTADO		Anónimo				
COORDENADAS UTM		NORTE	5909885			
		ESTE	676367			
DATUM	WGS1984	HUSO	18			
		COTA (m s.n.m.)	29.85			
2.- CARACTERÍSTICAS DEL POZO Y DIAGNÓSTICO A LA FECHA						
NIVEL ESTÁTICO (m)		11,74				
PROFUNDIDAD (m)		12				
DIÁMETRO (cm)		120				
NIVEL FREÁTICO (m s.n.m.)		18.11				
USO ACTUAL	RIEGO	X	POTABLE		INDUSTRIAL	
	SIN USO		OTRO			
3.- PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS						
pH		7,71				
TEMPERATURA (°C)		14,4				
SÓLIDOS DISUELTOS (ppm)		142				
CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (µS)		285				
4.- FRECUENCIA DE BOMBEO						
VERANO	MINUTOS	60	DÍAS	Lu-Do	MESES	Oct-Mar
INVIERNO	MINUTOS	-	DÍAS	-	MESES	Abr-Sept
5.- OBSERVACIONES		Dueño atestigua que estratigrafía del suelo corresponde a arena y arcilla.				
						
Fecha	Martes 16 de Agosto, 2016					

ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO COMUNA DE CHIGUAYANTE						
REGISTRO DE POZOS						
1.- UBICACIÓN						
POZO		P28				
LOCALIDAD		Los Castaños				
PROPIETARIO		Particular				
ENTREVISTADO		Anónimo				
COORDENADAS UTM		NORTE	5910113			
		ESTE	676527			
DATUM	WGS1984	HUSO	18			
		COTA (m s.n.m.)	29.19			
2.- CARACTERÍSTICAS DEL POZO Y DIAGNÓSTICO A LA FECHA						
NIVEL ESTÁTICO (m)		11,39				
PROFUNDIDAD (m)		12				
DIÁMETRO (cm)		200				
NIVEL FREÁTICO (m s.n.m.)		17.8				
USO ACTUAL	RIEGO	X	POTABLE	X	INDUSTRIAL	
	SIN USO		OTRO	X	Ducha	
3.- PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS						
pH		7,29				
TEMPERATURA (°C)		14,7				
SÓLIDOS DISUELTOS (ppm)		142				
CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (µS)		286				
4.- FRECUENCIA DE BOMBEO						
VERANO	MINUTOS	960	DÍAS	Lu-Do	MESES	Oct-Mar
INVIERNO	MINUTOS	960	DÍAS	Lu-Do	MESES	Abr-Sept
5.- OBSERVACIONES						
						
Fecha	Martes 16 de Agosto, 2016					

ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO COMUNA DE CHIGUAYANTE						
REGISTRO DE POZOS						
1.- UBICACIÓN						
POZO		P29				
LOCALIDAD		Los Notros				
PROPIETARIO		Particular				
ENTREVISTADO		Anónimo				
COORDENADAS UTM		NORTE	5910275			
		ESTE	676532			
DATUM	WGS1984	HUSO	18			
		COTA (m s.n.m.)	28.89			
2.- CARACTERÍSTICAS DEL POZO Y DIAGNÓSTICO A LA FECHA						
NIVEL ESTÁTICO (m)		10,81				
PROFUNDIDAD (m)		11,61				
DIÁMETRO (cm)		120				
NIVEL FREÁTICO (m s.n.m.)		18.08				
USO ACTUAL	RIEGO	X	POTABLE		INDUSTRIAL	
	SIN USO		OTRO			
3.- PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS						
pH		7,54				
TEMPERATURA (°C)		13,8				
SÓLIDOS DISUELTOS (ppm)		94				
CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (µS)		183				
4.- FRECUENCIA DE BOMBEO						
VERANO	MINUTOS	10	DÍAS	Lu-Do	MESES	Oct-Mar
INVIERNO	MINUTOS	-	DÍAS	-	MESES	Abr-Sept
5.- OBSERVACIONES		Dueño atestigua que estratigrafía del suelo corresponde a arena.				
						
Fecha	Martes 16 de Agosto, 2016					

ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO COMUNA DE CHIGUAYANTE						
REGISTRO DE POZOS						
1.- UBICACIÓN						
POZO		P30				
LOCALIDAD		Pinares				
PROPIETARIO		Particular				
ENTREVISTADO		Anónimo				
COORDENADAS UTM		NORTE	5910811			
		ESTE	676039			
DATUM	WGS1984	HUSO	18			
		COTA (m s.n.m.)	28.41			
2.- CARACTERÍSTICAS DEL POZO Y DIAGNÓSTICO A LA FECHA						
NIVEL ESTÁTICO (m)		11,13				
PROFUNDIDAD (m)		18				
DIÁMETRO (cm)		120				
NIVEL FREÁTICO (m s.n.m.)		17.28				
USO ACTUAL	RIEGO		POTABLE		INDUSTRIAL	
	SIN USO	X	OTRO			
3.- PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS						
pH		7,90				
TEMPERATURA (°C)		15,4				
SÓLIDOS DISUELTOS (ppm)		78				
CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (µS)		156				
4.- FRECUENCIA DE BOMBEO						
VERANO	MINUTOS	-	DÍAS	-	MESES	Oct-Mar
INVIERNO	MINUTOS	-	DÍAS	-	MESES	Abr-Sept
5.- OBSERVACIONES						
						
Fecha	Miércoles 17 de Agosto, 2016					

ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO COMUNA DE CHIGUAYANTE						
REGISTRO DE POZOS						
1.- UBICACIÓN						
POZO		P31				
LOCALIDAD		Cochrane				
PROPIETARIO		Particular				
ENTREVISTADO		Anónimo				
COORDENADAS UTM		NORTE	5911914			
		ESTE	675543			
DATUM	WGS1984	HUSO	18			
		COTA (m s.n.m.)	25.44			
2.- CARACTERÍSTICAS DEL POZO Y DIAGNÓSTICO A LA FECHA						
NIVEL ESTÁTICO (m)		12,7				
PROFUNDIDAD (m)		18				
DIÁMETRO (cm)		120				
NIVEL FREÁTICO (m s.n.m.)		12.74				
USO ACTUAL	RIEGO		POTABLE		INDUSTRIAL	
	SIN USO	X	OTRO			
3.- PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS						
pH		7,7				
TEMPERATURA (°C)		16				
SÓLIDOS DISUELTOS (ppm)		144				
CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (µS)		289				
4.- FRECUENCIA DE BOMBEO						
VERANO	MINUTOS	-	DÍAS	-	MESES	Oct-Mar
INVIERNO	MINUTOS	-	DÍAS	-	MESES	Abr-Sept
5.- OBSERVACIONES		Dueño de casa atestigua que estratigrafía del suelo corresponde a arena.				
						
Fecha	Miércoles 17 de Agosto, 2016					

ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO COMUNA DE CHIGUAYANTE						
REGISTRO DE POZOS						
1.- UBICACIÓN						
POZO		P32				
LOCALIDAD		Calle San Martin				
PROPIETARIO		Particular				
ENTREVISTADO		Anónimo				
COORDENADAS UTM		NORTE	5911272			
		ESTE	676609			
DATUM	WGS1984	HUSO	18			
		COTA (m s.n.m.)	21.91			
2.- CARACTERÍSTICAS DEL POZO Y DIAGNÓSTICO A LA FECHA						
NIVEL ESTÁTICO (m)		0,63				
PROFUNDIDAD (m)		2,5				
DIÁMETRO (cm)		120				
NIVEL FREÁTICO (m s.n.m.)		21.28				
USO ACTUAL	RIEGO	X	POTABLE		INDUSTRIAL	
	SIN USO		OTRO			
3.- PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS						
pH		7,71				
TEMPERATURA (°C)		13,4				
SÓLIDOS DISUELTOS (ppm)		109				
CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (µS)		222				
4.- FRECUENCIA DE BOMBEO						
VERANO	MINUTOS	30	DÍAS	Lu-Do	MESES	Oct-Mar
INVIERNO	MINUTOS	-	DÍAS	-	MESES	Abr-Sept
5.- OBSERVACIONES						
						
Fecha	Miércoles 17 de Agosto, 2016					

ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO COMUNA DE CHIGUAYANTE						
REGISTRO DE POZOS						
1.- UBICACIÓN						
POZO		P33				
LOCALIDAD		Calle San Martin				
PROPIETARIO		Particular				
ENTREVISTADO		Anónimo				
COORDENADAS UTM		NORTE	5911983			
		ESTE	676085			
DATUM	WGS1984	HUSO	18			
		COTA (m s.n.m.)	19.12			
2.- CARACTERÍSTICAS DEL POZO Y DIAGNÓSTICO A LA FECHA						
NIVEL ESTÁTICO (m)		1,17				
PROFUNDIDAD (m)		2,3				
DIÁMETRO (cm)		200				
NIVEL FREÁTICO (m s.n.m.)		17.95				
USO ACTUAL	RIEGO	X	POTABLE		INDUSTRIAL	
	SIN USO		OTRO			
3.- PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS						
pH		7,48				
TEMPERATURA (°C)		13,1				
SÓLIDOS DISUELTOS (ppm)		89				
CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (µS)		178				
4.- FRECUENCIA DE BOMBEO						
VERANO	MINUTOS	5	DÍAS	Lu-Do	MESES	Oct-Mar
INVIERNO	MINUTOS	-	DÍAS	-	MESES	Abr-Sept
5.- OBSERVACIONES						
						
Fecha	Miércoles 17 de Agosto, 2016					

ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO COMUNA DE CHIGUAYANTE						
REGISTRO DE POZOS						
1.- UBICACIÓN						
POZO		P34				
LOCALIDAD		Calle Los Castaños				
PROPIETARIO		Particular				
ENTREVISTADO		Anónimo				
COORDENADAS UTM		NORTE	5909846			
		ESTE	676017			
DATUM	WGS1984	HUSO	18			
		COTA (m s.n.m.)	29.57			
2.- CARACTERÍSTICAS DEL POZO Y DIAGNÓSTICO A LA FECHA						
NIVEL ESTÁTICO (m)		12,7				
PROFUNDIDAD (m)		18				
DIÁMETRO (cm)		120				
NIVEL FREÁTICO (m s.n.m.)		16.87				
USO ACTUAL	RIEGO	X	POTABLE		INDUSTRIAL	
	SIN USO		OTRO	X	Lavadora	
3.- PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS						
pH		6,89				
TEMPERATURA (°C)		16,3				
SÓLIDOS DISUELTOS (ppm)		167				
CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (µS)		337				
4.- FRECUENCIA DE BOMBEO						
VERANO	MINUTOS	10	DÍAS	Lu-Do	MESES	Oct-Mar
INVIERNO	MINUTOS	-	DÍAS	-	MESES	Abr-Sept
5.- OBSERVACIONES						
						
Fecha	Jueves 18 de Agosto, 2016					

ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO COMUNA DE CHIGUAYANTE						
REGISTRO DE POZOS						
1.- UBICACIÓN						
POZO		P35				
LOCALIDAD		Altos de Chiguayante				
PROPIETARIO		Estadio Municipal				
ENTREVISTADO		Anónimo				
COORDENADAS UTM		NORTE	5912351			
		ESTE	675502			
DATUM	WGS1984	HUSO	18			
		COTA (m s.n.m.)	23.73			
2.- CARACTERÍSTICAS DEL POZO Y DIAGNÓSTICO A LA FECHA						
NIVEL ESTÁTICO (m)		11,9				
PROFUNDIDAD (m)		18				
DIÁMETRO (cm)		20				
NIVEL FREÁTICO (m s.n.m.)		11.83				
USO ACTUAL	RIEGO	X	POTABLE		INDUSTRIAL	
	SIN USO		OTRO			
3.- PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS						
pH		6,84				
TEMPERATURA (°C)		14,7				
SÓLIDOS DISUELTOS (ppm)		105				
CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (µS)		206				
4.- FRECUENCIA DE BOMBEO						
VERANO	MINUTOS	480	DÍAS	Lu-Do	MESES	Oct-Mar
INVIERNO	MINUTOS	-	DÍAS	-	MESES	Abr-Sept
5.- OBSERVACIONES						
						
Fecha	Jueves 18 de Agosto, 2016					

ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO COMUNA DE CHIGUAYANTE						
REGISTRO DE POZOS						
1.- UBICACIÓN						
POZO		P36				
LOCALIDAD		Leonera				
PROPIETARIO		Terminal de buses Vía Universo				
ENTREVISTADO		Anónimo				
COORDENADAS UTM		NORTE	5907875			
		ESTE	677202			
DATUM	WGS1984	HUSO	18			
		COTA (m s.n.m.)	29.02			
2.- CARACTERÍSTICAS DEL POZO Y DIAGNÓSTICO A LA FECHA						
NIVEL ESTÁTICO (m)		10,15				
PROFUNDIDAD (m)		-				
DIÁMETRO (cm)		120				
NIVEL FREÁTICO (m s.n.m.)		18.87				
USO ACTUAL	RIEGO	X	POTABLE		INDUSTRIAL	
	SIN USO		OTRO	X	Baño	
3.- PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS						
pH		7,54				
TEMPERATURA (°C)		12,3				
SÓLIDOS DISUELTOS (ppm)		69				
CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (µS)		152				
4.- FRECUENCIA DE BOMBEO						
VERANO	MINUTOS	960	DÍAS	Lu-Do	MESES	Oct-Mar
INVIERNO	MINUTOS	-	DÍAS	-	MESES	Abr-Sept
5.- OBSERVACIONES						
						
Fecha	Viernes 19 de Agosto, 2016					

ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO COMUNA DE CHIGUAYANTE						
REGISTRO DE POZOS						
1.- UBICACIÓN						
POZO		P37				
LOCALIDAD		Leonera				
PROPIETARIO		Particular				
ENTREVISTADO		Anónimo				
COORDENADAS UTM		NORTE	5908099			
		ESTE	677209			
DATUM	WGS1984	HUSO	18			
		COTA (m s.n.m.)	23.88			
2.- CARACTERÍSTICAS DEL POZO Y DIAGNÓSTICO A LA FECHA						
NIVEL ESTÁTICO (m)		3,10				
PROFUNDIDAD (m)		15				
DIÁMETRO (cm)		120				
NIVEL FREÁTICO (m s.n.m.)		20.78				
USO ACTUAL	RIEGO		POTABLE		INDUSTRIAL	
	SIN USO		OTRO	X	Ganadería, lavadora	
3.- PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS						
pH		6,81				
TEMPERATURA (°C)		13,7				
SÓLIDOS DISUELTOS (ppm)		364				
CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (µS)		728				
4.- FRECUENCIA DE BOMBEO						
VERANO	MINUTOS	30	DÍAS	Lu-Do	MESES	Oct-Mar
INVIERNO	MINUTOS	30	DÍAS	Lu-Do	MESES	Abr-Sept
5.- OBSERVACIONES		Agua levemente amarilla.				
						
Fecha	Viernes 19 de Agosto, 2016					

ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO COMUNA DE CHIGUAYANTE						
REGISTRO DE POZOS						
1.- UBICACIÓN						
POZO		P38				
LOCALIDAD						
PROPIETARIO		Parroquia San Pablo				
ENTREVISTADO		Anónimo				
COORDENADAS UTM		NORTE	5912775			
		ESTE	675822			
DATUM	WGS1984	HUSO	18			
		COTA (m s.n.m.)	21.68			
2.- CARACTERÍSTICAS DEL POZO Y DIAGNÓSTICO A LA FECHA						
NIVEL ESTÁTICO (m)		5.03				
PROFUNDIDAD (m)		15.76				
DIÁMETRO (cm)		0.12				
NIVEL FREÁTICO (m s.n.m.)		16.65				
USO ACTUAL	RIEGO	X	POTABLE		INDUSTRIAL	
	SIN USO		OTRO			
3.- PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS						
pH		6.91				
TEMPERATURA (°C)		9.8				
SÓLIDOS DISUELTOS (ppm)		147				
CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (µS)		292				
4.- FRECUENCIA DE BOMBEO						
VERANO	MINUTOS	30	DÍAS	Lu-Do	MESES	Oct-Mar
INVIERNO	MINUTOS	-	DÍAS	-	MESES	Abr-Sept
5.- OBSERVACIONES		Agua con leve olor a Hierro.				
						
Fecha	Viernes 26 de Agosto, 2016					

ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO COMUNA DE CHIGUAYANTE						
REGISTRO DE POZOS						
1.- UBICACIÓN						
POZO		P39				
LOCALIDAD		René Schneider				
PROPIETARIO		Particular				
ENTREVISTADO		Anónimo				
COORDENADAS UTM		NORTE	5912650			
		ESTE	676301			
DATUM	WGS1984	HUSO	18			
		COTA (m s.n.m.)	32.96			
2.- CARACTERÍSTICAS DEL POZO Y DIAGNÓSTICO A LA FECHA						
NIVEL ESTÁTICO (m)		0,50				
PROFUNDIDAD (m)		1,52				
DIÁMETRO (cm)		100				
NIVEL FREÁTICO (m s.n.m.)		32.46				
USO ACTUAL	RIEGO		POTABLE		INDUSTRIAL	
	SIN USO	X	OTRO			
3.- PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS						
pH		6,73				
TEMPERATURA (°C)		14,4				
SÓLIDOS DISUELTOS (ppm)		91				
CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (µS)		182				
4.- FRECUENCIA DE BOMBEO						
VERANO	MINUTOS	-	DÍAS	-	MESES	Oct-Mar
INVIERNO	MINUTOS	-	DÍAS	-	MESES	Abr-Sept
5.- OBSERVACIONES		Agua de color amarillo.				
						
Fecha	Viernes 26 de Agosto, 2016					

ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO COMUNA DE CHIGUAYANTE						
REGISTRO DE POZOS						
1.- UBICACIÓN						
POZO		P40				
LOCALIDAD						
PROPIETARIO		Iglesia Madres Paulinas				
ENTREVISTADO		Anónimo				
COORDENADAS UTM		NORTE	5910081			
		ESTE	677128			
DATUM	WGS1984	HUSO	18			
		COTA (m s.n.m.)	24.11			
2.- CARACTERÍSTICAS DEL POZO Y DIAGNÓSTICO A LA FECHA						
NIVEL ESTÁTICO (m)		4.13				
PROFUNDIDAD (m)		-				
DIÁMETRO (cm)		0.12				
NIVEL FREÁTICO (m s.n.m.)		19.98				
USO ACTUAL	RIEGO	X	POTABLE		INDUSTRIAL	
	SIN USO		OTRO			
3.- PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS						
pH		-				
TEMPERATURA (°C)		-				
SÓLIDOS DISUELTOS (ppm)		-				
CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (µS)		-				
4.- FRECUENCIA DE BOMBEO						
VERANO	MINUTOS	30	DÍAS	Lu-Do	MESES	Oct-Mar
INVIERNO	MINUTOS	-	DÍAS	-	MESES	Abr-Sept
5.- OBSERVACIONES						
						
Fecha	Lunes 29 de Agosto, 2016					

ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO COMUNA DE CHIGUAYANTE						
REGISTRO DE POZOS						
1.- UBICACIÓN						
POZO		P41				
LOCALIDAD		Los Aromos				
PROPIETARIO		Particular				
ENTREVISTADO		Anónimo				
COORDENADAS UTM		NORTE	5909357			
		ESTE	676020			
DATUM	WGS1984	HUSO	18			
		COTA (m s.n.m.)	28.31			
2.- CARACTERÍSTICAS DEL POZO Y DIAGNÓSTICO A LA FECHA						
NIVEL ESTÁTICO (m)		11.19				
PROFUNDIDAD (m)		11.3				
DIÁMETRO (cm)		120				
NIVEL FREÁTICO (m s.n.m.)		17.12				
USO ACTUAL	RIEGO		POTABLE		INDUSTRIAL	
	SIN USO	X	OTRO			
3.- PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS						
pH		7.2				
TEMPERATURA (°C)		17.1				
SÓLIDOS DISUELTOS (ppm)		170				
CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (µS)		336				
4.- FRECUENCIA DE BOMBEO						
VERANO	MINUTOS	-	DÍAS	-	MESES	Oct-Mar
INVIERNO	MINUTOS	-	DÍAS	-	MESES	Abr-Sept
5.- OBSERVACIONES						
						
Fecha	Lunes 29 de Agosto, 2016					

ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO COMUNA DE CHIGUAYANTE						
REGISTRO DE POZOS						
1.- UBICACIÓN						
POZO		P42				
LOCALIDAD		Los Aromos				
PROPIETARIO		Particular				
ENTREVISTADO		Anónimo				
COORDENADAS UTM		NORTE	5909737			
		ESTE	676646			
DATUM	WGS1984	HUSO	18			
		COTA (m s.n.m.)	29.88			
2.- CARACTERÍSTICAS DEL POZO Y DIAGNÓSTICO A LA FECHA						
NIVEL ESTÁTICO (m)		11.35				
PROFUNDIDAD (m)		11.62				
DIÁMETRO (cm)		120				
NIVEL FREÁTICO (m s.n.m.)		18.53				
USO ACTUAL	RIEGO	X	POTABLE		INDUSTRIAL	
	SIN USO		OTRO	X	Piscina	
3.- PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS						
pH		7.11				
TEMPERATURA (°C)		16.6				
SÓLIDOS DISUELTOS (ppm)		136				
CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (µS)		272				
4.- FRECUENCIA DE BOMBEO						
VERANO	MINUTOS	30	DÍAS	Lu-Do	MESES	Oct-Mar
INVIERNO	MINUTOS	-	DÍAS	-	MESES	Abr-Sept
5.- OBSERVACIONES						
						
Fecha	Lunes 29 de Agosto, 2016					

ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO COMUNA DE CHIGUAYANTE						
REGISTRO DE POZOS						
1.- UBICACIÓN						
POZO		P43				
LOCALIDAD		Progreso				
PROPIETARIO		Particular				
ENTREVISTADO		Anónimo				
COORDENADAS UTM		NORTE	5910208			
		ESTE	675927			
DATUM	WGS1984	HUSO	18			
		COTA (m s.n.m.)	29.31			
2.- CARACTERÍSTICAS DEL POZO Y DIAGNÓSTICO A LA FECHA						
NIVEL ESTÁTICO (m)		13.2				
PROFUNDIDAD (m)		14				
DIÁMETRO (cm)		120				
NIVEL FREÁTICO (m s.n.m.)		16.11				
USO ACTUAL	RIEGO	X	POTABLE		INDUSTRIAL	
	SIN USO		OTRO			
3.- PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS						
pH		7.41				
TEMPERATURA (°C)		16.8				
SÓLIDOS DISUELTOS (ppm)		137				
CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (µS)		272				
4.- FRECUENCIA DE BOMBEO						
VERANO	MINUTOS	60	DÍAS	Lu-Do	MESES	Oct-Mar
INVIERNO	MINUTOS	-	DÍAS	-	MESES	Abr-Sept
5.- OBSERVACIONES						
						
Fecha	Lunes 29 de Agosto, 2016					

ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO COMUNA DE CHIGUAYANTE						
REGISTRO DE POZOS						
1.- UBICACIÓN						
POZO		P44				
LOCALIDAD		Progreso				
PROPIETARIO		Particular				
ENTREVISTADO		Anónimo				
COORDENADAS UTM		NORTE	5910552			
		ESTE	676474			
DATUM	WGS1984	HUSO	18			
		COTA (m s.n.m.)	27.88			
2.- CARACTERÍSTICAS DEL POZO Y DIAGNÓSTICO A LA FECHA						
NIVEL ESTÁTICO (m)		9.62				
PROFUNDIDAD (m)		-				
DIÁMETRO (cm)		120				
NIVEL FREÁTICO (m s.n.m.)		18.26				
USO ACTUAL	RIEGO		POTABLE		INDUSTRIAL	
	SIN USO	X	OTRO			
3.- PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS						
pH		-				
TEMPERATURA (°C)		-				
SÓLIDOS DISUELTOS (ppm)		-				
CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (µS)		-				
4.- FRECUENCIA DE BOMBEO						
VERANO	MINUTOS	-	DÍAS	-	MESES	Oct-Mar
INVIERNO	MINUTOS	-	DÍAS	-	MESES	Abr-Sept
5.- OBSERVACIONES						
						
Fecha	Miércoles 31 de Agosto, 2016					

ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO COMUNA DE CHIGUAYANTE						
REGISTRO DE POZOS						
1.- UBICACIÓN						
POZO		P45				
LOCALIDAD		Pedro de Valdivia				
PROPIETARIO		Particular				
ENTREVISTADO		Anónimo				
COORDENADAS UTM		NORTE	5919359			
		ESTE	673955			
DATUM	WGS1984	HUSO	18			
		COTA (m s.n.m.)	13.8			
2.- CARACTERÍSTICAS DEL POZO Y DIAGNÓSTICO A LA FECHA						
NIVEL ESTÁTICO (m)		3.2				
PROFUNDIDAD (m)		-				
DIÁMETRO (cm)		120				
ALT. PIEZOMÉTRICA (m s.n.m.)		10.6				
USO ACTUAL	RIEGO	X	POTABLE		INDUSTRIAL	
	SIN USO		OTRO			
3.- PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS						
pH		-				
TEMPERATURA (°C)		-				
SÓLIDOS DISUELTOS (ppm)		-				
CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (µS)		-				
4.- FRECUENCIA DE BOMBEO						
VERANO	MINUTOS	60	DÍAS	Lu-Do	MESES	Oct-Mar
INVIERNO	MINUTOS	-	DÍAS	-	MESES	Abr-Sept
5.- OBSERVACIONES						
						
Fecha	Miércoles 31 de Agosto, 2016					

ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO COMUNA DE CHIGUAYANTE						
REGISTRO DE POZOS						
1.- UBICACIÓN						
POZO		P46				
LOCALIDAD		Punta del Este (Lonco)				
PROPIETARIO		Particular				
ENTREVISTADO		Anónimo				
COORDENADAS UTM		NORTE	5918502			
		ESTE	674477			
DATUM	WGS1984	HUSO	18			
		COTA (m s.n.m.)	22.16			
2.- CARACTERÍSTICAS DEL POZO Y DIAGNÓSTICO A LA FECHA						
NIVEL ESTÁTICO (m)		8.07				
PROFUNDIDAD (m)		-				
DIÁMETRO (cm)		120				
ALT. PIEZOMÉTRICA (m s.n.m.)		14.09				
USO ACTUAL	RIEGO	X	POTABLE		INDUSTRIAL	
	SIN USO		OTRO			
3.- PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS						
pH		-				
TEMPERATURA (°C)		-				
SÓLIDOS DISUELTOS (ppm)		-				
CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (µS)		-				
4.- FRECUENCIA DE BOMBEO						
VERANO	MINUTOS	60	DÍAS	Lu-Do	MESES	Oct-Mar
INVIERNO	MINUTOS	-	DÍAS	-	MESES	Abr-Sept
5.- OBSERVACIONES						
						
Fecha	Miércoles 7 de Agosto, 2016					

ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO COMUNA DE CHIGUAYANTE					
REGISTRO DE POZOS					
1.- UBICACIÓN					
MANANTIAL		M1			
LOCALIDAD		Lonco Oriente			
COORDENADAS UTM		NORTE	5917814		
		ESTE	674797		
DATUM	WGS1984	HUSO	18		
2.- CARACTERÍSTICAS DE LA VERTIENTE A LA FECHA					
DIÁMETRO (cm)		30			
CAUDAL (l/s)		0,41			
TIPO DE FLUJO		Continuo			
USO ACTUAL	RIEGO		POTABLE		INDUSTRIAL
	SIN USO	X	OTRO		
3.- PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS					
pH		7,77			
TEMPERATURA (°C)		11,5			
SÓLIDOS DISUELTOS (ppm)		125			
CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (µS)		278			
4.- OBSERVACIONES		<i>Actualmente sin uso, sin embargo, abasteció a la comunidad durante el terremoto del año 2010. Se observa suelo, vegetación, canalizado y el agua en tono amarillento.</i>			
					
Fecha	Miércoles 7 de Agosto, 2016				

ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO COMUNA DE CHIGUAYANTE					
REGISTRO DE POZOS					
1.- UBICACIÓN					
MANANTIAL		M2			
LOCALIDAD		Lonco Alto			
COORDENADAS UTM		NORTE	5918212		
		ESTE	675221		
DATUM	WGS1984	HUSO	18		
2.- CARACTERÍSTICAS DE LA VERTIENTE A LA FECHA					
DIÁMETRO (cm)		150			
CAUDAL (l/s)		2			
TIPO DE FLUJO		Continuo			
USO ACTUAL	RIEGO		POTABLE		INDUSTRIAL
	SIN USO	X	OTRO		
3.- PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS					
pH		7.66			
TEMPERATURA (°C)		12.2			
SÓLIDOS DISUELTOS (ppm)		84			
CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (µS)		169			
4.- OBSERVACIONES		Agua proviene directamente de la Cantera Lonco y tiene tonalidad amarillenta.			
					
Fecha	Miércoles 7 de Agosto, 2016				

ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO COMUNA DE CHIGUAYANTE					
REGISTRO DE POZOS					
1.- UBICACIÓN					
MANANTIAL		M3			
LOCALIDAD		Lonco Parque			
COORDENADAS UTM		NORTE	5917511		
		ESTE	675158		
DATUM	WGS1984	HUSO	18		
2.- CARACTERÍSTICAS DE LA VERTIENTE A LA FECHA					
DIÁMETRO (cm)		50			
CAUDAL (l/s)		0,00083			
TIPO DE FLUJO		Intermitente			
USO ACTUAL	RIEGO		POTABLE		INDUSTRIAL
	SIN USO	X	OTRO		
3.- PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS					
pH		7.38			
TEMPERATURA (°C)		15.1			
SÓLIDOS DISUELTOS (ppm)		139			
CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (µS)		256			
4.- OBSERVACIONES		Agua de tonalidad amarillenta.			
					
Fecha	Miércoles 7 de Agosto, 2016				

ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO COMUNA DE CHIGUAYANTE					
REGISTRO DE POZOS					
1.- UBICACIÓN					
MANANTIAL		M4			
LOCALIDAD		Villuco			
COORDENADAS UTM		NORTE	5916510		
		ESTE	675219		
DATUM	WGS1984	HUSO	18		
2.- CARACTERÍSTICAS DE LA VERTIENTE A LA FECHA					
DIÁMETRO (cm)		40			
CAUDAL (l/s)		0.1			
TIPO DE FLUJO		Continuo			
USO ACTUAL	RIEGO		POTABLE		INDUSTRIAL
	SIN USO	X	OTRO		
3.- PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS					
pH		7.26			
TEMPERATURA (°C)		12.3			
SÓLIDOS DISUELTOS (ppm)		58			
CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (µS)		117			
4.- OBSERVACIONES		<i>Suelo bastante arcilloso y oxidado, dando aspecto aceitoso a la vertiente.</i>			
					
Fecha	Miércoles 7 de Agosto, 2016				

ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO COMUNA DE CHIGUAYANTE					
REGISTRO DE POZOS					
1.- UBICACIÓN					
MANANTIAL		M5			
LOCALIDAD		Villuco			
COORDENADAS UTM		NORTE	5916509		
		ESTE	675401		
DATUM	WGS1984	HUSO	18		
2.- CARACTERÍSTICAS DE LA VERTIENTE A LA FECHA					
DIÁMETRO (cm)		150			
CAUDAL (l/s)		0.57			
TIPO DE FLUJO		Continuo			
USO ACTUAL	RIEGO		POTABLE		INDUSTRIAL
	SIN USO	X	OTRO		
3.- PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS					
pH		7.47			
TEMPERATURA (°C)		11.6			
SÓLIDOS DISUELTOS (ppm)		43			
CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (µS)		89			
4.- OBSERVACIONES		Suelo corresponde a granitoide.			
					
Fecha	Miércoles 7 de Agosto, 2016				

ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO COMUNA DE CHIGUAYANTE						
REGISTRO DE POZOS						
1.- UBICACIÓN						
MANANTIAL		M6				
LOCALIDAD		Villuco				
COORDENADAS UTM		NORTE	5916503			
		ESTE	675684			
DATUM	WGS1984	HUSO	18			
2.- CARACTERÍSTICAS DE LA VERTIENTE A LA FECHA						
DIÁMETRO (cm)		50				
CAUDAL (l/s)		4				
TIPO DE FLUJO		Continuo				
USO ACTUAL	RIEGO		POTABLE		INDUSTRIAL	
	SIN USO	X	OTRO			
3.- PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS						
pH		7.44				
TEMPERATURA (°C)		12.6				
SÓLIDOS DISUELTOS (ppm)		52				
CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (µS)		101				
4.- OBSERVACIONES		Agua de tonalidad levemente amarilla.				
						
Fecha	Miércoles 7 de Agosto, 2016					

ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO COMUNA DE CHIGUAYANTE					
REGISTRO DE POZOS					
1.- UBICACIÓN					
MANANTIAL		M7			
LOCALIDAD		Villuco			
COORDENADAS UTM		NORTE	5916629		
		ESTE	675163		
DATUM	WGS1984	HUSO	18		
2.- CARACTERÍSTICAS DE LA VERTIENTE A LA FECHA					
DIÁMETRO (cm)		No ha sido posible determinarlo			
CAUDAL (l/s)		0.083			
TIPO DE FLUJO		Intermitente			
USO ACTUAL	RIEGO		POTABLE		INDUSTRIAL
	SIN USO	X	OTRO		
3.- PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS					
pH		7.38			
TEMPERATURA (°C)		12.5			
SÓLIDOS DISUELTOS (ppm)		70			
CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (µS)		143			
4.- OBSERVACIONES		Agua de tonalidad levemente amarilla.			
					
Fecha	Miércoles 7 de Agosto, 2016				

ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO COMUNA DE CHIGUAYANTE					
REGISTRO DE POZOS					
1.- UBICACIÓN					
MANANTIAL		M8			
LOCALIDAD		Schaub			
COORDENADAS UTM		NORTE	5915103		
		ESTE	675873		
DATUM	WGS1984	HUSO	18		
2.- CARACTERÍSTICAS DE LA VERTIENTE A LA FECHA					
DIÁMETRO (cm)		200			
CAUDAL (l/s)		0,44			
TIPO DE FLUJO		Continuo			
USO ACTUAL	RIEGO		POTABLE		INDUSTRIAL
	SIN USO	X	OTRO		
3.- PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS					
pH		7,58			
TEMPERATURA (°C)		11,3			
SÓLIDOS DISUELTOS (ppm)		46			
CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (µS)		89			
4.- OBSERVACIONES		Agua de tonalidad levemente amarilla.			
					
Fecha	Miércoles 7 de Agosto, 2016				

ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO COMUNA DE CHIGUAYANTE					
REGISTRO DE POZOS					
1.- UBICACIÓN					
MANANTIAL		M9			
LOCALIDAD		Villa Pinares			
COORDENADAS UTM		NORTE	5913301		
		ESTE	675960		
DATUM	WGS1984	HUSO	18		
2.- CARACTERÍSTICAS DE LA VERTIENTE A LA FECHA					
DIÁMETRO (cm)		30			
CAUDAL (l/s)		0.085			
TIPO DE FLUJO		Continuo			
USO ACTUAL	RIEGO		POTABLE		INDUSTRIAL
	SIN USO	X	OTRO		
3.- PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS					
pH		7.58			
TEMPERATURA (°C)		11.5			
SÓLIDOS DISUELTOS (ppm)		55			
CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (µS)		108			
4.- OBSERVACIONES		Agua amarillenta y con olor a Hierro.			
					
Fecha	Miércoles 7 de Agosto, 2016				

ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO COMUNA DE CHIGUAYANTE					
REGISTRO DE POZOS					
1.- UBICACIÓN					
MANANTIAL		M10			
LOCALIDAD		Lientur			
COORDENADAS UTM		NORTE	5913211		
		ESTE	676126		
DATUM	WGS1984	HUSO	18		
2.- CARACTERÍSTICAS DE LA VERTIENTE A LA FECHA					
DIÁMETRO (cm)		3			
CAUDAL (l/s)		0.038			
TIPO DE FLUJO		Intermitente			
USO ACTUAL	RIEGO		POTABLE		INDUSTRIAL
	SIN USO	X	OTRO		
3.- PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS					
pH		7.26			
TEMPERATURA (°C)		12			
SÓLIDOS DISUELTOS (ppm)		45			
CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (µS)		90			
4.- OBSERVACIONES		Agua transparente y sin olor, muy limpia. Según lugareño su caudal es, en general, mayor.			
					
Fecha	Miércoles 7 de Agosto, 2016				

ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO COMUNA DE CHIGUAYANTE					
REGISTRO DE POZOS					
1.- UBICACIÓN					
MANANTIAL		M11			
LOCALIDAD		Las Vertientes			
COORDENADAS UTM		NORTE	5911598		
		ESTE	676396		
DATUM	WGS1984	HUSO	18		
2.- CARACTERÍSTICAS DE LA VERTIENTE A LA FECHA					
DIÁMETRO (cm)		50			
CAUDAL (l/s)		1.33			
TIPO DE FLUJO		Continuo			
USO ACTUAL	RIEGO		POTABLE		INDUSTRIAL
	SIN USO	X	OTRO		
3.- PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS					
pH		8.44			
TEMPERATURA (°C)		10.6			
SÓLIDOS DISUELTOS (ppm)		47			
CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (μS)		96			
4.- OBSERVACIONES		Agua amarillenta.			
					
Fecha	Miércoles 7 de Agosto, 2016				

ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO COMUNA DE CHIGUAYANTE					
REGISTRO DE POZOS					
1.- UBICACIÓN					
MANANTIAL		M12			
LOCALIDAD		Los Pinos			
COORDENADAS UTM		NORTE	5910347		
		ESTE	677037		
DATUM	WGS1984	HUSO	18		
2.- CARACTERÍSTICAS DE LA VERTIENTE A LA FECHA					
DIÁMETRO (cm)		150			
CAUDAL (l/s)		0.167			
TIPO DE FLUJO		Continuo			
USO ACTUAL	RIEGO		POTABLE		INDUSTRIAL
	SIN USO	X	OTRO		
3.- PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS					
pH		7.78			
TEMPERATURA (°C)		12			
SÓLIDOS DISUELTOS (ppm)		36			
CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (µS)		74			
4.- OBSERVACIONES		Flujo acarrea mucha cantidad de sedimento (fango) y el agua tiene tonalidad amarilla.			
					
Fecha	Miércoles 7 de Agosto, 2016				

Expedientes realizados por la DGA				
Código	Coordenadas UTM		Nivel estático (m)	Caudal de extracción permitido (l/s)
	Norte	Este		
ND-0803-990	5911067	676206	9,50	10,00
ND-0803-1367	5914856	675690	2,00	4,00
ND-0803-1417	5916338	675027	5,92	0,200
ND-0803-1863	5909372	676363	7,00	2,00
ND-0803-1904	5913433	675702	1,00	0,20
ND-0803-1962	5918513	675053	7,00	0,80
ND-0803-2324	5916701	675305	1,52	0,15



ANEXO IV: BALANCE HÍDRICO

Tabla 1: Cantidad de horas de sol para el hemisferio sur, según Allen y otros (1998).												
Latitud (grados)	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
70	24,0	17,4	13,0	8,4	2,7	0,0	0,0	6,4	11,2	15,7	21,7	24,0
68	21,9	16,7	12,9	8,7	4,3	0,0	1,7	7,0	11,3	15,3	19,9	24,0
66	20,1	16,2	12,8	9,1	5,3	2,0	3,7	7,6	11,3	15,0	18,8	22,1
64	19,0	15,8	12,8	9,3	6,1	3,7	4,8	8,0	11,4	14,7	18,0	20,3
62	18,3	15,5	12,7	9,6	6,7	4,8	5,6	8,3	11,4	14,5	17,4	19,2
60	17,6	15,2	12,6	9,8	7,2	5,6	6,3	8,7	11,5	14,3	16,9	18,4
58	17,1	14,9	12,6	9,9	7,6	6,2	6,8	8,9	11,5	14,1	16,5	17,8
56	16,7	14,7	12,5	10,1	8,0	6,7	7,2	9,2	11,6	13,9	16,1	17,3
54	16,3	14,5	12,5	10,2	8,3	7,2	7,6	9,4	11,6	13,8	15,8	16,9
52	16,0	14,3	12,5	10,4	8,6	7,5	8,0	9,6	11,6	13,7	15,5	16,5
50	15,7	14,2	12,4	10,5	8,8	7,9	8,3	9,7	11,7	13,6	15,3	16,1
48	15,4	14,0	12,4	10,6	9,0	8,2	8,5	9,9	11,7	13,4	15,0	15,8
46	15,2	13,9	12,4	10,7	9,2	8,5	8,8	10,0	11,7	13,3	14,8	15,5
44	14,9	13,7	12,4	10,8	9,4	8,7	9,0	10,2	11,7	13,3	14,6	15,3
42	14,7	13,6	12,3	10,8	9,6	9,0	9,2	10,3	11,7	13,2	14,4	15,0
40	14,5	13,5	12,3	10,9	9,8	9,2	9,4	10,4	11,8	13,1	14,3	14,8
38	14,4	13,4	12,3	11,0	9,9	9,4	9,6	10,5	11,8	13,0	14,1	14,6
36	14,2	13,3	12,3	11,1	10,1	9,6	9,8	10,6	11,8	12,9	13,9	14,4
34	14,0	13,2	12,2	11,1	10,2	9,7	9,9	10,7	11,8	12,9	13,8	14,3
32	13,9	13,1	12,2	11,2	10,4	9,9	10,1	10,8	11,8	12,8	13,7	14,1
30	13,7	13,0	12,2	11,3	10,5	10,1	10,2	10,9	11,8	12,7	13,5	13,9
28	13,6	13,0	12,2	11,3	10,6	10,2	10,4	11,0	11,8	12,7	13,4	13,8
26	13,5	12,9	12,2	11,4	10,7	10,4	10,5	11,2	11,9	12,6	13,3	13,6
24	13,3	12,8	12,2	11,4	10,8	10,5	10,7	11,2	11,9	12,6	13,2	13,5
22	13,2	12,7	12,1	11,5	10,9	10,7	10,8	11,2	11,9	12,5	13,1	13,3
20	13,1	12,7	12,1	11,5	11,1	10,8	10,9	11,3	11,9	12,5	13,0	13,2
18	13,0	12,6	12,1	11,6	11,2	10,9	11,0	11,4	11,9	12,4	12,9	13,1
16	12,9	12,5	12,1	11,6	11,3	11,1	11,1	11,5	11,9	12,4	12,8	12,9
14	12,7	12,4	12,1	11,7	11,4	11,2	11,2	11,5	11,9	12,3	12,7	12,8
12	12,6	12,4	12,1	11,7	11,4	11,3	11,4	11,6	11,9	12,3	12,6	12,7
10	12,5	12,3	12,1	11,8	11,5	11,4	11,5	11,7	11,9	12,2	12,5	12,6
8	12,4	12,3	12,1	11,8	11,6	11,5	11,6	11,7	12,0	12,2	12,4	12,5

Tabla 1:	Cantidad de horas de sol para el hemisferio sur, según Allen y otros (1998).											
6	12,3	12,2	12,0	11,9	11,7	11,7	11,7	11,8	12,0	12,1	12,3	12,3
4	12,2	12,1	12,0	11,9	11,8	11,8	11,8	11,9	12,0	12,1	12,2	12,2
2	12,1	12,1	12,0	12,0	11,9	11,9	11,9	11,9	12,0	12,0	12,1	12,1
0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0



Tabla 2: Precipitaciones registradas por la estación pluviométrica “Las Pataguas” (periodo 1993 a 2015), utilizado en el balance hídrico.												
Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1993	0,20	0,00	83,60	26,50	273,00	457,00	173,00	115,80	34,60	62,00	19,00	55,00
1994	0,00	12,94	0,00	82,30	55,00	203,00	326,00	289,00	79,33	47,72	26,49	17,62
1995	9,32	9,80	10,00	200,30	112,00	237,90	380,00	303,00	38,00	59,00	4,00	0,00
1996	0,00	16,00	22,00	87,00	101,00	150,00	91,00	189,60	24,30	42,50	35,70	21,30
1997	38,70	15,00	0,00	138,70	178,00	324,20	65,80	70,50	83,60	108,40	77,10	0,00
1998	0,00	0,00	9,20	55,00	130,30	50,30	46,70	107,50	53,00	0,00	35,00	14,00
1999	12,00	1,00	25,00	70,80	64,30	253,20	169,50	210,60	89,00	0,00	0,00	0,00
2000	0,00	54,30	0,00	0,00	59,50	347,00	88,50	213,60	149,90	5,50	4,20	0,00
2001	57,00	5,00	19,43	71,40	316,80	134,40	189,70	60,70	5,10	3,20	0,00	0,00
2002	9,32	9,80	97,80	42,20	141,70	128,70	211,80	317,90	102,00	47,72	23,00	7,30
2003	3,50	0,00	2,20	12,50	156,10	308,00	185,95	189,35	140,60	37,30	112,20	3,30
2004	0,00	3,00	23,80	156,40	45,10	131,70	208,90	86,60	85,90	46,20	9,30	5,70
2005	0,00	0,00	16,50	17,00	111,20	530,80	202,80	118,30	97,80	11,60	14,70	5,00
2006	5,00	0,00	6,50	143,00	132,90	227,26	373,90	184,00	90,40	161,00	0,00	1320
2007	19,00	5,50	13,00	166,00	99,00	226,00	296,00	203,50	75,00	32,00	10,00	8,50
2008	9,40	0,00	5,00	66,00	188,40	148,90	232,70	260,00	114,00	29,00	14,00	3,00
2009	5,00	2,00	0,00	53,00	217,50	252,50	104,20	606,00	56,00	123,00	64,00	5,00
2010	0,50	51,00	7,00	32,00	40,00	0,00	107,00	54,00	26,00	56,30	57,50	14,00
2011	20,00	14,00	42,00	101,00	48,00	252,80	169,00	224,90	116,90	43,00	20,00	0,00
2012	0,00	46,00	5,80	10,00	145,00	336,00	44,90	125,00	15,00	27,00	40,00	90,00
2013	4,00	38,00	0,00	10,00	219,00	110,00	100,00	125,00	68,00	20,00	15,00	0,00
2014	21,50	10,00	53,00	76,00	138,00	252,00	241,50	156,00	111,20	14,60	9,00	21,00
2015	0,00	0,00	5,00	25,00	85,00	164,00	268,00	258,00	169,00	76,00	19,00	2,50

Tabla 3: Temperaturas registradas por la estación pluviométrica “Concepción” (periodo 1993 a 2015), utilizado en el balance hídrico.												
Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1993	17,20	17,60	16,50	13,20	10,90	10,90	8,70	9,50	10,40	12,20	14,20	15,40
1994	16,60	15,80	15,50	12,80	11,70	11,20	9,90	8,60	11,60	13,20	14,20	16,60
1995	16,80	16,10	14,40	13,90	11,50	10,10	8,00	9,10	10,40	12,30	14,10	16,90
1996	17,00	16,40	16,00	12,80	11,50	8,10	10,10	10,90	11,60	13,00	15,00	16,60
1997	18,30	16,30	15,00	14,70	13,30	10,60	10,10	10,60	11,70	12,40	14,40	16,00
1998	17,00	16,50	15,50	12,90	13,40	10,30	9,00	9,40	10,30	12,60	13,60	15,90
1999	16,60	16,20	14,60	12,70	11,30	9,40	8,10	10,80	11,30	13,00	15,20	15,90
2000	16,50	16,040	14,10	12,40	11,20	11,00	8,40	10,50	10,30	12,30	13,70	15,80
2001	16,10	16,30	14,30	11,60	10,90	9,80	9,30	9,70	10,10	12,20	13,40	16,10
2002	16,30	15,30	14,60	11,90	11,20	10,15	8,60	9,80	10,70	12,10	13,70	15,40
2003	17,40	16,10	15,50	12,30	10,30	11,60	8,50	9,80	10,70	12,50	14,80	15,20
2004	16,90	16,10	15,80	13,60	10,80	10,10	10,00	10,00	10,80	12,10	14,00	16,20
2005	16,60	17,00	15,60	12,20	10,50	9,90	9,70	10,00	10,50	11,90	13,00	15,50
2006	16,80	17,10	14,70	12,30	10,50	11,30	10,20	10,70	10,80	12,10	13,80	15,50
2007	16,40	16,00	15,50	12,40	9,90	8,00	8,10	7,20	9,70	11,80	13,30	15,00
2008	17,20	17,40	15,70	12,50	10,70	9,60	10,30	9,50	11,10	12,40	14,90	16,80
2009	16,80	16,40	15,80	14,30	11,50	9,40	8,60	10,40	9,90	11,80	12,30	15,20
2010	16,80	15,60	15,80	12,30	10,10	10,30	8,60	9,70	10,30	11,90	13,80	14,60
2011	16,70	15,70	14,80	12,90	10,60	10,40	8,30	9,60	10,90	11,70	140,00	15,80
2012	17,60	16,90	16,30	12,60	11,90	10,90	8,00	9,50	11,10	12,00	14,20	15,80
2013	16,90	17,20	14,90	13,50	11,70	9,70	9,20	9,20	10,70	11,90	14,00	16,00
2014	17,60	16,30	14,80	12,50	11,80	10,10	9,70	10,80	11,40	13,50	14,00	15,90
2015	17,10	16,40	17,00	14,20	11,60	10,70	9,90	10,90	11,00	12,50	14,00	16,20

Tabla 4: Valores de del índice “i” para las series de suelo San Esteban y Arenales (periodo 1993 – 2015), calculados a partir del software Easy-Balance v3.0.														
Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Suma	Índice a
Días	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	-	-
Horas de sol	14,2	13,3	12,3	11,1	10,1	9,6	9,8	10,6	11,8	12,9	13,9	14,4	-	-
1993	6,49	6,72	6,10	4,35	3,25	3,25	2,31	2,64	3,03	3,86	4,86	5,49	52,36	1,4104
1994	6,15	5,71	5,55	4,15	3,62	3,39	2,81	2,27	3,58	4,35	4,86	6,15	52,59	1,4144
1995	6,26	5,87	4,96	4,70	3,53	2,90	2,04	2,48	3,03	3,91	4,80	6,32	50,81	1,3838
1996	6,38	6,04	5,82	4,15	3,53	2,08	2,90	3,25	3,58	4,25	5,28	6,15	53,40	1,4283
1997	7,13	5,98	5,28	5,12	4,40	3,12	2,90	3,12	3,62	3,96	4,96	5,82	55,40	1,4631
1998	6,38	6,10	5,55	4,20	4,45	2,99	2,43	2,60	2,99	4,05	4,55	5,76	52,04	1,4050
1999	6,15	5,93	5,07	4,10	3,44	2,60	2,08	3,21	3,44	4,25	5,38	5,76	51,40	1,3940
2000	6,10	5,84	4,80	3,96	3,39	3,30	2,19	3,07	2,99	3,91	4,60	5,71	49,86	1,3676
2001	5,87	5,98	4,91	3,58	3,25	2,77	2,56	2,73	2,90	3,86	4,45	5,87	48,73	1,3484
2002	5,98	5,44	5,07	3,72	3,39	2,92	2,27	2,77	3,16	3,81	4,60	5,49	48,62	1,3466
2003	6,61	5,87	5,55	3,91	2,99	3,58	2,23	2,77	3,16	4,00	5,17	5,38	51,22	1,3909
2004	6,32	5,87	5,71	4,55	3,21	2,90	2,86	2,86	3,21	3,81	4,75	5,93	51,98	1,4038
2005	6,15	6,38	5,60	3,86	3,07	2,81	2,73	2,86	3,07	3,72	4,25	5,55	50,04	1,3708
2006	6,26	6,43	5,12	3,91	3,07	3,44	2,94	3,16	3,21	3,81	4,65	5,55	51,56	1,3967
2007	6,04	5,82	5,55	3,96	2,81	2,04	2,08	1,74	2,73	3,67	4,40	5,28	46,09	1,3036
2008	6,49	6,61	5,65	4,00	3,16	2,68	2,99	2,64	3,34	3,96	5,22	6,26	53,02	1,4218
2009	6,26	6,04	5,71	4,91	3,53	2,60	2,27	3,03	2,81	3,67	3,91	5,38	50,13	1,3722
2010	6,26	5,60	5,71	3,91	2,90	2,99	2,27	2,73	2,99	3,72	4,65	5,07	48,79	1,3493
2011	6,21	5,65	5,17	4,20	3,12	3,03	2,15	2,68	3,25	3,62	4,75	5,71	49,56	1,3625
2012	6,72	6,32	5,98	4,05	3,72	3,25	2,04	2,64	3,34	3,76	4,86	5,71	52,40	1,4112
2013	6,32	6,49	5,22	4,50	3,62	2,73	2,52	2,52	3,16	3,72	4,75	5,82	51,37	1,3935
2014	6,72	5,98	5,17	4,00	3,67	2,90	2,73	3,21	3,48	4,50	4,75	5,76	52,88	1,4195
2015	6,43	6,04	6,38	4,86	3,58	3,16	2,81	3,25	3,30	4,00	4,75	5,93	54,50	1,4474

Tabla 5: Valores de ETP sin corregir para las series de suelo San Esteban y Arenales (periodo 1993 – 2015), calculados a partir del software Easy-Balance v3.0.													
Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	ETP anual
1993	104,72	91,51	85,54	54,53	39,14	36,00	27,63	33,84	41,42	58,60	75,70	90,86	739,49
1994	99,44	78,45	78,17	52,08	43,12	37,29	33,04	29,28	48,17	65,33	75,53	100,84	740,74
1995	102,38	81,66	71,64	59,58	43,10	33,12	25,31	32,72	42,40	60,41	76,10	104,67	733,09
1996	102,28	82,20	81,25	51,59	41,63	23,21	33,56	40,47	47,65	63,34	81,03	100,26	748,48
1997	112,38	80,26	72,77	61,70	50,11	33,07	32,51	37,74	46,97	57,77	74,97	93,63	753,87
1998	103,22	83,74	78,53	52,99	52,55	33,40	29,15	33,52	41,06	61,56	71,47	95,28	736,46
1999	100,28	81,99	72,63	52,22	41,72	29,69	25,45	41,11	47,17	64,79	84,01	95,76	736,84
2000	100,52	81,82	70,23	51,45	42,09	37,77	27,56	40,44	42,44	61,11	73,84	96,07	725,35
2001	98,02	84,31	72,36	47,66	41,20	32,83	32,27	36,95	42,03	61,26	72,49	99,40	720,79
2002	99,74	77,48	74,49	49,39	42,80	34,48	29,10	37,53	45,51	60,66	74,77	93,70	719,64
2003	107,20	81,40	79,06	50,05	36,77	39,90	27,31	36,01	43,84	61,47	81,08	90,07	734,17
2004	102,41	80,94	80,71	57,11	38,85	32,53	33,84	36,60	43,93	58,21	74,49	97,87	737,47
2005	101,23	88,48	80,52	50,21	38,43	32,61	33,45	37,72	43,45	58,27	68,59	93,45	726,40
2006	101,85	88,32	73,21	49,85	37,58	38,30	35,01	40,49	44,19	58,51	73,31	92,30	732,92
2007	102,34	83,83	82,36	53,77	37,70	26,26	28,16	26,12	41,50	60,53	73,78	92,38	708,74
2008	104,26	89,67	79,32	50,10	37,76	29,77	34,71	33,47	44,98	59,48	80,53	102,25	746,31
2009	102,85	84,18	81,89	62,37	43,49	30,33	28,32	39,76	40,03	57,54	63,51	90,91	725,17
2010	103,77	79,43	82,74	51,54	37,15	35,09	29,01	36,92	43,13	59,20	75,39	87,08	720,44
2011	102,40	79,64	75,24	54,49	39,21	35,14	27,26	35,95	46,05	57,29	76,29	96,29	725,25
2012	108,14	86,39	84,05	51,04	44,27	35,98	24,53	33,81	45,38	57,22	75,67	94,17	740,66
2013	102,83	89,15	74,73	56,88	43,81	31,04	30,41	32,89	43,74	57,30	74,93	96,62	734,36
2014	107,82	81,80	73,03	50,18	43,48	32,07	31,94	40,24	46,81	67,22	73,81	94,66	743,06
2015	102,39	81,53	87,94	59,19	41,53	33,98	32,03	39,83	43,48	59,10	72,61	96,01	749,61

Tabla 6: Valores de la constante $N/12*d/30$ para las series de suelo San Esteban y Arenales (periodo 1993 – 2015), calculados a partir del software Easy-Balance v3.0.												
Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Días	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
Horas de sol	14,2	13,3	12,3	11,1	10,1	9,6	9,8	10,6	11,8	12,9	13,9	14,4
1993	1,22	1,03	1,06	0,93	0,87	0,80	0,84	0,91	0,98	1,11	1,16	1,24
1994	1,22	1,03	1,06	0,93	0,87	0,80	0,84	0,91	0,98	1,11	1,16	1,24
1995	1,22	1,03	1,06	0,93	0,87	0,80	0,84	0,91	0,98	1,11	1,16	1,24
1996	1,22	1,03	1,06	0,93	0,87	0,80	0,84	0,91	0,98	1,11	1,16	1,24
1997	1,22	1,03	1,06	0,93	0,87	0,80	0,84	0,91	0,98	1,11	1,16	1,24
1998	1,22	1,03	1,06	0,93	0,87	0,80	0,84	0,91	0,98	1,11	1,16	1,24
1999	1,22	1,03	1,06	0,93	0,87	0,80	0,84	0,91	0,98	1,11	1,16	1,24
2000	1,22	1,03	1,06	0,93	0,87	0,80	0,84	0,91	0,98	1,11	1,16	1,24
2001	1,22	1,03	1,06	0,93	0,87	0,80	0,84	0,91	0,98	1,11	1,16	1,24
2002	1,22	1,03	1,06	0,93	0,87	0,80	0,84	0,91	0,98	1,11	1,16	1,24
2003	1,22	1,03	1,06	0,93	0,87	0,80	0,84	0,91	0,98	1,11	1,16	1,24
2004	1,22	1,03	1,06	0,93	0,87	0,80	0,84	0,91	0,98	1,11	1,16	1,24
2005	1,22	1,03	1,06	0,93	0,87	0,80	0,84	0,91	0,98	1,11	1,16	1,24
2006	1,22	1,03	1,06	0,93	0,87	0,80	0,84	0,91	0,98	1,11	1,16	1,24
2007	1,22	1,03	1,06	0,93	0,87	0,80	0,84	0,91	0,98	1,11	1,16	1,24
2008	1,22	1,03	1,06	0,93	0,87	0,80	0,84	0,91	0,98	1,11	1,16	1,24
2009	1,22	1,03	1,06	0,93	0,87	0,80	0,84	0,91	0,98	1,11	1,16	1,24
2010	1,22	1,03	1,06	0,93	0,87	0,80	0,84	0,91	0,98	1,11	1,16	1,24
2011	1,22	1,03	1,06	0,93	0,87	0,80	0,84	0,91	0,98	1,11	1,16	1,24
2012	1,22	1,03	1,06	0,93	0,87	0,80	0,84	0,91	0,98	1,11	1,16	1,24
2013	1,22	1,03	1,06	0,93	0,87	0,80	0,84	0,91	0,98	1,11	1,16	1,24
2014	1,22	1,03	1,06	0,93	0,87	0,80	0,84	0,91	0,98	1,11	1,16	1,24
2015	1,22	1,03	1,06	0,93	0,87	0,80	0,84	0,91	0,98	1,11	1,16	1,24

Tabla 7: Valores de ETP corregido para las series de suelo San Esteban y Arenales (periodo 1993 – 2015), calculados a partir del software Easy-Balance v3.0.													
Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	ETP anual
1993	104,72	91,51	85,54	54,53	39,14	36,00	27,63	33,84	41,42	58,60	75,70	90,86	739,49
1994	99,44	78,45	78,17	52,08	43,12	37,29	33,04	29,28	48,17	65,33	75,53	100,84	740,74
1995	102,38	81,66	71,64	59,58	43,10	33,12	25,31	32,72	42,40	60,41	76,10	104,67	733,09
1996	102,28	82,20	81,25	51,59	41,63	23,21	33,56	40,47	47,65	63,34	81,03	100,26	748,48
1997	112,38	80,26	72,77	61,70	50,11	33,07	32,51	37,74	46,97	57,77	74,97	93,63	753,87
1998	103,22	83,74	78,53	52,99	52,55	33,40	29,15	33,52	41,06	61,56	71,47	95,28	736,46
1999	100,28	81,99	72,63	52,22	41,72	29,69	25,45	41,11	47,17	64,79	84,01	95,76	736,84
2000	100,52	81,82	70,23	51,45	42,09	37,77	27,56	40,44	42,44	61,11	73,84	96,07	725,35
2001	98,02	84,31	72,36	47,66	41,20	32,83	32,27	36,95	42,03	61,26	72,49	99,40	720,79
2002	99,74	77,48	74,49	49,39	42,80	34,48	29,10	37,53	45,51	60,66	74,77	93,70	719,64
2003	107,20	81,40	79,06	50,05	36,77	39,90	27,31	36,01	43,84	61,47	81,08	90,07	734,17
2004	102,41	80,94	80,71	57,11	38,85	32,53	33,84	36,60	43,93	58,21	74,49	97,87	737,47
2005	101,23	88,48	80,52	50,21	38,43	32,61	33,45	37,72	43,45	58,27	68,59	93,45	726,40
2006	101,85	88,32	73,21	49,85	37,58	38,30	35,01	40,49	44,19	58,51	73,31	92,30	732,92
2007	102,34	83,83	82,36	53,77	37,70	26,26	28,16	26,12	41,50	60,53	73,78	92,38	708,74
2008	104,26	89,67	79,32	50,10	37,76	29,77	34,71	33,47	44,98	59,48	80,53	102,25	746,31
2009	102,85	84,18	81,89	62,37	43,49	30,33	28,32	39,76	40,03	57,54	63,51	90,91	725,17
2010	103,77	79,43	82,74	51,54	37,15	35,09	29,01	36,92	43,13	59,20	75,39	87,08	720,44
2011	102,40	79,64	75,24	54,49	39,21	35,14	27,26	35,95	46,05	57,29	76,29	96,29	725,25
2012	108,14	86,39	84,05	51,04	44,27	35,98	24,53	33,81	45,38	57,22	75,67	94,17	740,66
2013	102,83	89,15	74,73	56,88	43,81	31,04	30,41	32,89	43,74	57,30	74,93	96,62	734,36
2014	107,82	81,80	73,03	50,18	43,48	32,07	31,94	40,24	46,81	67,22	73,81	94,66	743,06
2015	102,39	81,53	87,94	59,19	41,53	33,98	32,03	39,83	43,48	59,10	72,61	96,01	749,61

Tabla 8: Valores del parámetro “AR” para las series de suelo San Esteban y Arenales (periodo 1993 – 2015), calculados a partir del software Easy-Balance v3.0.												
Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1993	-104,52	-91,51	-1,94	-28,03	123,25	126,39	134,76	81,96	-6,82	3,40	-56,70	-35,86
1994	-99,44	-65,51	-78,17	30,22	11,88	125,10	129,35	133,11	31,16	-17,61	-49,04	-83,22
1995	-93,06	-71,86	-61,64	102,81	68,90	129,27	137,08	129,67	-4,40	-1,41	-72,10	-104,67
1996	-102,28	-66,20	-59,25	35,41	59,37	126,79	57,44	121,92	-23,35	-20,84	-45,33	-78,96
1997	-73,68	-65,26	-72,77	77,00	112,28	129,32	33,29	32,76	36,63	50,63	2,13	-93,63
1998	-103,22	-83,74	-69,33	2,01	77,75	16,90	17,55	73,98	11,94	-61,56	-36,47	-81,28
1999	-88,28	-80,99	-47,63	18,58	22,58	132,70	136,94	121,28	41,83	-64,79	-84,01	-95,76
2000	-100,52	-27,52	-70,23	-51,45	17,41	124,62	60,94	121,95	107,46	-55,61	-69,64	-96,07
2001	-41,02	-79,31	-52,93	23,74	121,19	101,57	130,12	23,75	-36,93	-58,06	-72,49	-99,40
2002	-90,42	-67,68	23,31	-7,19	98,90	94,22	133,29	124,86	56,49	-12,94	-51,77	-86,40
2003	-103,70	-81,40	-76,86	-37,55	119,33	122,49	135,08	126,38	96,76	-24,17	31,12	-86,77
2004	-102,41	-77,94	-56,91	99,29	6,25	99,17	128,55	50,00	41,97	-12,01	-65,19	-92,17
2005	-101,23	-88,48	-64,02	-33,21	72,77	129,78	128,94	80,58	54,35	-46,67	-53,89	-88,45
2006	-96,85	-88,32	-66,71	93,15	95,32	124,09	127,38	121,90	46,21	102,49	-73,31	39,70
2007	-83,34	-78,33	-69,36	108,62	61,30	136,13	134,23	136,27	33,50	-28,53	-63,78	-83,88
2008	-94,86	-89,67	-74,32	15,90	124,63	119,13	127,68	128,92	69,02	-30,48	-66,53	-99,25
2009	-97,85	-82,18	-81,89	-9,37	118,90	132,06	75,88	122,63	15,97	65,46	0,49	-85,91
2010	-103,27	-28,43	-75,74	-19,54	2,85	-35,09	77,99	17,08	-17,13	-2,90	-17,89	-73,08
2011	-82,40	-65,64	-33,24	46,51	8,79	127,25	135,13	126,44	70,85	-14,29	-56,29	-96,29
2012	-108,14	-40,39	-78,25	-41,04	100,73	126,41	20,37	91,19	-30,38	-30,22	-35,67	-4,17
2013	-98,83	-51,15	-74,73	-46,88	118,58	78,96	69,59	92,11	24,26	-37,30	-59,93	-96,62
2014	-86,32	-71,80	-20,03	25,82	94,52	130,32	130,45	115,76	64,39	-52,62	-64,81	-73,66
2015	-102,39	-81,53	-82,94	-34,19	43,47	128,41	130,36	122,56	118,91	16,90	-53,61	-93,51

Tabla 9: Valores del parámetro "RU" para la serie de suelo San Esteban (periodo 1993 – 2015), calculados a partir del software Easy-Balance v3.0												
Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1993	15,50	0,00	0,00	0,00	82,50	82,50	82,50	82,50	75,70	79,10	22,40	0,00
1994	0,00	0,00	0,00	30,20	42,10	82,50	82,50	82,50	82,50	64,90	15,90	0,00
1995	0,00	0,00	0,00	69,80	82,50	82,50	82,50	82,50	78,10	76,70	4,60	0,00
1996	0,00	0,00	0,00	35,40	82,50	82,50	82,50	82,50	59,10	38,30	0,00	0,00
1997	0,00	0,00	0,00	67,60	82,50	82,50	82,50	82,50	82,50	82,50	82,50	0,00
1998	0,00	0,00	0,00	2,00	78,80	82,50	82,50	82,50	82,50	20,90	0,00	0,00
1999	0,00	0,00	0,00	18,60	41,20	82,50	82,50	82,50	82,50	17,70	0,00	0,00
2000	0,00	0,00	0,00	0,00	17,40	82,50	82,50	82,50	82,50	26,90	0,00	0,00
2001	0,00	0,00	0,00	23,70	82,50	82,50	82,50	82,50	45,60	0,00	0,00	0,00
2002	0,00	0,00	23,30	16,10	82,50	82,50	82,50	82,50	82,50	69,60	17,80	0,00
2003	0,00	0,00	0,00	0,00	82,50	82,50	82,50	82,50	82,50	58,30	82,50	0,00
2004	0,00	0,00	0,00	72,20	78,50	82,50	82,50	82,50	82,50	70,50	5,30	0,00
2005	0,00	0,00	0,00	0,00	75,70	82,50	82,50	82,50	82,50	39,70	0,00	0,00
2006	0,00	0,00	0,00	79,50	82,50	82,50	82,50	82,50	82,50	82,50	9,20	46,20
2007	0,00	0,00	0,00	75,60	82,50	82,50	82,50	82,50	82,50	54,00	0,00	0,00
2008	0,00	0,00	0,00	15,90	82,50	82,50	82,50	82,50	82,50	52,00	0,00	0,00
2009	0,00	0,00	0,00	0,00	82,5	82,50	82,50	82,50	82,50	82,50	82,50	0,00
2010	0,00	0,00	0,00	0,00	2,90	0,00	78,00	82,50	65,40	62,50	44,60	0,00
2011	0,00	0,00	0,00	46,50	55,30	82,50	82,50	82,50	82,50	68,20	11,90	0,00
2012	0,00	0,00	0,00	0,00	82,50	82,50	82,50	82,50	52,1	21,90	0,00	0,00
2013	0,00	0,00	0,00	0,00	82,50	82,50	82,50	82,50	82,50	45,20	0,00	0,00
2014	0,00	0,00	0,00	25,80	82,50	82,50	82,50	82,50	82,50	29,90	0,00	0,00
2015	0,00	0,00	0,00	0,00	43,50	82,50	82,50	82,50	82,50	82,50	28,90	0,00

Tabla10: Valores de ETR para la serie de suelo San Esteban (periodo 1993 – 2015), calculados a partir del software Easy-Balance v3.0.													
Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	ETR anual
1993	104,72	15,48	83,60	26,50	39,14	36,00	27,63	33,84	41,42	58,60	75,70	77,38	620,02
1994	0,00	12,94	0,00	52,08	43,12	37,29	33,04	29,28	48,17	65,33	75,53	33,47	430,25
1995	9,32	9,80	10,00	59,58	43,10	33,12	25,31	32,72	42,40	60,41	76,10	4,59	406,45
1996	0,00	16,00	22,00	51,59	41,63	23,21	33,56	40,47	47,65	63,34	74,00	21,30	434,76
1997	38,70	15,00	0,00	61,70	50,11	33,07	32,51	37,74	46,97	57,77	74,97	82,50	531,03
1998	0,00	0,00	9,20	52,99	52,55	33,40	29,15	33,52	41,06	61,56	55,94	14,00	383,37
1999	12,00	1,00	25,00	52,22	41,72	29,69	25,45	41,11	47,17	64,79	17,71	0,00	357,88
2000	0,00	54,30	0,00	0,00	42,09	37,77	27,56	40,44	42,44	61,11	31,09	0,00	336,80
2001	57,00	5,00	19,43	47,66	41,20	32,83	32,27	36,95	42,03	48,77	0,00	0,00	363,15
2002	9,32	9,80	74,49	49,39	42,80	34,48	29,10	37,53	45,51	60,66	74,77	25,09	492,93
2003	3,50	0,00	2,20	12,50	36,77	39,90	27,31	36,01	43,84	61,47	81,08	85,80	430,38
2004	0,00	3,00	23,80	57,11	38,85	32,53	33,84	36,60	43,93	58,21	74,49	11,01	413,35
2005	0,00	0,00	16,50	17,00	35,46	29,93	30,64	34,65	40,09	54,39	54,41	5,00	318,08
2006	5,00	0,00	6,50	49,85	37,58	38,30	35,01	40,49	44,19	58,51	73,31	92,30	481,03
2007	65,23	5,50	13,00	53,77	37,70	26,26	28,16	26,12	41,50	60,53	63,97	8,50	430,25
2008	9,40	0,00	5,00	50,10	37,76	29,77	34,71	33,47	44,98	59,48	66,02	3,00	373,69
2009	5,00	2,00	0,00	53,00	43,49	30,33	28,32	39,76	40,03	57,54	63,51	87,50	450,47
2010	0,50	51,00	7,00	32,00	37,15	2,85	29,01	36,92	43,13	59,20	75,39	58,59	432,73
2011	20,00	14,00	42,00	54,49	39,21	35,14	27,26	35,95	46,05	57,29	76,29	11,93	459,60
2012	0,00	46,00	5,80	10,00	44,27	35,98	24,53	33,81	45,38	57,22	61,90	90,00	454,90
2013	4,00	38,00	0,00	10,00	43,81	31,04	30,41	32,89	43,74	57,30	60,20	0,00	351,40
2014	21,50	10,00	53,00	50,18	43,48	32,07	31,94	40,24	46,81	67,22	38,88	21,00	456,32
2015	0,00	0,00	5,00	25,00	41,53	33,98	32,03	39,83	43,48	59,10	72,61	31,39	383,95
Promedio	15,88	13,43	18,41	40,38	41,50	31,69	29,95	36,10	44,00	59,56	61,65	33,23	425,77

Tabla 11: Valores de déficit (número negativo) y excedentes (número positivo) para la serie de suelo San Esteban (periodo 1993 – 2015), calculados a partir del software Easy-Balance v3.0												
Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1993	0,0	-76,0	-1,9	-28,0	7,7	93,3	101,7	82,0	0,0	0,0	0,0	-13,5
1994	-99,4	-65,5	-78,2	0,0	0,0	51,6	96,3	100,1	31,2	0,0	0,0	-67,4
1995	-93,1	-71,9	-61,6	0,0	56,2	96,2	104,0	96,6	0,0	0,0	0,0	-100,1
1996	-102,3	-66,2	-59,2	0,0	12,3	106,1	57,4	88,9	0,0	0,0	-7,0	-79,0
1997	-73,7	-65,3	-72,8	0,0	64,4	96,3	33,3	32,8	36,6	50,6	2,1	-11,1
1998	-103,2	-83,7	-69,3	0,0	0,0	13,2	17,5	74,0	11,9	0,0	-15,5	-81,3
1999	-88,3	-81,0	-47,6	0,0	0,0	58,3	103,9	88,2	41,8	0,0	-66,3	-95,8
2000	-100,5	-27,5	-70,2	-51,5	0,0	26,5	60,9	88,9	86,9	0,0	-42,8	-96,1
2001	-41,0	-79,3	-52,9	0,0	29,4	96,5	97,1	23,8	0,0	-12,5	-72,5	-99,4
2002	-90,4	-67,7	0,0	0,0	20,2	94,2	100,2	91,8	56,5	0,0	0,0	-68,6
2003	-103,7	-81,4	-76,9	-37,6	10,1	89,4	102,0	93,3	85,5	0,0	6,9	-4,3
2004	-102,4	-77,9	-56,9	0,0	0,0	92,8	95,5	50,0	42,0	0,0	0,0	-86,9
2005	-101,2	-85,4	-60,6	-30,0	0,0	92,7	98,7	83,6	57,7	0,0	-10,1	-84,4
2006	-96,9	-88,3	-66,7	0,0	88,8	91,0	94,3	88,9	46,2	70,8	0,0	0,0
2007	-37,1	-78,3	-69,4	0,0	54,4	103,1	101,2	103,2	33,5	0,0	-9,8	-83,9
2008	-94,9	-89,7	-74,3	0,0	25,0	99,6	94,6	95,9	69,0	0,0	-14,5	-99,3
2009	-97,8	-82,2	-81,9	-9,4	3,4	99,0	75,9	89,6	16,0	65,5	0,5	-3,4
2010	-103,3	-28,4	-75,7	-19,5	0,0	-32,2	0,0	12,6	0,0	0,0	0,0	-28,5
2011	-82,4	-65,6	-33,2	0,0	0,0	67,0	102,1	93,4	70,9	0,0	0,0	-84,4
2012	-108,1	-40,4	-78,3	-41,0	2,6	93,4	20,4	91,2	0,0	0,0	-13,8	-4,2
2013	-98,8	-51,2	-74,7	-46,9	3,0	79,0	69,6	92,1	24,3	0,0	-14,7	-96,6
2014	-86,3	-71,8	-20,0	0,0	29,2	97,3	97,4	89,1	64,4	0,0	-34,9	-73,7
2015	-102,4	-81,5	-82,9	-34,2	0,0	56,3	97,3	89,5	85,9	16,9	0,0	-64,6

Tabla 12: Valores de recarga para la serie de suelo San Esteban (periodo 1993 – 2015), calculados a partir del software Easy-Balance v3.0.													
Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Recarga anual
1993	0,0	0,0	0,0	0,0	7,7	10,8	19,2	82,0	0,0	0,0	0,0	0,0	119,7024
1994	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	51,6	13,8	17,6	31,2	0,0	0,0	0,0	114,1654
1995	0,0	0,0	0,0	0,0	56,2	13,7	21,5	14,1	0,0	0,0	0,0	0,0	105,5322
1996	0,0	0,0	0,0	0,0	12,3	23,6	57,4	6,4	0,0	0,0	0,0	0,0	99,7240
1997	0,0	0,0	0,0	0,0	64,4	13,8	33,3	32,8	36,6	50,6	2,1	0,0	233,5877
1998	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	13,2	17,5	74,0	11,9	0,0	0,0	0,0	116,6736
1999	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	58,3	21,4	5,7	41,8	0,0	0,0	0,0	127,2397
2000	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	26,5	60,9	6,4	4,4	0,0	0,0	0,0	98,2164
2001	0,0	0,0	0,0	0,0	29,4	14,0	14,6	23,8	0,0	0,0	0,0	0,0	81,7034
2002	0,0	0,0	0,0	0,0	20,2	11,7	17,7	9,3	56,5	0,0	0,0	0,0	115,4285
2003	0,0	0,0	0,0	0,0	10,1	6,9	19,5	10,8	3,0	0,0	6,9	0,0	57,3162
2004	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,3	13,0	50,0	42,0	0,0	0,0	0,0	115,2723
2005	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,2	16,2	1,1	57,7	0,0	0,0	0,0	85,2047
2006	0,0	0,0	0,0	0,0	6,3	8,5	11,8	6,4	46,2	70,8	0,0	0,0	150,0155
2007	0,0	0,0	0,0	0,0	54,4	20,6	18,7	20,7	33,5	0,0	0,0	0,0	147,8459
2008	0,0	0,0	0,0	0,0	25,0	17,1	12,1	13,4	69,0	0,0	0,0	0,0	136,5713
2009	0,0	0,0	0,0	0,0	3,4	16,5	75,9	7,1	16,0	65,5	0,5	0,0	184,7454
2010	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	12,6	0,0	0,0	0,0	0,0	12,5679
2011	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	67,0	19,6	10,9	70,9	0,0	0,0	0,0	168,3197
2012	0,0	0,0	0,0	0,0	2,6	10,9	20,4	8,7	0,0	0,0	0,0	0,0	42,4829
2013	0,0	0,0	0,0	0,0	3,0	79,0	69,6	9,6	24,3	0,0	0,0	0,0	185,4419
2014	0,0	0,0	0,0	0,0	29,2	14,8	14,9	6,6	64,4	0,0	0,0	0,0	129,8370
2015	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	56,3	14,8	7,0	3,4	16,9	0,0	0,0	98,4107
Promedio	0,0	0,0	0,0	0,0	14,1	24,1	25,4	19,0	26,6	8,9	0,4	0,0	118,5219

Tabla 14: Valores de ETR para la serie de suelo Arenales (periodo 1993 – 2015), calculados a partir del software Easy-Balance v3.0.													
Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	ETR anual
1993	0,20	0,00	83,60	26,50	39,14	36,00	27,63	33,84	34,60	58,60	19,00	55,00	414,12
1994	0,00	12,94	0,00	52,08	43,12	37,29	33,04	29,28	48,17	47,72	26,49	17,62	347,75
1995	9,32	9,80	10,00	59,58	43,10	33,12	25,31	32,72	38,00	59,00	4,00	0,00	323,95
1996	0,00	16,00	22,00	51,59	41,63	23,21	33,56	40,47	24,30	42,50	35,70	21,30	352,26
1997	38,70	15,00	0,00	61,70	50,11	33,07	32,51	37,74	46,97	57,77	74,97	0,00	448,53
1998	0,00	0,00	9,20	52,99	52,55	33,40	29,15	33,52	41,06	0,00	35,00	14,00	300,87
1999	12,00	1,00	25,00	52,22	41,72	29,69	25,45	41,11	47,17	0,00	0,00	0,00	275,38
2000	0,00	54,30	0,00	0,00	42,09	37,77	27,56	40,44	42,44	5,50	4,20	0,00	254,30
2001	57,00	5,00	19,43	47,66	41,20	32,83	32,27	36,95	5,10	3,20	0,00	0,00	280,65
2002	9,32	9,80	74,49	42,20	42,80	34,48	29,10	37,53	45,51	47,72	23,00	7,30	403,24
2003	3,50	0,00	2,20	12,50	36,77	39,90	27,31	36,01	43,84	37,30	81,08	3,30	323,71
2004	0,00	3,00	23,80	57,11	38,85	32,53	33,84	36,60	43,93	46,20	9,30	5,70	330,85
2005	0,00	0,00	16,50	17,00	38,43	32,61	33,45	37,72	43,45	11,60	14,70	5,00	250,46
2006	5,00	0,00	6,50	49,85	37,58	38,30	35,01	40,49	44,19	58,51	0,00	92,30	407,72
2007	19,00	5,50	13,00	53,77	37,70	26,26	28,16	26,12	41,50	32,00	10,00	8,50	301,51
2008	9,40	0,00	5,00	50,10	37,76	29,77	34,71	33,47	44,98	29,00	14,00	3,00	291,19
2009	5,00	2,00	0,00	53,00	43,49	30,33	28,32	39,76	40,03	57,54	63,51	5,00	367,97
2010	0,50	51,00	7,00	32,00	37,15	0,00	29,01	36,92	26,00	56,30	57,50	14,00	347,38
2011	20,00	14,00	42,00	54,49	39,21	35,14	27,26	35,95	46,05	43,00	20,00	0,00	377,10
2012	0,00	46,00	5,80	10,00	44,27	35,98	24,53	33,81	15,00	27,00	40,00	90,00	372,40
2013	4,00	38,00	0,00	10,00	43,81	31,04	30,41	32,89	43,74	20,00	15,00	0,00	268,90
2014	21,50	10,00	53,00	50,18	43,48	32,07	31,94	40,24	46,81	14,60	9,00	21,00	373,82
2015	0,00	0,00	5,00	25,00	41,53	33,98	32,03	39,83	43,48	59,10	19,00	2,50	301,45
Promedio	9,32	12,75	18,41	40,07	41,63	31,69	30,07	36,23	38,97	35,40	25,02	15,89	335,46

Tabla 15: Valores de déficit (número negativo) y excedentes (número positivo) para la serie de suelo Arenales (periodo 1993 – 2015), calculados a partir del software Easy-Balance v3.0												
Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1993	-104,5	-91,5	-1,9	-28,0	123,2	126,4	134,8	82,0	-6,8	3,4	-56,7	-35,9
1994	-99,4	-65,5	-78,2	30,2	11,9	125,1	129,4	133,1	31,2	-17,6	-49,0	-83,2
1995	-93,1	-71,9	-61,6	102,8	68,9	129,3	137,1	129,7	-4,4	-1,4	-72,1	-104,7
1996	-102,3	-66,2	-59,2	35,4	59,4	126,8	57,4	121,9	-23,4	-20,8	-45,3	-79,0
1997	-73,7	-65,3	-72,8	77,0	112,3	129,3	33,3	32,8	36,6	50,6	2,1	-93,6
1998	-103,2	-83,7	-69,3	2,0	77,7	16,9	17,5	74,0	11,9	-61,6	-36,5	-81,3
1999	-88,3	-81,0	-47,6	18,6	22,6	132,7	136,9	121,3	41,8	-64,8	-84,0	-95,8
2000	-100,5	-27,5	-70,2	-51,5	17,4	124,6	60,9	121,9	107,5	-55,6	-69,6	-96,1
2001	-41,0	-79,3	-52,9	23,7	121,2	101,6	130,1	23,8	-36,9	-58,1	-72,5	-99,4
2002	-90,4	-67,7	23,3	-7,2	98,9	94,2	133,3	124,9	56,5	-12,9	-51,8	-86,4
2003	-103,7	-81,4	-76,9	-37,6	119,3	122,5	135,1	126,4	96,8	-24,2	31,1	-86,8
2004	-102,4	-77,9	-56,9	99,3	6,2	99,2	128,6	50,0	42,0	-12,0	-65,2	-92,2
2005	-101,2	-88,5	-64,0	-33,2	72,8	129,8	128,9	80,6	54,4	-46,7	-53,9	-88,4
2006	-96,9	-88,3	-66,7	93,2	95,3	124,1	127,4	121,9	46,2	102,5	-73,3	39,7
2007	-83,3	-78,3	-69,4	108,6	61,3	136,1	134,2	136,3	33,5	-28,5	-63,8	-83,9
2008	-94,9	-89,7	-74,3	15,9	124,6	119,1	127,7	128,9	69,0	-30,5	-66,5	-99,3
2009	-97,8	-82,2	-81,9	-9,4	118,9	132,1	75,9	122,6	16,0	65,5	0,5	-85,9
2010	-103,3	-28,4	-75,7	-19,5	2,9	-35,1	78,0	17,1	-17,1	-2,9	-17,9	-73,1
2011	-82,4	-65,6	-33,2	46,5	8,8	127,2	135,1	126,4	70,9	-14,3	-56,3	-96,3
2012	-108,1	-40,4	-78,3	-41,0	100,7	126,4	20,4	91,2	-30,4	-30,2	-35,7	-4,2
2013	-98,8	-51,2	-74,7	-46,9	118,6	79,0	69,6	92,1	24,3	-37,3	-59,9	-96,6
2014	-86,3	-71,8	-20,0	25,8	94,5	130,3	130,4	115,8	64,4	-52,6	-64,8	-73,7
2015	-102,4	-81,5	-82,9	-34,2	43,5	128,4	130,4	122,6	118,9	16,9	-53,6	-93,5

Tabla 16: Valores de recarga para la serie de suelo Arenales (periodo 1993 – 2015), calculados a partir del software Easy-Balance v3.0.													
Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Recarga anual
1993	0,0	0,0	0,0	0,0	123,2	126,4	134,8	82,0	0,0	3,4	0,0	0,0	469,7494
1994	0,0	0,0	0,0	30,2	11,9	125,1	129,4	133,1	31,2	0,0	0,0	0,0	460,8154
1995	0,0	0,0	0,0	102,8	68,9	129,3	137,1	129,7	0,0	0,0	0,0	0,0	567,7322
1996	0,0	0,0	0,0	35,4	59,4	126,8	57,4	121,9	0,0	0,0	0,0	0,0	400,9340
1997	0,0	0,0	0,0	77,0	112,3	129,3	33,3	32,8	36,6	50,6	2,1	0,0	474,0477
1998	0,0	0,0	0,0	2,0	77,7	16,9	17,5	74,0	11,9	0,0	0,0	0,0	200,1336
1999	0,0	0,0	0,0	18,6	22,6	132,7	136,9	121,3	41,8	0,0	0,0	0,0	473,8897
2000	0,0	0,0	0,0	0,0	17,4	124,6	60,9	121,9	107,5	0,0	0,0	0,0	432,3764
2001	0,0	0,0	0,0	23,7	121,2	101,6	130,1	23,8	0,0	0,0	0,0	0,0	400,3634
2002	0,0	0,0	23,3	0,0	98,9	94,2	133,3	124,9	56,5	0,0	0,0	0,0	531,0814
2003	0,0	0,0	0,0	0,0	119,3	122,5	135,1	126,4	96,8	0,0	31,1	0,0	631,1608
2004	0,0	0,0	0,0	99,3	6,2	99,2	128,6	50,0	42,0	0,0	0,0	0,0	425,2423
2005	0,0	0,0	0,0	0,0	72,8	129,8	128,9	80,6	54,4	0,0	0,0	0,0	466,4220
2006	0,0	0,0	0,0	93,2	95,3	124,1	127,4	121,9	46,2	102,5	0,0	39,7	750,2462
2007	0,0	0,0	0,0	108,6	61,3	136,1	134,2	136,3	33,5	0,0	0,0	0,0	610,0459
2008	0,0	0,0	0,0	15,9	124,6	119,1	127,7	128,9	69,0	0,0	0,0	0,0	585,2813
2009	0,0	0,0	0,0	0,0	118,9	132,1	75,9	122,6	16,0	65,5	0,5	0,0	531,3954
2010	0,0	0,0	0,0	0,0	2,9	0,0	78,0	17,1	0,0	0,0	0,0	0,0	97,9206
2011	0,0	0,0	0,0	46,5	8,8	127,2	135,1	126,4	70,9	0,0	0,0	0,0	514,9697
2012	0,0	0,0	0,0	0,0	100,7	126,4	20,4	91,2	0,0	0,0	0,0	0,0	338,6929
2013	0,0	0,0	0,0	0,0	118,6	79,0	69,6	92,1	24,3	0,0	0,0	0,0	383,4919
2014	0,0	0,0	0,0	25,8	94,5	130,3	130,4	115,8	64,4	0,0	0,0	0,0	561,2570
2015	0,0	0,0	0,0	0,0	43,5	128,4	130,4	122,6	118,9	16,9	0,0	0,0	560,6107
Promedio	0,0	0,0	1,0	29,5	73,1	111,3	104,0	99,9	40,1	10,4	1,5	1,7	472,5156

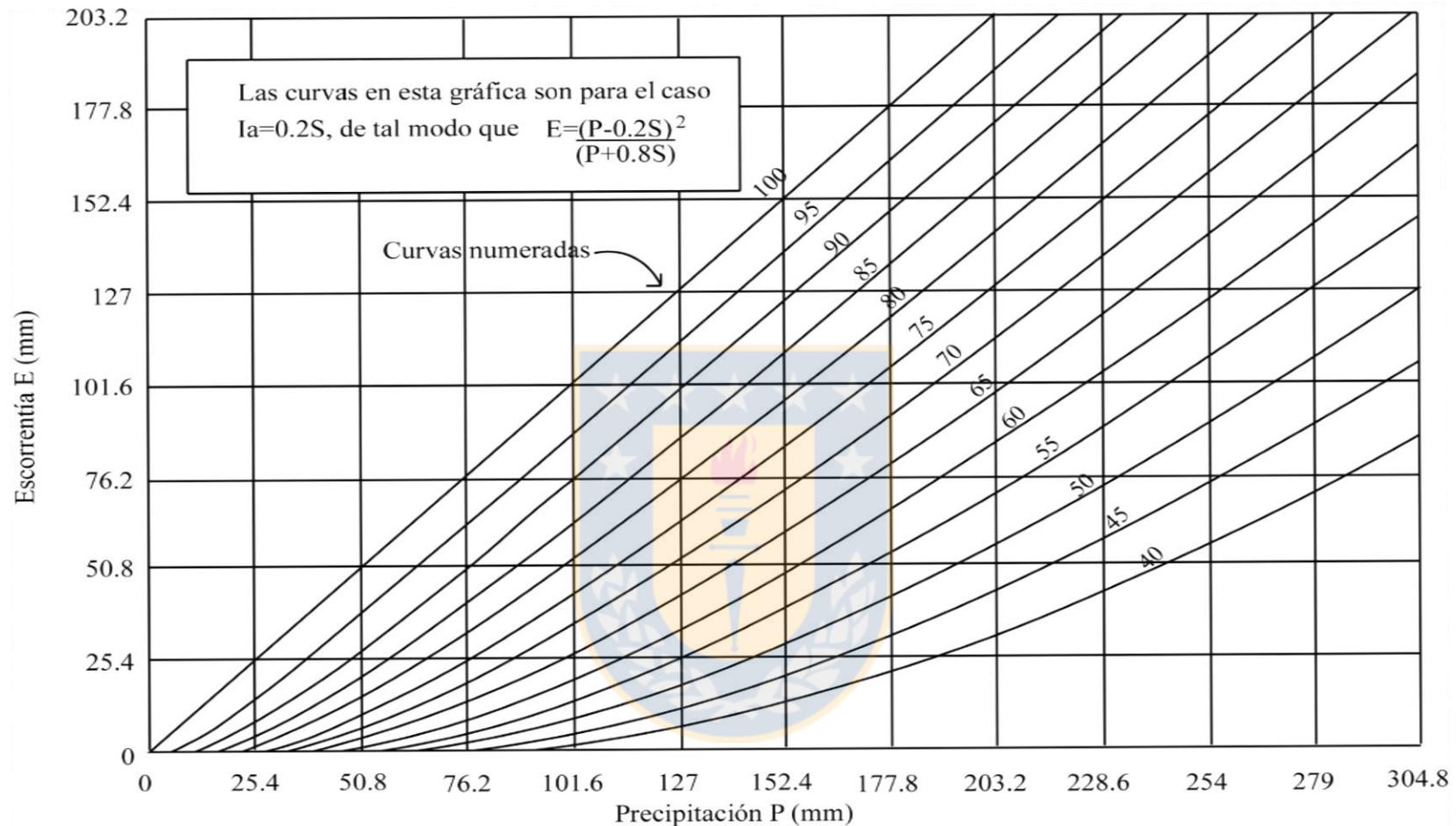


Figura 1: Relación entre escorrentía y precipitación (NRCS, 1986), basado en el análisis de un gran número de escurrimiento para distintos acuíferos. Las curvas son afectadas por la suma de remociones de lluvia por infiltración, retención en la vegetación y por el almacenamiento en depresiones de la superficie del suelo. Si no existe ninguna remoción del agua, la relación entre escorrentía diaria y lluvia diaria es una línea recta a 45°, y a medida que las remociones incrementan las curvas son alejadas de dicha línea. Así, para un terreno impermeable el CN es 100 y toda la precipitación genera escorrentía. Cabe destacar que los CN no equivalen a porcentajes.

ANEXO V: RESULTADOS DE ANÁLISIS QUÍMICOS

Tabla 1:		Concentración disuelta de iones presentes en los puntos de monitoreo químico, obtenido a partir del análisis químico realizado por el laboratorio ACME de Vancouver (Canadá).													
		N° Pozo		P1	P14	P3	P5	P4	P17	P28	P31	M2	P30	P9	P20
		Muestra		X-13	X-14	X-15	X-16	X-17	X-18	X-19	X-20	X-21	X-22	X-23	X-24
Método	Análisis	Unidad	L,D,	Agua											
SO200	SO4	ppm	0,5	19,6	14,1	6,82	<0,5	32,7	34,8	16,7	13,4	14,7	17	5,21	12,7
SO200	Cl	ppm	0,5	18	8,8	43	11	15	17	12	7,4	15	5,5	13	16
SO200	CaCO3 total	ppm	0,5	100	105	245	83,9	101	198	86,3	137	43,5	45,6	55	39,9
SO200	CaCO3 precipitado	ppm	0,5	<0,5	<0,5	3,35	<0,5	<0,5	3,4	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
SO200	HCO3	ppm	0,5	123	128	291	102	124	234	105	167	53,1	55,6	67,1	48,7
SO200	CO3	ppm	0,5	<0,5	<0,5	4,02	<0,5	<0,5	4,08	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
SO200	OH	ppm	0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
SO200	Dilution		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
SO200	Ag	ppb	0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
SO200	Al	ppb	1	<1	<1	2	<1	<1	<1	<1	7	15	3	4	<1
SO200	As	ppb	0,5	0,6	0,8	2,9	1,7	0,9	1,1	0,8	31,9	4,2	1,4	2,1	1,0
SO200	Au	ppb	0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,14	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
SO200	B	ppb	5	29	33	101	14	54	88	41	54	11	71	10	31
SO200	Ba	ppb	0,05	8,04	13,01	19,66	10,72	7,97	16,36	7,46	18,80	11,31	9,32	29,03	6,69
SO200	Be	ppb	0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,12	<0,05	<0,05	<0,05
SO200	Bi	ppb	0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
SO200	Br	ppb	5	47	35	84	87	30	46	33	41	118	38	81	31
SO200	Ca	ppm	0,05	33,88	32,75	80,29	16,23	38,78	30,97	25,14	50,39	13,69	25,44	14,49	22,88
SO200	Cd	ppb	0,05	<0,05	0,05	<0,05	<0,05	0,26	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
SO200	Ce	ppb	0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,06	<0,01	<0,01	<0,01
SO200	Cl	ppm	1	17	7	40	8	13	15	10	6	13	4	11	16
SO200	Co	ppb	0,02	<0,02	<0,02	0,35	0,05	0,07	2,84	0,07	0,25	0,02	0,03	<0,02	<0,02

Tabla 1:		Concentración disuelta de iones presentes en los puntos de monitoreo químico, obtenido a partir del análisis químico realizado por el laboratorio ACME de Vancouver (Canadá).													
		N° Pozo		P1	P14	P3	P5	P4	P17	P28	P31	M2	P30	P9	P20
		Muestra		X-13	X-14	X-15	X-16	X-17	X-18	X-19	X-20	X-21	X-22	X-23	X-24
Método	Análisis	Unidad	L,D,	Agua											
SO200	Ti	ppb	10	<10	<10	12	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
SO200	Tl	ppb	0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
SO200	Tm	ppb	0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
SO200	U	ppb	0,02	0,04	<0,02	0,08	<0,02	0,04	0,08	0,03	0,04	0,08	<0,02	<0,02	<0,02
SO200	V	ppb	0,2	9,0	11,7	3,1	<0,2	10,0	<0,2	9,0	2,0	0,8	10,0	2,7	11,8
SO200	W	ppb	0,02	0,03	0,03	0,03	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	0,05	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
SO200	Y	ppb	0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,02	<0,01	<0,01	<0,01	0,06	<0,01	0,02	<0,01
SO200	Yb	ppb	0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
SO200	Zn	ppb	0,5	15,3	10,8	11,7	<0,5	457,8	16,4	79,0	94,0	3,6	17,1	7,6	4,1
SO200	Zr	ppb	0,02	<0,02	<0,02	0,05	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	0,03	0,02	<0,02

Tabla 2: Promedio de concentración por elemento entre los puntos de monitoreo químico.			
Parámetro	Concentración [mg/L]	Parámetro	Concentración [mg/L]
HCO ₃	124,87500	As	0,00412
CaCO ₃ total	103,35000	Li	0,00354
Si	28,91067	Al	0,00258
SO ₄ disuelto	15,75000	Ni	0,00107
Cl disuelto	15,14167	Se	0,00053
Mg	11,29166667	Co	0,00031
CO ₃	0,67500	Sn	0,00027
P	0,34583	Mo	0,00019
Mn	0,19177	Pb	0,00014
Sr	0,15467	Sb	0,00012
Zn	0,05978	Cd	0,00007
Br	0,05592	Te	0,00006
B	0,04475	Au	0,00006
Ca	0,03208	Be	0,00006
Fe	0,02458	U	0,00004
Na	0,02135	W	0,00003
Cu	0,01873	Cs	0,00002
Ba	0,01320	Zr	0,00002
Rb	0,01141	Sm	0,00002
Ti	0,01017	Y	0,00002
V	0,00584	Ce	0,00001
K	0,00517	Nd	0,00001
S	0,00517	La	0,00001
Cr	0,00426	Gd	0,00001

**ANEXO VI: MÉTODO DRASTIC PARA LA VULNERABILIDAD DE
ACUÍFEROS**



Tabla 1: Clasificación variable “D”	
Profundidad del agua subterránea (m)	Valoración D _r
0 – 1,5	10
1,5 – 4,6	9
4,6 – 9,1	7
9,1 – 15,2	5
15,2 – 22,9	3
22,9 – 30,5	2
>30,5	1

Tabla 2: Clasificación variable “R”	
Recarga (mm)	Valoración R _r
0 – 50	1
50 – 103	3
103 – 178	6
178 – 254	8
>254	9

Tabla 3: Clasificación variable “A”		
Litología del acuífero	Valoración A _r	Valor típico A _r
Lutita masiva	1 – 3	2
Metamórfica / ígnea	2 – 5	3
Metamórfica / ígnea meteorizada	3 – 5	4
Till glacial	4 – 6	5
Secuencias de arenisca, calizas y lutitas	5 – 9	6
Arenisca masiva	4 – 9	6
Caliza masiva	4 – 9	6
Arena o grava	4 – 9	8
Basaltos	2 – 10	9
Caliza kárstica	9 – 10	10

Tabla 4: Clasificación variable “S”	
Tipo de suelo	Valoración S _r
Delgado o ausente	10
Grava	10
Arena	9
Agregado arcilloso o compactado	7
Arenisca margosa	6
Marga	5
Limo margoso	4
Arcilla margosa	3
Estiércol–cieno	2
Arcilla no compactada y no agregada	1

Pendiente (%)	Valoración T_r
0 – 2	10
2 – 6	9
6 – 12	5
12 – 18	3
>18	1

Naturaleza de la zona no saturada	Valoración I_r	Valor típico I_r
Capa confinante	1	1
Cieno-arcilla	2 – 6	3
Lutita	2 – 5	3
Caliza	2 – 7	6
Arenisca	4 – 8	6
Secuencias de arenisca, caliza y lutita	4 – 8	6
Arena o grava con contenido de cieno y arcilla significativo	4 – 8	6
Metamórfica / ígnea	2 – 8	4
Grava y arena	6 – 9	8
Basalto	2 – 10	9
Caliza kárstica	8 - 10	10

Conductividad hidráulica		Valoración C_r
m/día	cm/s	
0,04 – 4,08	$4,6 \times 10^{-5} - 4,7 \times 10^{-3}$	1
4,08 – 12,22	$4,7 \times 10^{-3} - 1,4 \times 10^{-2}$	2
12,22 – 28,55	$1,4 \times 10^{-2} - 3,4 \times 10^{-2}$	3
28,55 – 40,75	$3,4 \times 10^{-2} - 4,7 \times 10^{-2}$	6
40,75 – 81,49	$4,7 \times 10^{-2} - 9,5 \times 10^{-2}$	8
>81,49	$>9,5 \times 10^{-2}$	10

Tipo de contaminante	Variable						
	D_w	R_w	A_w	S_w	T_w	I_w	C_w
Pesticida	5	4	3	5	3	4	2
No pesticida	5	4	3	2	1	5	3

Tabla 9: Clasificación de vulnerabilidad en función del valor obtenido por el método DRASTIC,

Valor DRASTIC ante pesticidas	Valor DRASTIC ante otro contaminante	Grado de vulnerabilidad
26 – 73	23 – 64	Muy bajo
74 – 120	65 – 105	Bajo
121 – 167	106 – 146	Moderado
168 – 214	147 – 187	Alto
215 - 260	188 - 230	Muy alto

