



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA

**HIDROGEOLOGÍA E HIDROQUÍMICA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS EN CUATRO
MICROCUENCAS DE LA ZONA CENTRAL DE CHILE: ESTUDIO APLICADO AL
CULTIVO DE LA VID.**

TESIS PARA OPTAR AL GRADO DE MAGISTER EN CIENCIAS MENCIÓN
GEOLOGÍA

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE GEÓLOGA

SOFÍA LÓPEZ URZÚA

PROFESOR GUÍA:

BRIAN TOWNLEY CALLEJAS

PROFESOR CO-GUÍA:

DIRK RÜTTGER

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:

KATJA DECKART

PAMELA CASTILLO LAGOS

SANTIAGO DE CHILE

2018

RESUMEN DE LA MEMORIA PARA OPTAR AL TITULO DE:

Geóloga y grado de Magíster en ciencias mención Geología

POR: Sofía López Urzúa

FECHA: Octubre 2018

PROFESOR GUÍA: Brian Townley Callejas

HIDROGEOLOGÍA E HIDROQUÍMICA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS EN CUATRO MICROCUENCAS DE LA ZONA CENTRAL DE CHILE: ESTUDIO APLICADO AL CULTIVO DE LA VID.

En el presente estudio se busca comprender los procesos geológicos y antropogénicos que controlan la hidroquímica de aguas subterráneas en cuatro microcuencas, en las cuales se desarrolla la viticultura, así como identificar los parámetros hidrogeológicos que puedan influenciar en la gestión de la vitivinicultura.

Para ello se estudiaron cuatro viñas de la Zona Central de Chile ubicadas en las regiones de Valparaíso (San Antonio y Casablanca), Libertador Bernardo O'Higgins (Santa Cruz) y del Maule (San Javier). En cada cuenca, se realizó una caracterización hidrológica e hidrogeológica, donde se midieron niveles freáticos. Además se realizaron mediciones fisicoquímicas y se colectaron muestras de agua subterránea, lluvia, tranque e irrigación durante dos temporadas (verano e invierno), las cuales fueron analizadas para determinar elementos mayores, menores y trazas.

Los resultados hidrogeoquímicos indican que los principales mecanismos que dominan la química del agua subterránea son los procesos de interacción agua-roca, y en las viñas de San Antonio y San Javier también se reconocen procesos de evapotranspiración. Dentro de los procesos geológicos, la meteorización de silicatos (plagioclasas, biotitas, anfíboles), meteorización de vidrio volcánico en el caso de San Javier, disolución de carbonato en San Antonio y San Javier, e intercambio catiónico en la viña de Casablanca, explican los contenidos de Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ y HCO_3^- en las aguas subterráneas. Sin embargo, se identificó que procesos de contaminación son otro factor que controla la química del agua. En específico la ocurrencia de nitratos, sulfatos y cloruros y parte del Mg^{2+} tienen como fuentes la aplicación de agroquímicos, presencia de ganadería e infiltración de aguas grises y negras. Por otro lado el análisis de los elementos trazas evidenció concentraciones de Al, Cu, Mn y Zn en las aguas de lluvia mayores que en las aguas subterráneas en las viñas de Casablanca y San Antonio, indicando una contaminación atmosférica cuya fuentes podrían ser aplicación de agroquímicos, actividades industriales o contaminación proveniente de puertos o grandes ciudades.

Se identificó que características hidrogeológicas como la ubicación de la red hidrográfica, la presencia de paleocanales, distribución de unidades hidrogeológicas y flujo subterráneo permiten delimitar zonas para el cultivo de calidad o de cantidad, es decir condiciones de estrés o abundancia hídrica. Estos factores permiten seleccionar predios o zonificar viñas dependiendo del objetivo de producción del viticultor. En los aspectos químicos, la calidad del agua de riego es esencial. El conocimiento de los procesos hidrogeoquímicos permite establecer una línea base de la calidad de agua y conocer el origen de los nutrientes disponibles en el agua y, por lo tanto, seleccionar zonas con buenas condiciones, para plantar y extraer agua y, mejorar la gestión de la aplicación de fertilizantes. En la viña de San Antonio debido a la evaporación, disolución de halita y meteorización de plagioclasas sódicas, las aguas tienen alto contenido de sodio y elevada salinidad, lo que se traduce en una mala calidad. En el caso de San Javier la precipitación de carbonatos y evapotranspiración incrementa el contenido de sodio y salinidad empeorando la calidad del agua. Finalmente en las viñas de Casablanca y Santa Cruz, los procesos hidrogeoquímicos dan como resultado aguas de mejor calidad, aunque la contaminación del acuífero en el caso de Santa Cruz disminuye su calidad.

El éxito no ocurre de la noche a la mañana, si no, es un proceso que conlleva disciplina, perseverancia y pasión. En su libro “Outliers”, Malcom Galdwell investiga la historia del éxito y expone la regla de las 10.000 horas; “investigadores se han decidido por lo que creen que es el número mágico de la verdadera experiencia: diez mil horas”. Si bien en la presente tesis, solo se invirtieron aproximadamente 4200 horas, menos de la mitad del número mágico, ésta es el resultado de un arduo trabajo, aprendizaje y entusiasmo, el cual continuaré desarrollando hasta superar ampliamente las 10.000 horas.

AGRADECIMIENTOS

Primero que todo, agradecer a Pamela Castillo y al profe Brian Townley, por permitirme formar parte de este proyecto y equipo de trabajo, donde descubrí el impresionante mundo de la biota y como ésta interactúa con lo que estudiamos, la tierra. Gracias por su apoyo, confianza, guía, motivación y aprendizaje. Agradecer de igual manera a la profesora Katja Deckart, Dirk Rüttger e Ignacio Serra por los aportes, ayuda y críticas en el desarrollo de esta investigación.

Agradecer a CORFO y Vinos de Chile por el financiamiento del proyecto y, por ende, de esta tesis. También al equipo del proyecto CORFO 12 CTI-16788, Pame, Muriel, Edu y Pauli por los buenos momentos de aprendizaje y distensión que vivimos tanto en terreno como en la Universidad. Gran parte de lo que es esta tesis, no se podría haber realizado sin su trabajo, ayuda y presencia.

De igual manera, quisiera agradecer a Vero, Maritza, Blanca, Don Carlos, Rosita y la señora Mariela por ayudarnos a resolver todos nuestros problemas, por su buena disposición y por hacer nuestra estadía en el departamento más grata. Igualmente a todos los profesores del departamento, en especial a la profesora Luisa Pinto, por motivarnos y hacer que “nos creamos el cuento”.

A todos los amigos y compañeros que encontré en la Universidad tanto en pregrado como en postgrado, gracias por la buena onda, conversaciones, diversión y estudio. Ha sido un agrado crecer profesionalmente y como persona junto a ustedes.

A Pancho, por compartir nuestra pasión por entender las cosas que nos rodean, sentir la naturaleza y acompañarnos en este largo camino, del cual terminamos una primera etapa ahora, pero espero sigamos recorriendo juntos por mucho tiempo.

Finalmente agradecer a mis papas, por enseñarme a nunca rendirme, a dar lo mejor de mí, esforzarme, inculcarme buenos valores y estar dispuestos a entregar siempre lo mejor de ustedes. Agradezco el esfuerzo que han hecho para enseñarnos, educarnos, despertar nuestro espíritu crítico, tanto a mí como a mis hermanos. Gran parte de lo que soy es gracias a ustedes. A mis hermanos Juaco, Ruli y Jose los quiero infinito, gracias por estar en mi vida.

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Marco conceptual.....	1
1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
1.3. OBJETIVOS	6
1.3.1. Objetivo general.....	6
1.3.2. Objetivo específicos	6
1.4. HIPOTESIS DE TRABAJO	6
1.5. PUBLICACIONES E INFORMES ASOCIADOS A ESTA INVESTIGACIÓN.....	7
1.5.1. Informes Internos Consorcio I+D Vinos de Chile	7
1.5.2. Congresos y publicaciones	7
1.6. METODOLOGÍA GENERAL DE TRABAJO	8
1.6.1. Recopilación de antecedentes	9
1.6.2. Campañas de terreno	9
1.6.3. Análisis hidrogeológico.	9
1.6.4. Análisis de datos químicos	10
1.6.5. Determinación de procesos hidrogeoquímicos	10
2. METODOLOGÍA DE MUESTREO Y PROCEDIMIENTOS ANALÍTICOS	11
2.1. MEDICIÓN DE NIVELES FREÁTICOS EN POZOS Y NORIAS	11
2.2. MUESTREO DE AGUAS	11
2.2.1. Trabajo pre-terreno	12
2.2.2. Trabajo de terreno	13
2.3. ANÁLISIS EN LABORATORIO	16
3. ANTECEDENTES GENERALES	18
3.1. UBICACIÓN	18
3.2. GEOMORFOLOGÍA Y GEOLOGÍA DE LAS ÁREAS DE ESTUDIO.....	19
3.2.1. Casablanca.....	19

3.2.2. San Antonio	21
3.2.3. Santa Cruz	24
3.2.4. San Javier	26
3.3. ANÁLISIS ADICIONALES DEL PROYECTO	30
3.3.1. Difracción de Rayos X	32
4. CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLOGICA	39
4.1. VIÑA CASABLANCA.....	39
4.1.1. CARACTERIZACIÓN HIDROLÓGICA.....	39
4.1.2. CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLOGICA.....	43
4.2. VIÑA SAN ANTONIO	55
4.2.1. CARACTERIZACIÓN HIDROLÓGICA.....	55
4.2.2. CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLOGICA.....	58
4.3. VIÑA SANTA CRUZ.....	68
4.3.1. CARACTERIZACIÓN HIDROLÓGICA.....	68
4.3.2. CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLOGICA.....	72
4.4. VIÑA SAN JAVIER.....	82
4.4.1. CARACTERIZACIÓN HIDROLÓGICA.....	82
4.4.2. CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLOGICA.....	85
5. CONTROL DE CALIDAD	99
5.1. CONTROL DE CALIDAD BUREAU VERITAS	99
5.1.1. Límite de detección.....	100
5.1.2. Cálculo del error analítico	101
5.1.3. Cálculo de error total.....	102
5.2. SERNAGEOMIN	102
5.2.1. Límite de detección.....	102
5.2.2. Cálculo del error total.....	103
5.3. Análisis de Electroneutralidad	103
5.3.1. Agua subterránea, riego y tranque.....	104

5.3.2. Agua lluvia	104
6. HIDROQUÍMICA DE LAS VIÑAS	106
6.1. CASABLANCA	106
6.1.1. Ubicación de los puntos de muestreo	106
6.1.2. Resultados químicos.....	107
6.1.3. Elementos mayores en aguas subterráneas.....	114
6.1.4. Elementos menores y trazas	117
6.1.5. Índices de saturación	118
6.1.6. Norma de calidad de agua viña de Casablanca	120
6.2. SAN ANTONIO	123
6.2.1. Ubicación de los puntos de muestreo	123
6.2.2. Resultados químicos.....	124
6.2.3. Elementos mayores	130
6.2.4. Elementos menores y trazas	133
6.2.5. Índices de saturación	134
6.2.6. Norma de calidad de agua viña de San Antonio.....	136
6.3. SANTA CRUZ	137
6.3.1. Ubicación de los puntos de muestreo	137
6.3.2. Resultados químicos.....	138
6.3.3. Elementos mayores	144
6.3.4. Elementos menores y trazas	147
6.3.5. Índices de saturación	149
6.3.6. Norma de calidad de agua viña de Santa Cruz	150
6.4. SAN JAVIER	152
6.4.1. Ubicación de los puntos de muestreo	152
6.4.2. Resultados químicos.....	153
6.4.3. Elementos mayores	159
6.4.4. Elementos menores y trazas	162

6.4.5. Índices de saturación	164
6.4.6. Norma de calidad de agua de la viña de San Javier	165
7. PROCESOS HIDROGEOQUÍMICOS	166
7.1. HIDROGEOQUÍMICA GENERAL DE LAS VIÑAS	166
7.2. CASABLANCA	168
7.3. SAN ANTONIO	176
7.4. SANTA CRUZ	182
7.5. SAN JAVIER	187
8. ANÁLISIS COMPARATIVO EN LAS CONDICIONES HIDROGEOLÓGICAS PARA EL CULTIVO DE LA VID.	191
8.1. ASPECTOS FÍSICOS	191
8.2. ASPECTOS QUÍMICOS	196
9. CONCLUSIONES.....	201
10. BIBLIOGRAFÍA	205
11. ANEXOS	211

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: Esquema del sistema de estudio del proyecto. Modificado de Castillo (en preparación 2018).	4
Figura 2.1: (A) Esquema de la medición del nivel freático. (B) Fotografía de una medición de un pozo a la derecha se puede observar el pozómetro utilizado en ambas campañas de terreno.	11
Figura 2.2: Colectores de agua lluvia. (A) Fotografía de colectores de agua lluvia instalados en la viña de San Antonio. (B) Esquema de los colectores.....	13
Figura 2.3: Fotografías de la colección de muestras. (A) Toma de muestra de agua subterránea desde un pozo con la ayuda de un Bailer.(B) Toma de muestra de agua de riego directamente desde el sistema de riego. (C) Toma de muestra de agua desde un tranque.	14
Figura 2.4: (A) Materiales y equipos para la medición de parámetros fisicoquímicos. (B) Materiales para la toma de muestras de aguas para cationes, aniones y trazas.	15
Figura 2.5: Esquema de la titulación de carbonatos.....	16
Figura 3.1: Mapa de ubicación de las viñas en estudio.....	18
Figura 3.2: Mapa geológico de la viña de Casablanca.....	20
Figura 3.3: Mapa geológico de la viña de San Antonio.	23
Figura 3.4: Mapa geológico Sector viña de Santa Cruz.	25
Figura 3.5: Mapa geológico de la viña de San Javier.....	28
Figura 3.6: Ubicación de los cuarteles y calicatas en las viñas en estudio. Castillo et al. 2017a.....	31
Figura 3.7: Diagrama de barra mostrando los resultados de DRX en la fracción limo-arcilla de la viña de Casablanca.....	33
Figura 3.8: Diagrama de barra mostrando los resultados de DRX en la fracción limo-arcilla de la viña de San Antonio.	35
Figura 3.9: Diagrama de barra mostrando los resultados de DRX en la fracción limo-arcilla de la viña de Santa Cruz.....	36
Figura 3.10: Diagrama de barra mostrando los resultados de DRX en la fracción limo-arcilla de la viña de San Javier.....	38
Figura 4.1: Precipitaciones anuales, estación Tapihue DGA.	40
Figura 4.2: Precipitaciones y temperatura estación Tapihue Meteovid.	40
Figura 4.3: Mapa de pendientes y curvas de nivel de la cuenca en estudio.	41

Figura 4.4: Distribución de la red hidrográfica, cuenca Tapihue.....	42
Figura 4.5: Fotos de la evolución del embalse Los Perales.	43
Figura 4.6: Afloramiento de intrusivos y dique aplítico en sector Tapihue.....	44
Figura 4.7: Vista al norte. Se observa el límite entre la Unidad de roca impermeable y la Unidad depósito de pie de monte.	44
Figura 4.8: Vista al SO. Límite inferido entre las diferentes unidades hidrogeológicas definidas.....	45
Figura 4.9: Caracterización hidrogeológica de la Cuenca de Tapihue.	46
Figura 4.10: Mapa de pozos, columnas estratigráficas y perfiles gravimétricos de la cuenca.....	48
Figura 4.11: Modelos de la Cuenca de Tapihue a partir de la interpretación de los perfiles geofísicos realizados por Rizzo Associates. Modificado de DGA (2015).....	49
Figura 4.12: Mapa de isopiezas del nivel freático Invierno 2015, las flechas indican la dirección del flujo subterráneo.....	52
Figura 4.13: Mapa de Isopiezas del nivel freático Verano 2016, las flechas indican la dirección del flujo subterráneo.....	53
Figura 4.14: Gráfico de precipitaciones en los últimos 26 años, estación Cerros de Leyda DGA.....	55
Figura 4.15: Climograma de la estación de meteorología de Ventisquero de Leyda.....	56
Figura 4.16: Mapa de pendientes y curvas de nivel de la cuenca Estero el Sauce...	57
Figura 4.17: Distribución de la red de drenaje en la cuenca estero El Sauce.	58
Figura 4.18: Afloramientos de la Unidad de roca (A) Ortogneiss de textura bandeada donde se observa la baja permeabilidad. (B) Afloramiento donde se observa foliación y mayor grado de permeabilidad.	59
Figura 4.19: Afloramientos de la Unidad Navidad. (A) Corresponde a la secuencia de areniscas y conglomerados. (B) Afloramiento de las coquinas, se puede apreciar un espesor de aproximadamente 6m.	60
Figura 4.20: Caracterización de unidades geológicas de la Cuenca el Sauce.....	62
Figura 4.21: Mapa de pozos, columnas estratigráficas para la cuenca el Sauce. Las columnas (1) y (2) corresponden a la Unidad Navidad y las columnas (3) a la Unidad Coluvial-fluvial. En las columnas, mientras más grande sea la trama de la simbología mayor es el tamaño de los sedimentos.	64
Figura 4.22: Mapa de isopiezas del nivel freático Invierno 2015, las flechas rosadas indican la dirección del flujo subterráneo.	66

Figura 4.23: Mapa de isopiezas del nivel freático Verano 2016, las flechas rosadas indican la dirección del flujo subterráneo.	66
Figura 4.24: Precipitaciones anuales, Estación Millahue de la DGA.	69
Figura 4.25: Climograma de la estación Ventisquero de Apalta, durante el periodo de estudio.....	69
Figura 4.26: Mapa de pendientes de la cuenca Apalta.	70
Figura 4.27: Mapa de curvas de nivel de la cuenca Apalta.	71
Figura 4.28: Distribución de la red de drenaje de la cuenca de Apalta.	72
Figura 4.29: Afloramiento de granodioritas de la Unidad Apalta.	73
Figura 4.30: Contacto inferido entre la Unidad Aluvial y Unidad Fluvial.	74
Figura 4.31: Calicata sobre Unidad Aluvial. Se observa la granulometría del depósito la cual es rica en partículas tamaño arena gruesa, media y gravas.....	75
Figura 4.32: Vista al NE, se observa el límite inferido entre la Unidad de Roca, impermeable con la Unidad Aluvial y la Unidad Coluvial.....	75
Figura 4.33: Foto de afloramiento Unidad Coluvial, donde se observa un clasto de .	76
Figura 4.34: Caracterización hidrogeológica de la cuenca Apalta.....	77
Figura 4.35: Mapa de distribución de pozos, columnas estratigráficas en la cuenca de Santa Cruz. La Columna (1) está ubicada en la Unidad Aluvial, mientras que las columnas (3) en la Unidad Fluvial y finalmente las columnas (2) en el límite de ambas unidades. En las columnas, mientras más grande sea la trama de la simbología mayor es el tamaño de los sedimentos.	78
Figura 4.36: Mapa de isopiezas de la cota freática en Invierno 2015, las flechas rosadas indican la dirección y sentido del flujo subterráneo.	80
Figura 4.37: Mapa de isopiezas de la cota freática en Verano 2016, las flechas rosadas indican la dirección y sentido del flujo subterráneo.	81
Figura 4.38: Gráfico de precipitaciones en los últimos 26 años, estación Melozal DGA.	82
Figura 4.39: Climograma de la estación meteovid, J.Bouchon.....	83
Figura 4.40: Mapa de pendientes y curvas de nivel de la Cuenca sector Melozal. ...	84
Figura 4.41: Distribución de la red de drenaje de la cuenca Melozal.	85
Figura 4.42: Caracterización hidrogeológica de la cuenca de Melozal.....	87
Figura 4.43: Afloramiento de la Formación Lo Valle se observa una intercalación de lavas y tobas.	88
Figura 4.44: Fotografía de la Unidad depósito piroclástico, se observan niveles de tobas impermeables en la parte superior y un paleo suelo en tonos más rojizos.....	89

Figura 4.45: Fotografía mirando al este, se puede observar la disposición de la Unidad de Roca y la Unidad de depósitos Piroclásticos.....	90
Figura 4.46: Fotografía de depósitos fluviales del río Loncomilla.....	91
Figura 4.47: Mapa de pozos y columnas estratigráficas en la cuenca Melozal.	92
Figura 4.48: Modelos de cuenca a partir de la interpretación de los perfiles geofísicos.	94
Figura 4.49: Mapa de isopiezas de la cota freática I15, las flechas rosadas indican la dirección y sentido del flujo subterráneo.	97
Figura 4.50: Mapa de isopiezas de la cota freática V16, las flechas rosadas indican la dirección y sentido del flujo subterráneo.	98
Figura 6.1: Puntos de muestreo en la cuenca de Tapihue.	107
Figura 6.2: pH de las muestras de agua.	109
Figura 6.3: Gráficos de la conductividad eléctrica para las muestras.....	110
Figura 6.4: Mapa de ubicación de las muestras de agua subterránea, riego y tranque. En verde oscuro las muestras de agua subterránea Invierno 2015, en verde claro las muestras de agua subterránea Verano 2016, en rosado agua de riego y en celeste agua de tranque.	112
Figura 6.5: Diagrama Piper de las muestras.	113
Figura 6.6: Diagrama Scholler-Berkalof, permite observar las disminuciones o 114	114
Figura 6.7: Concentraciones relativas de cationes y aniones en función del STD para las distintas muestras.	115
Figura 6.8 : Gráfico de los elementos traza en las muestras de agua subterránea, lluvia, riego y tranque.	117
Figura 6.9: Variación de los elementos trazas en los pozos donde se tomaron muestras en verano e invierno.....	118
Figura 6.10: Gráfico del índice de saturación mineral en las muestras de agua de la viña de Casablanca.....	119
Figura 6.11: Ubicación de los puntos de medición fisicoquímica del agua.....	123
Figura 6.12: pH de las muestras de agua viña de San Antonio.	126
Figura 6.13: Gráfico de la conductividad eléctrica de las muestras de agua viña de San Antonio.	126
Figura 6.14: Mapa de ubicación de las muestras de agua subterránea y tranque. En azul oscuro las muestras de agua subterránea de I15, en calipso las aguas subterráneas de V16 y en rosado la muestra de agua de tranque.....	128
Figura 6.15: Diagrama Piper de las muestras de la viña de San Antonio.	129

Figura 6.16: Diagrama Scholler-Berkaloff para la viña de San Antonio.....	130
Figura 6.17: Concentración de elementos mayores con respecto al STD.....	131
Figura 6.18: Gráfico de elementos traza en las muestras de agua subterránea, lluvia y tranque.	133
Figura 6.19: Gráfico de elementos trazas en los pozos donde se tomaron muestras en invierno y verano.	134
Figura 6.20: Cálculo de índice de saturación de la viña de San Antonio.....	135
Figura 6.21: Ubicación geográfica de los puntos de medición química y fisicoquímica del agua.	137
Figura 6.22: Gráfico de los cambio de pH en las muestras de agua.	140
Figura 6.23: Gráfico de la conductividad eléctrica de las muestras de la viña de Santa Cruz.....	140
Figura 6.24: Mapa de ubicación de las muestras de agua subterránea, escorrentía, riego y tranque junto al diagrama de Stiff correspondiente.	142
Figura 6.25: Diagrama de piper de la muestras de agua de la viña Santa Cruz.	143
Figura 6.26: Diagrama Scholler-Berkalof, muestra el patrón de la concentración de elementos mayores.	144
Figura 6.27: Concentración de elementos mayores con respecto al STD en la viña de Santa Cruz.	145
Figura 6.28: Gráfico de elementos menores y trazas en las muestras de la viña de Santa Cruz.	147
Figura 6.29: Variación de los elementos trazas en los pozos donde se tomaron muestras en ambas campañas.	148
Figura 6.30: Gráficos del cálculo del índice de saturación para las muestras de la viña de Santa Cruz.	149
Figura 6.31: Ubicación de los puntos de mediciones fisicoquímicas de las distintas muestras de agua en la viña de San Javier.	152
Figura 6.32: pH de las muestras de agua en la Viña de San Javier.....	155
Figura 6.33: Gráfico de la conductividad eléctrica en las muestras de agua de la Viña de San Javier.	156
Figura 6.34: Mapa de ubicación de las muestras de agua. En morado oscuro las muestras de agua subterránea de invierno 2015, en morado claro las muestras de agua subterránea verano 2016, en verde agua de riego y celeste el agua de tranque.	157
Figura 6.35: Diagrama de Piper de las muestras de la viña de San Javier.	158

Figura 6.36: Diagrama Scholler-berkaloff, de las muestras de agua de la viña de San Javier.....	159
Figura 6.37: Concentraciones relativas de cationes y aniones en función de STD en la viña de San Javier.....	161
Figura 6.38: Gráfico de elementos trazas en las muestras de agua subterránea, tranque riego y lluvia.	163
Figura 6.39: Gráfico de elementos trazas en los pozos donde se tomaron muestras en invierno y verano.	163
Figura 6.40: Gráfico del índice de saturación para distintos minerales en las muestras de agua de San Javier.	164
Figura 7.1: Diagrama de Gibbs (1970), razones de $Na/(Na+Ca)$ y $Cl/(Cl+HCO_3)$ en función del STD indicando los mecanismos que controlan la química del agua.	167
Figura 7.2: (A) Diagrama mostrando la disolución de carbonatos y la meteorización de silicatos. Se observa que el origen de los iones en solución es la meteorización de silicatos. (B) Diagrama que muestra el exceso de HCO_3 , indicando origen por meteorización de silicatos. (C) Diagrama que muestra la relación entre Na, Ca y HCO_3 , las muestras caen cercanas a la línea 4:3, indicando que el origen de los iones es la meteorización de plagioclasas (D) Relación entre sodio y bicarbonato.	169
Figura 7.3: Diagrama indicando la relación entre calcio y magnesio con sodio y potasio.	171
Figura 7.4: (A) Gráfico de magnesio vs. bicarbonato, indica su correlación. (B) Gráfico donde se observa la relación entre magnesio y sulfato. Se observa que la disolución de $MgSO_4$ no explica toda la concentración de magnesio.	172
Figura 7.5: STD versus Na/Cl , indicando procesos de evaporación y concentración.	176
Figura 7.6: (A) Diagrama de sodio en función del bicarbonato, indicando su buena relación (B) Gráfico de Cl vs. Na que indica que no todo el sodio proviene de la disolución de halita o aerosol marino (C) Diagrama mostrando la disolución de carbonatos y meteorización de silicatos controlan la química del agua (D) Diagrama indicando la línea de disolución de la calcita.....	177
Figura 7.7: (A) Mg en función del bicarbonato (B) Mg en función de sulfato, indicando buena correlación, aunque la totalidad del magnesio no se explica por la disolución de $MgSO_4$. (C) Gráfico indicando la disolución del yeso.	179
Figura 7.8: Fotografía de cristal de yeso observado en el suelo de la calicata CT-5	180

Figura 7.9: (A) Diagrama mostrando la línea de disolución de la calcita. (B) Diagrama indicando que la química del agua está controlada por la meteorización de silicatos. (C) Diagrama del bicarbonato en función del calcio y magnesio, evidenciando el exceso de bicarbonato el cual debe ser balanceado por sodio. (D) Diagrama que muestra la relación entre Na, Ca y HCO ₃ , las muestras cercanas a la línea tienen como origen la meteorización de plagioclasas.....	183
Figura 7.10: (A) Gráfico de magnesio versus bicarbonato. (B) Gráfico que indica la línea de disolución del MgSO ₄ , el cual corresponde a un fertilizante que tiene como objetivo corregir la deficiencia de magnesio.....	184
Figura 7.11: (A) Diagrama de sodio en función del bicarbonato. (B) Diagrama de magnesio en función del bicarbonato. (C) Diagrama de calcio en función del bicarbonato. (D) Diagrama indicando que la química del agua está controlada por meteorización de silicatos y precipitación de carbonatos.....	188
Figura 8.1: Distribución de raíces en viña de San Javier, la zona saturada se observa en la foto. La zona negra corresponde a la materia orgánica en descomposición producto del cambio del nivel freático, lo que explica la reducción de cantidad de raíces bajo este límite (López et al. 2017a).	192
Figura 8.2: La calicata VP1 tiene como material parental un depósito de remoción en masa el cual es menos permeable, produciendo anegamiento en la parte superficial del suelo. López et al. (2017a)	194
Figura 8.3: Mapa de las viñas de Santa Cruz y San Javier mostrando canales y paleocanales. López et al. (2017a).	195

INDICE DE TABLAS

Tabla 2.1: Elementos analizados en SERNAGEOMIN y su límite de detección.	16
Tabla 2.2: Elementos menores y trazas con sus respectivos límites de detección. ..	17
Tabla 3.1: Características agro-enológicas de las viñas en estudio.....	19
Tabla 3.2: Petrografía de las muestras de la Unidad Los Perales y de la Aplita de turmalina. Promedio del análisis modal de los cortes transparentes de las muestras. Obtenido de Contreras (2017).....	21
Tabla 3.3: Petrografía de las muestras de la Unidad San Antonio y dioritas metamorfizadas. Promedio del análisis modal de los cortes transparentes de las muestras. Obtenido de Contreras (2017).	24
Tabla 3.4: Petrografía de las muestras de las Unidad Apalta y Andesitas el Peñón. Promedio del análisis modal de los cortes transparentes de las muestras. Obtenido de Contreras (2017).	26
Tabla 3.5: Petrografía de las muestras de Volcanitas Melozal y Depósito de oleada piroclástica. Promedio del análisis modal de los cortes transparentes de las muestras. Obtenido de Contreras (2017).....	29
Tabla 3.6: Muestras en la cuales se realizaron análisis de DRX.....	32
Tabla 3.7: Tabla con la identificación de arcillas en la viña Casablanca y San Antonio. Hz= horizonte, Sme=esmectita. Vrm=vermiculita, Ill=illita, Kln=caolinita, Chl= clorita. Obtenido de Salgado (en preparación)	34
Tabla 3.8: Tabla con la identificación de arcillas en la viña Santa Cruz y San Javier. Hz= horizonte, Sme=esmectita. Vrm=vermiculita, Ill=illita, Kln=caolinita, Chl= clorita. Obtenido de Salgado (en preparación).	37
Tabla 4.1: Profundidades promedio de las líneas geofísicas.	49
Tabla 4.2: Constantes hidráulicas obtenidas a partir de pruebas de bombeo.	50
Tabla 4.3: Valores del nivel freático durante las campañas de Invierno 2015 y Verano 2016.	51
Tabla 4.4: Valores del nivel freático durante las campañas de Invierno 2015 y Verano 2016.	65
Tabla 4.5: Valores del nivel freático durante las campañas de Invierno 2015 y verano 2016 de la viña Santa Cruz.	80
Tabla 4.6: Datos de las estaciones gravimétricas.	94
Tabla 4.7: Parámetros elásticos obtenidos a partir de pruebas de bombeo.....	95

Tabla 4.8: Datos de las mediciones freáticas para ambas campañas.....	96
Tabla 5.1: Porcentaje de muestras sobre límite de detección en cada elemento. En rojo los elementos que tienen menos de 70% de muestras sobre el límite, pero que no fueron eliminados. Los espacios en blanco corresponden a los elementos que no cumplieron el control de calidad (más de 30% bajo límite de detección).	101
Tabla 5.2: Tabla de errores admisibles (Custodio y Llamas, 1976).....	104
Tabla 5.3: Errores calculados para agua de lluvia.....	105
Tabla 6.1: Matriz de correlación simplificada. En rojo se muestran los elementos que tienen coeficientes de correlación mayores a 0,8 y en verde mayores 0,5	108
Tabla 6.2: Resultados fisicoquímicos de las muestras de agua Viña Casablanca. .	109
Tabla 6.3: Matriz de correlación simplificada viña de San Antonio. En rojo se muestran los compuestos que tienen coeficientes de correlación mayores 0,9 y en verde mayores a 0,8.....	124
Tabla 6.4: Resultados fisicoquímicos de las muestras de agua de la viña de San Antonio.	125
Tabla 6.5: Matriz de correlación simplificada de algunos elementos en la viña de Santa Cruz. En rojo variables con coeficientes mayores 0,9 y en verde mayores a 0,8....	138
Tabla 6.6: Resultados fisicoquímicos de las muestra de agua de la viña de Santa Cruz.	139
Tabla 6.7: Matriz de correlación simplificada de algunos elementos de las muestras de la viña de San Javier. En rojo coeficientes de correlación mayores a 0,9 y en verde mayores a 0,8.....	153
Tabla 6.8: Resultados delas mediciones fisicoquímicas de las muestras de agua de la viña de San Javier.....	154
Tabla 8.1: Tabla resumen de los valores del nivel freático durante las campañas de I15 y V16. Los datos corresponden al promedio para la cuenca (en rojo), valor máximo y mínimo.....	192
Tabla 8.2: Tabla resumen de la calidad del agua de las viñas. Los valores muestran el máximo y mínimo por tipo de agua, en rojo se presentan las aguas que tienen asociado mayor riego de salinidad.	197

1. INTRODUCCIÓN

En el contexto de la creciente industria vitivinícola, iniciativas de investigación e innovación han sido desarrolladas por investigadores y productores, con el fin de aumentar la competitividad de uno de los sectores más vitales de la economía chilena. En base a lo anterior, en el presente trabajo se estudia la hidrogeología e hidroquímica de cuatro microcuencas en las cuales se emplazan viñas, para comprender los procesos geológicos y actividades antrópicas que controlan la química de las aguas subterráneas. De esta manera se busca vincular la hidrogeología de las cuencas, con características del cultivo de la vid y así generar conocimientos que impacten en la administración, manejo y desarrollo sustentable de viñas, así como generar criterios de selección y caracterización de predios.

1.1. MARCO CONCEPTUAL

La producción de vino en Chile data desde la época de la colonia, alrededor del 1546, cuando el sacerdote Francisco de Carabantes introdujo la cepa “País”, en los alrededores de la ciudad de Concepción (Nahrword, 2013). En la actualidad, Chile es el cuarto exportador mundial del sector, con volúmenes de 9,1 millones de hectolitros en 2016 (Jean–Marie Aurand, 2017).

Si bien el aumento de la producción de vino ha impulsado la construcción de bodegas de alta tecnología, ampliación de las fronteras tradicionales de la viticultura chilena e introducción de nuevas cepas, entre otros avances, aún falta mayor desarrollo científico-tecnológico que permita posicionar los vinos chilenos a un mejor nivel (Nahrword, 2013).

Es conocido que ciertos tipos de rocas en el sustrato son particularmente apreciadas por los viñateros como son los sustratos carbonatados en Francia o el suelo de Terra Rosa en Australia (Hancock y Huggett, 2014; Mee et al., 2004). La denominación de origen de un vino permite otorgar un aspecto de calidad diferenciada, producto de un conjunto de características propias y diferenciables, relacionadas al medio geográfico donde se producen las uvas. La denominación de origen permite entonces caracterizar un vino como único, y de esta forma otorgar especificidad.

En Chile la ausencia de estudios geológicos, mineralógicos y geoquímicos que relacionen la calidad, morfología y química de suelos con propiedades agrícolas y biológicas de viñedos, limita al mercado nacional en comparación a los vinos internacionales, que basan su estrategia de comercialización en una larga trayectoria de estudios y relación de especificidad respecto al entorno local y regional.

Frente a este pronóstico, el proyecto CORFO 12 CTI-16788, titulado “Influencias geológicas, mineralógicas y geoquímicas en el cultivo de la vid en Chile”, busca identificar la influencia de las características geológicas, texturales y mineralógicas del suelo y sustrato, así como la evolución en dos años de la geoquímica y fisicoquímica del suelo y aguas, en la química del fruto, en viñas que cultivan variedades de tintos y espumantes, para, a partir de ello, caracterizar geológicamente los principales valles vitivinícolas de Chile.

En las viñas chilenas no existen criterios geológicos respecto de localidades específicas donde realizar cultivos que pudieran lograr propiedades únicas. Sin embargo, existen viñas donde, dentro de un mismo predio, se producen vinos de calidades distintas. Estudiar aspectos geológicos e hidrogeológicos y el rol de estos en la tipificación de viñas, busca generar conocimientos que impacten en la administración, manejo y desarrollo sustentable de viñas y a su vez determinar criterios de selección y caracterización de predios.

Los estudios realizados en el marco del mencionado proyecto CORFO, han representado un importante desafío de investigación, desarrollo e innovación en la industria del vino chileno, pudiendo otorgar valor agregado a los productos que en la actualidad pueden estar altamente subvalorados.

La geología del entorno y sustrato en viñas tiene efectos físicos y químicos sobre la vid. En efectos físicos, por ejemplo, la meteorización regula en gran medida la estructura y textura de suelos y sustratos, regulando a su vez la permeabilidad. En el caso de los efectos químicos la composición geoquímica de suelos y material parental ha sido trazable en la química del fruto (Castillo et al., 2017), además por efectos de reacciones de equilibrio agua/suelo/roca se regulan las condiciones físico-químicas (pH, Eh) y la meteorización mineral, así como también las condiciones de solubilidad de nutrientes (elementos, químicos) en el agua y por lo tanto la disponibilidad para la planta.

Se ha demostrado también que las condiciones hidrogeológicas influyen en el desarrollo de la vid, en específico, en el desarrollo de las raíces. López et al. (2017a) determinó que la presencia de agua es un factor importante que controla la cantidad de raíces finas. Plantas en cuencas donde el nivel freático está cercano a la superficie, tienden a tener mayor crecimiento de raíces finas. Sin embargo, si la zona saturada está muy cercana de la superficie, es decir a la altura de las raíces, se produce el efecto contrario evitando el crecimiento de éstas.

Finalmente, frente al pronóstico del cambio climático, conocer la relación entre geología e hidrogeología con el cultivo de la vid, permitirá tomar decisiones con criterios básicos para la selección de nuevos predios para la plantación de parras.

1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los procesos y sistema en estudio corresponden a parte de la Zona Crítica, la que se definió en 2001 por el National Research Council's Committee on Basic Research Opportunity in Earth Sciences (2001), como la capa externa de la tierra que se extiende desde los límites exteriores de la vegetación hasta e incluyendo la zona de las aguas subterráneas. Esta zona corresponde a la interface entre los materiales de la tierra y el mundo biótico, que modula la transferencia de nutrientes que provienen desde las rocas hacia los seres vivos (Brantley et al., 2006)

La Zona Crítica representa la zona de equilibrio entre rocas y minerales, formados a altas temperaturas y altas presiones, con las condiciones que se dan en superficie. En sistemas naturales este equilibrio es controlado principalmente por el clima, tiempo de exposición, litología, topografía y biota. Sin embargo, en la actualidad el factor antropogénico controla fuertemente este equilibrio, cambiando la superficie de la tierra. Por ejemplo, la mitad de las condiciones de la superficie terrestre han sido transformadas por la actividad humana (Vitousek et al., 1997), producto del desarrollo demográfico y económico (minería, industria forestal y agrícola, entre otras).

Para poder determinar la influencia de la geología en la viticultura es necesario estudiar la relación de equilibrio o desequilibrio que existe entre el material parental, el suelo, agua, planta, clima y actividad antropogénica, lo que se ilustra en la Figura 1.1.

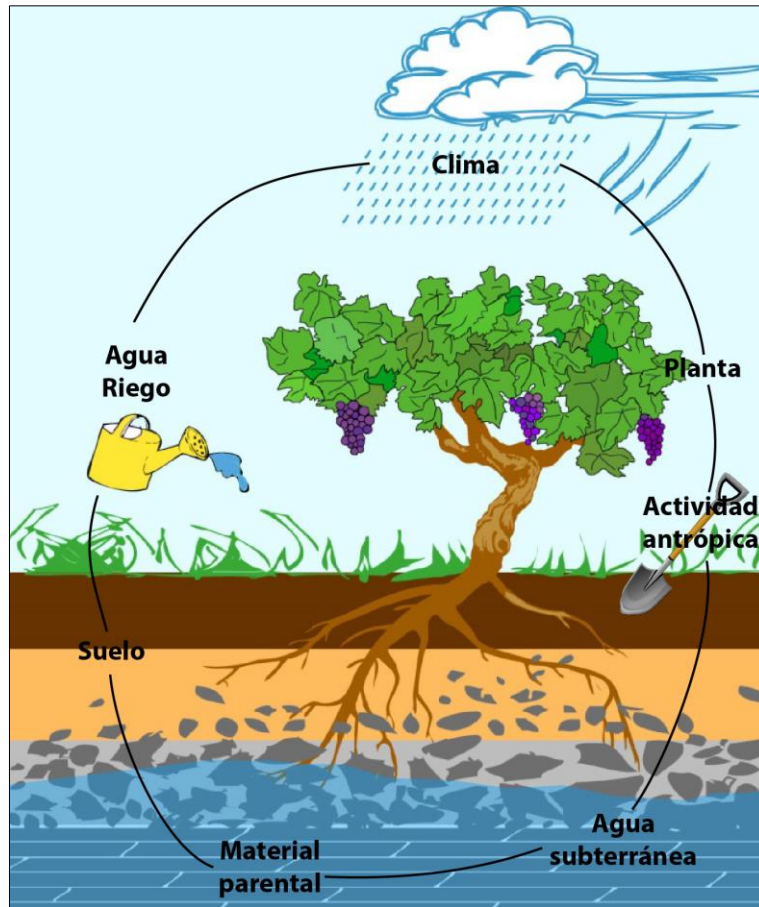


Figura 1.1: Esquema del sistema de estudio del proyecto. Modificado de Castillo (en preparación 2018).

La composición geoquímica de un suelo es función directa de la composición mineral de éste. A su vez la composición y equilibrio mineral de un suelo es la respuesta mineral a los procesos de meteorización física y química del material parental, principalmente producto de la interacción agua-roca, y atmosfera.

La meteorización química de las rocas suministra nutrientes a la biota en forma de componentes disueltos en el agua (White, 2013). Por lo tanto, la presencia de ciertos minerales en el suelo tanto como en el sustrato y su susceptibilidad a descomponerse e intercambiar cationes con el medio, define la concentración y disponibilidad de nutrientes, en función de la composición mineral y orgánica del suelo o sustrato, la composición química del agua y la relación de agua-medio hospedante.

Por otro lado, la interacción agua-roca no solo influirá en la disponibilidad de nutrientes para las plantas, sino que la precipitación o disolución de minerales controlará la textura y permeabilidad del suelo. Por ejemplo, la generación de arcillas del grupo de la

esmectita, es decir arcillas con propiedades expansivas, tiende a reducir la permeabilidad del suelo impidiendo la infiltración del agua subterránea (Bauder et al. 2011).

Los procesos hidrogeoquímicos, como la disolución, precipitación, intercambio iónico y sorción, junto con el tiempo de residencia que tiene un flujo de agua, controlarán la composición química de las aguas subterráneas y la mineralogía resultante (Apodaca et al., 2002). Es por esto que estudiar la relación que existe entre material parental, suelo, aguas de riego, agua subterránea y de lluvia permite caracterizar los procesos que ocurren en la interacción agua-medio hospedante.

La determinación de los factores hidrogeoquímicos ideales para el desarrollo de la vid, es decir, aquellos que promueven la ocurrencia de procesos que generen la liberación de cationes, la solubilidad de estos y la capacidad de retención mediante intercambio catiónico, podría permitir caracterizar zonas de buena calidad para el desarrollo de la agricultura y por ende de la vitivinicultura.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. Objetivo general

Estudiar la hidrogeología e hidrogeoquímica local de cuatro viñas de la zona central de Chile durante un año, para comprender los procesos químicos de interacción agua-roca y determinar qué parámetros controlan las condiciones fisicoquímicas y geoquímicas del agua en un sistema de viticultura.

1.3.2. Objetivo específicos

- Caracterizar la hidrogeología de las viñas en estudio, describiendo la geología de las viñas, sus respectivas unidades hidrogeológicas y sus parámetros hidráulicos.
- Determinar los flujos subterráneos y las variaciones piezométricas de las cuencas, entre las temporadas invierno y verano, durante un año.
- Estudiar la influencia de los procesos de interacción agua-medio hospedante, en las propiedades fisicoquímicas y geoquímicas del agua subterránea.
- Reconocer posibles variaciones estacionales de los parámetros fisicoquímicos y químicos del agua subterránea.
- Identificar los procesos que controlan la composición del agua subterránea, conociendo la mineralogía de la roca parental y los suelos, en conjunto con la química del agua.
- Analizar la calidad química del agua y posibles fuentes de contaminación.
- Determinar condiciones hidrogeológicas e hidroquímicas favorables para el cultivo de la vid.

1.4. HIPOTESIS DE TRABAJO

Los procesos de meteorización química, modulados por la hidrólisis de silicatos, disolución de carbonatos y formación de arcillas, junto a la influencia de la agricultura y variaciones estacionales son los principales factores que controlan las condiciones fisicoquímicas del agua subterránea.

1.5. PUBLICACIONES E INFORMES ASOCIADOS A ESTA INVESTIGACIÓN

1.5.1. Informes Internos Consorcio I+D Vinos de Chile

Castillo, P., López, S., Salgado, P., Contreras, M., Townley, B., Serra, I. 2017d. Informe N°2: Resultados estudio piloto años 2014-2017 del Proyecto “Influencias geológicas, mineralógicas y geoquímicas del cultivo de la vid en Chile”. Informe Interno Proyecto Corfo Innova – Consorcio I+D Vinos de Chile. 46 pp.

Castillo, P., Townley, B., López, S., Salgado, P. 2017c. Manual Metodológico para el estudio geológico-ambiental de viñedos. Informe Interno Proyecto CORFO Innova – Consorcio I+D Vinos de Chile. Santiago. 19 pp.

Castillo, P., Townley, B., López, S. 2016. Manual Metodológico para el estudio geológico-ambiental de viñedos (Versión 1). Informe Interno Proyecto CORFO Innova – Consorcio I+D Vinos de Chile. Santiago. 11 pp.

Castillo, P., Contreras, M., López, S., Serra I., Townley, B. 2015. Informe resultados año 2: Proyecto Influencias geológicas, mineralógicas y geoquímicas del cultivo de la vid en Chile. Informe Interno Proyecto Corfo Innova – Consorcio I+D Vinos de Chile. 175 pp.

1.5.2. Congresos y publicaciones

Los resúmenes de las publicaciones y congresos se presentan en los anexos 1.

López, S., Castillo, P., Rüttger D., Townley, B. 2018b. Procesos hidrogeoquímicos y contaminación de aguas subterráneas en cuatro viñas de la zona Central de Chile. XV Congreso Geológico Chileno. Concepción-Chile. **(Anexo 1.1)**

López, S., Castillo, P., Serra, I., Townley, B., Flores P. 2018a. The role of hydrogeology in the development of viticulture. XV Congreso Geológico Chileno 15. Concepción-Chile. **(Anexo 1.2)**

Castillo, P., **López, S.,** Townley, B., Serra, I. 2018. Influencia antrópica en la bio-geoquímica del sistema roca-suelo-planta, estimada por metales, metaloides y tierras raras en suelos vitivinícolas de la Zona Central de Chile. XV Congreso Geológico Chileno. Concepción-Chile. **(Anexo 1.3)**

López, S., Castillo, P., Townley, B., Rüttger, D. 2017b. Hydrogeochemical process and contamination of groundwater in Tapihue alluvial basin, Central Chile. Goldschmidt Conference. Paris-Francia. (**Anexo 1.4**)

López, S., Castillo, P., Serra, I., Townley, B. Flores, P. 2017a. Geological and hydrogeological influences in the development of roots in viticulture, study in four vineyards of the Central Zone of Chile. 40th Congress of Vine and Wine. Sofía-Bulgaria. (**Anexo 1.5**)

Castillo, P., Serra, I., Townley, B., **López, S.,** Flores, P. 2017a. Biogeochemical association of soil and nutrients in cv. Carmenere and Pinot Noir berries: Applied study in four vineyards of Central Chile. 40th Congress of Vine and Wine. Sofía-Bulgaria. (**Anexo 1.6**)

Castillo, P., Townley, B., Contreras, M., **López, S.,** Cortés, E. 2015. Análisis geoquímico de suelos derivados de granitoides en los valles de Casablanca y Santa Cruz. XIV Congreso Geológico Chileno. La Serena-Chile. (**Anexo 1.7**)

Castillo-Lagos P., Serra, I., Townley, B., **López, S.,** Contreras, M., Flores, P. En preparación. Biogeochemical association of essential mineral elements between rocks, soils and grape berries (*Vitis vinifera* L.): Environmental study in four vineyards of central Chile (33°-36°S) (Science of Total Environment).

Castillo-Lagos P., Townley, B., Serra, I., Contreras, M., **López, S.,** Salgado, P., Mann, A., Flores, P. En preparación. Geochemical and mineralogical transformation from granitic parent materials to soils in two vineyard environments of Central Chile: Lithogenic, Pedogenetic and Antropogenic Influences. (Geoderma Journal).

Townley, B., Castillo, P., Brossard, N., **López, S.,** Serra, I. En preparación. Geology, geochemistry and wines. (Andean Geology).

1.6. METODOLOGÍA GENERAL DE TRABAJO

El desarrollo de los estudios para la realización de la presente tesis se divide en 5 etapas principales.

1.6.1. Recopilación de antecedentes

Corresponde a la recopilación de antecedentes sobre las zonas de estudio, que consisten en la geología, y geomorfología de las áreas de estudio, que fue realizada dentro del proyecto y descritas en las tesis de Contreras (2017) y Lagos (2015). Además, se recopilan antecedentes hidrogeológicos, como informes y bases de datos de la DGA, catastro de pozos, descripción de sondajes y antecedentes hidrológicos (precipitaciones, temperaturas).

1.6.2. Campañas de terreno

Se realizaron dos campañas de terreno, separadas por 6 meses, con el fin de caracterizar las posibles variaciones estacionales en los parámetros físico-químicos y/o en la composición del agua en cada viña en estudio. En ambas campañas se realizaron mediciones del nivel freático en pozos y norias.

La primera campaña (Invierno 2015 o I15) se realizó entre Agosto y Septiembre del 2015. En esta se tomaron muestras de agua subterránea y de lluvia. Para cada muestra se midieron *in-situ* los parámetros fisicoquímicos: pH, temperatura, conductividad eléctrica y Eh. Además, se colectaron muestras de aguas para análisis de elementos mayores y trazas.

La segunda campaña (Verano 2016 o V16) se realizó entre Enero y Febrero del 2016. Durante esta temporada se muestreó agua subterránea, de riego y de tranque. Para cada muestra se realizó el mismo procedimiento que en la campaña de invierno.

1.6.3. Análisis hidrogeológico.

Para la realización del análisis hidrogeológico, se delimitaron las cuencas, la geometría del acuífero y red de drenaje a partir de imágenes DEM “Alos palsar”, procesadas con los softwares Arcgis y Google Earth.

La caracterización de las unidades hidrogeológicas y sus parámetros hidráulicos se realizó en base a la información recopilada en la DGA (informes, estudios y mapeo de sondajes), en conjunto con el mapeo e información levantada en terreno.

Se determinó la dirección del flujo del agua subterránea mediante la realización de mapas de isopiezas para cada viña en invierno y verano.

1.6.4. Análisis de datos químicos

El análisis de datos incluye la determinación de tipo de aguas según elementos mayores (diagramas de clasificación, Piper, Stiff y Schoeller), realización de gráficos de variaciones estacionales de la química del agua, mapas de concentración y distribución de elementos en superficie, y cálculo de índices de saturación. También se realizó estadística univariable (media, valor máximo y mínimo, desviación estándar, valores umbrales), y por último se compararon las muestras de agua con las normas de agua de riego y agua potable.

1.6.5. Determinación de procesos hidrogeoquímicos

Se determinaron los factores que controlan la química del agua subterránea, a partir de los resultados químicos, parámetros fisicoquímicos analizados *in-situ* y los datos de mineralogía del suelo (Salgado, en preparación) y de la roca parental (Castillo, en preparación) obtenidos en el marco del proyecto.

2. METODOLOGÍA DE MUESTREO Y PROCEDIMIENTOS ANALÍTICOS

2.1. MEDICIÓN DE NIVELES FREÁTICOS EN POZOS Y NORIAS

Durante ambas campañas se midieron los niveles freáticos en pozos y norias en las cuencas de la viña. Para ello se utilizó un pozómetro (Figura 2.1), el cual se introdujo en los pozos para determinar el nivel freático y posteriormente determinar la cota freática. Esta corresponde al valor de la topografía (altura sobre nivel del mar), la cual se midió con un GPS, menos el valor del nivel freático. A partir de los datos recopilados se realizaron mapas de isopiezas para determinar la dirección del flujo subterráneo en las cuencas.

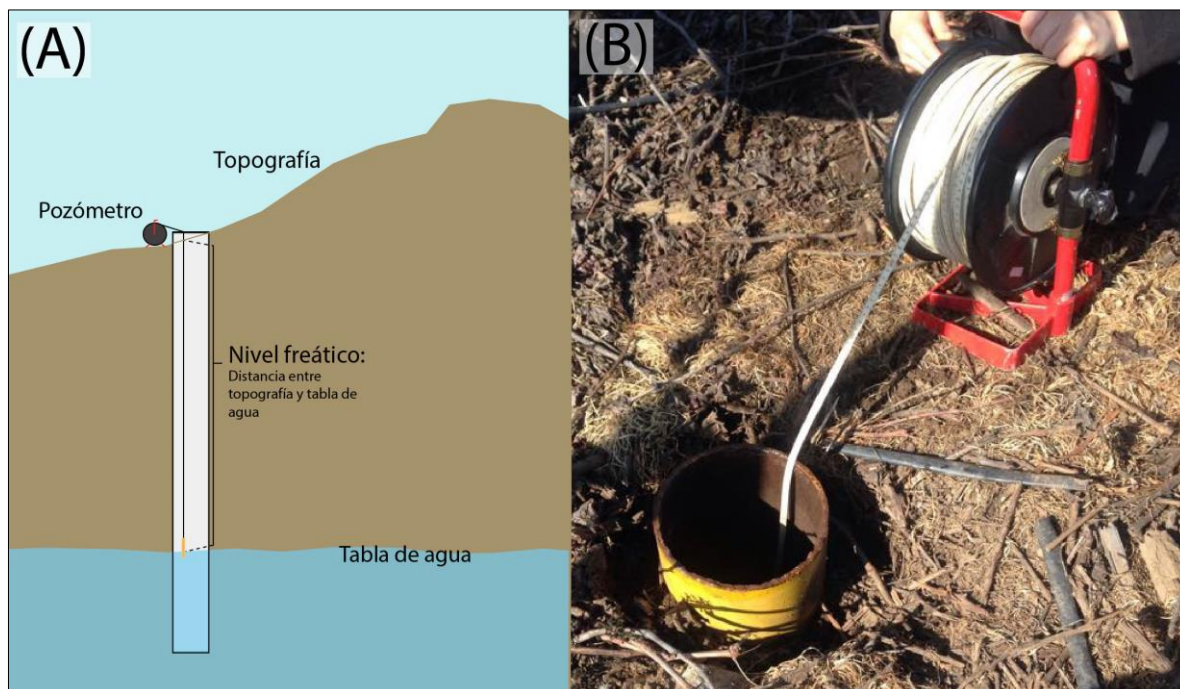


Figura 2.1: (A) Esquema de la medición del nivel freático. (B) Fotografía de una medición de un pozo a la derecha se puede observar el pozómetro utilizado en ambas campañas de terreno.

2.2. MUESTREO DE AGUAS

El muestreo de aguas para análisis químico debe realizarse con altos estándares de calidad, esto debido a que se miden contenidos iónicos y elementales en muy bajas concentraciones, por tanto, es necesario evitar cualquier contaminación externa de las muestras que pueda alterar los resultados.

2.2.1. Trabajo pre-terreno

2.2.1.1. Lavado y almacenamiento de botellas plásticas

Las botellas de plástico de alta densidad, el muestreador de agua subterránea “Bailer”, el material de recolección de agua lluvia y los vasos plásticos se lavaron previamente en el Laboratorio de Química del Departamento de Geología. El procedimiento de lavado consistió en llenar los envases con una solución al 10% de HNO₃ y agua destilada, las cuales se mantuvieron durante dos a tres días en reposo, para luego enjuagarlas tres veces con agua desmineralizada. Finalmente, fueron guardadas en bolsas de plástico de alta densidad y selladas con cinta adhesiva para evitar la interacción con el medio antes del muestreo.

2.2.1.2. Calibración de equipos

Los equipos que se utilizaron para la medición de parámetros fisicoquímicos se calibraron en el laboratorio. Los equipos utilizados son los siguientes:

- Medidor de electroconductividad *in-situ* en suelos (CE y T°), Marca Hanna®.
- pHímetro *in-situ* en suelos (pH y T°), Marca Hanna®.
- Medidor multipropósito (pH, EC y T°), Marca Hanna®.
- Medidor ORP (Eh y T°), Marca Ecosense®.

2.2.1.3. Fabricación de colectores agua lluvia

Se fabricaron dos colectores de agua lluvia por viña, para ello se utilizó un balde con su respectiva tapa. En el centro de la tapa se puso un embudo para recolectar el agua lluvia, la que se almacenó dentro de un recipiente plástico al interior del balde. Sobre el embudo se dispuso una malla para evitar el ingreso de material orgánico y polvo dentro del balde (Figura 2.2). Los colectores fueron instalados en sectores específicos de las viñas a la espera de las precipitaciones.

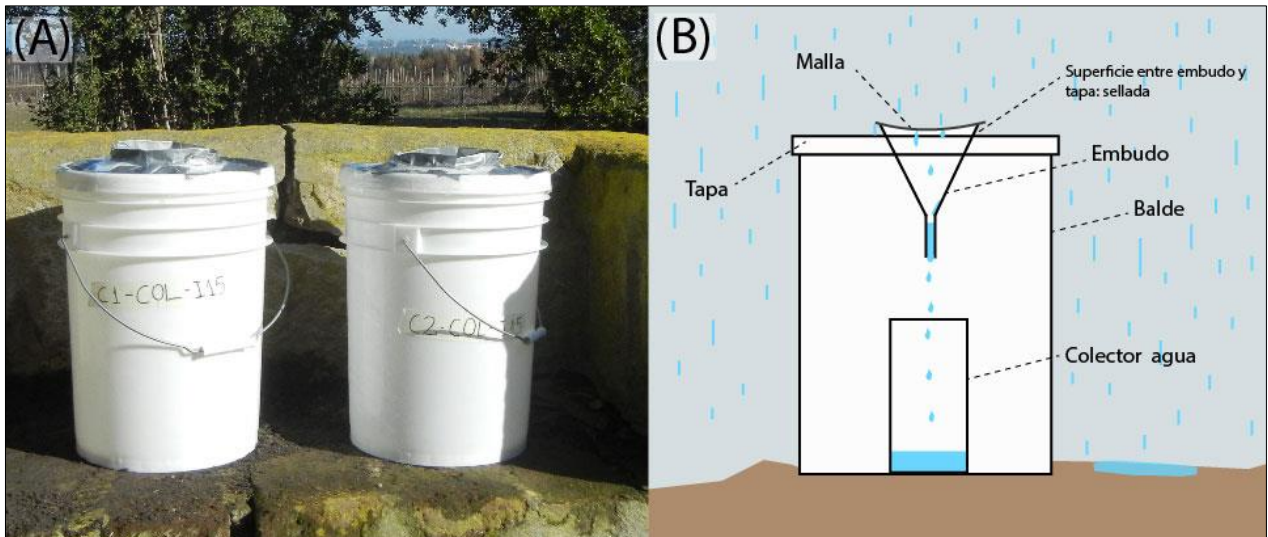


Figura 2.2: Colectores de agua lluvia. (A) Fotografía de colectores de agua lluvia instalados en la viña de San Antonio. (B) Esquema de los colectores.

2.2.2. Trabajo de terreno

2.2.2.1. Colección de muestras de agua lluvia

Las muestras de agua lluvia se extrajeron directamente desde los colectores de agua lluvia (Figura 2.2).

2.2.2.2. Colección de muestras de aguas subterránea

Para coleccionar la muestra de agua subterránea desde las norias o pozos se utilizó un equipo Bailer, o bien se tomó la muestra directamente desde la llave en pozos cerrados. En este caso, se dejó correr el agua por unos minutos para limpiar las tuberías (Figura 2.3A). Antes de coleccionar la muestra es importante ambientar los equipos (Bailer y bidón). Para ello se lavó con el agua a muestrear tres veces, agitando enérgicamente (ambientación), y posteriormente se coleccionó la muestra definitiva.

2.2.2.3. Colección de muestras de agua de riego

Las muestras de agua se recolectaron directamente desde el sistema de riego de las viñas (Figura 2.3B). Para el caso de las muestras de tranque, se tomó el agua directamente en el tranque con la ayuda de un vaso plástico o bidón, los cuales se ambientaron tres veces, antes de tomar la muestra (Figura 2.3C).

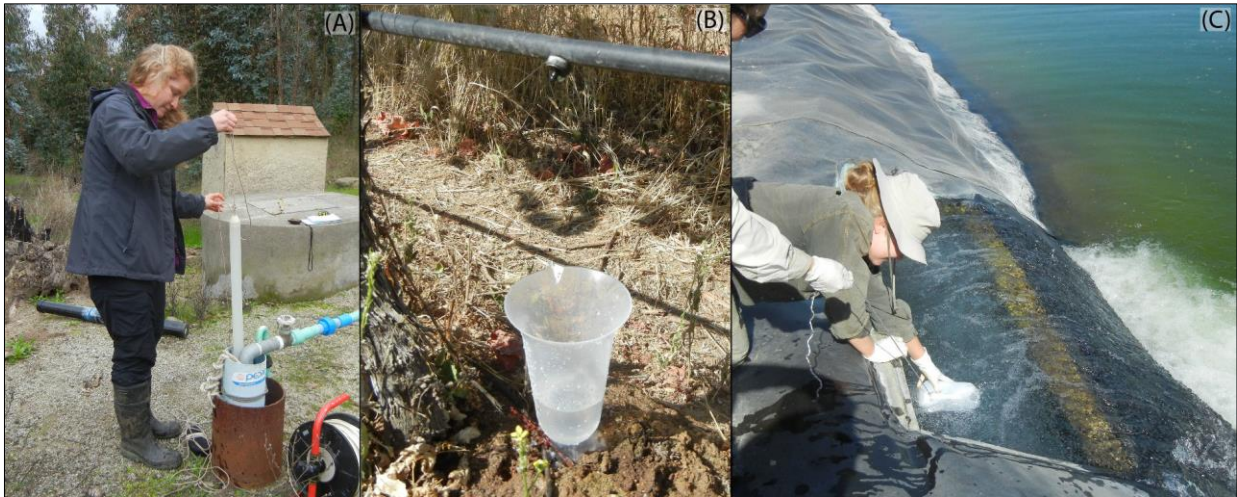


Figura 2.3: Fotografías de la colección de muestras. (A) Toma de muestra de agua subterránea desde un pozo con la ayuda de un Bailer. (B) Toma de muestra de agua de riego directamente desde el sistema de riego. (C) Toma de muestra de agua desde un tranque.

2.2.2.4. Mediciones de parámetros fisicoquímicos

Para la medición se rellenó un vaso (previa ambientación) con el agua muestreada y los parámetros fisicoquímicos medidos fueron: temperatura, conductividad eléctrica, pH y Eh. Se realizaron tres mediciones con cada equipo por muestra (Figura 2.4A).

2.2.2.5. Recolección de muestras para análisis de cationes, aniones y trazas

Se tomó el agua de la muestra con una jeringa, la cual fue ambientada tres veces con el agua a muestrear. La jeringa se rellenó con agua y se le puso un filtro de 0,2 μm . Las tres botellas (para análisis de cationes, aniones y trazas) fueron ambientadas con el agua filtrada desde la jeringa. Finalmente se procedió a llenar las botellas. Se ocuparon botellas de 50 ml para la muestra de cationes y elementos trazas (Figura 2.4B). Estas se llenaron y se les agregó 1 ml de ácido nítrico Suprapur® para evitar la precipitación de los cationes. Para los aniones se utilizó una botella de 100 ml la cual se llenó sin dejar burbujas. Las muestras se guardaron a una temperatura menor a 3°C, hasta que fueron enviadas al laboratorio.



Figura 2.4: (A) Materiales y equipos para la medición de parámetros fisicoquímicos. (B) Materiales para la toma de muestras de aguas para cationes, aniones y trazas.

2.2.2.6. Titulación de carbonatos

Después de tomar las muestras, se realizó una titulación con ácido para determinar la concentración del ion bicarbonato (HCO_3^-). La Figura 2.5 ilustra en un esquema el procedimiento realizado. Este consistió en tomar un volumen determinado de muestra y agregar unas gotas de naranja de metilo (indicador de cambio de pH). Luego se agregó lentamente HCl (0,1 N) mediante una bureta, hasta que la muestra cambió de color desde naranja a rojo (indicando el momento cuando los iones bicarbonato fueron consumidos por el ácido). Conociendo el volumen de ácido agregado, su concentración, junto con el volumen de la muestra, se pudo determinar la concentración del ion bicarbonato en el agua. Se realizaron 2 titulaciones, la primera con un volumen inicial de muestra de 50 ml y la segunda con un volumen inicial de 60 ml. La determinación del ion bicarbonato se realizó en terreno al momento de sacar la muestra, debido a la inestabilidad del ion que se descompone rápidamente.

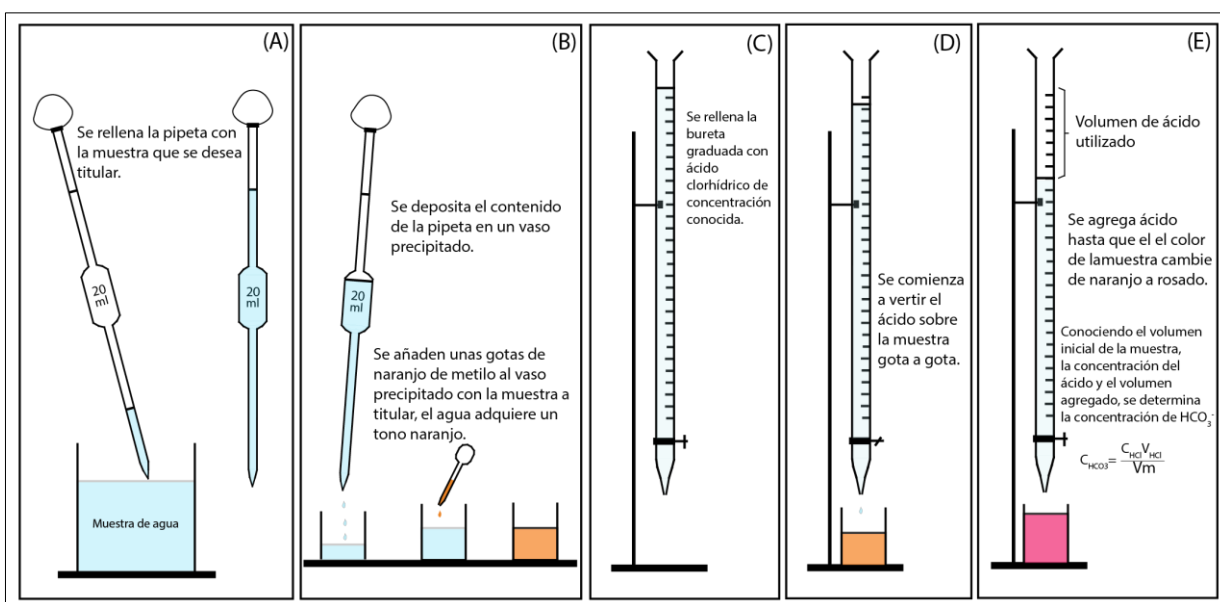


Figura 2.5: Esquema de la titulación de carbonatos

2.3. ANÁLISIS EN LABORATORIO

El análisis de aniones mayores, se realizó en los laboratorios del Sernageomin. La determinación de la concentración de aniones se realiza por Cromatografía Iónica, donde se determinaron los aniones sulfato, cloruro y nitratos. La alcalinidad se determinó mediante Volumetría, donde se obtuvo la concentración de los iones bicarbonato, hidróxidos y carbonato. La Tabla 2.1 muestra los elementos analizados y sus respectivos límites de detección.

Tabla 2.1: Elementos analizados en SERNAGEOMIN y su límite de detección.

Elemento	Límite de detección	
OH^-	0.1	mg/l
CO_3^{2-}	0.1	mg/l
HCO_3^-	0.1	mg/l
SO_4^{2-}	1.0	mg/l
Cl^-	1.0	mg/l
NO_3^-	3.0	mg/l

Para la determinación de cationes mayores y elementos trazas, las muestras fueron enviadas al Laboratorio Mineral de Bureau Veritas (Canadá, Vancouver), donde los cationes mayores, elementos menores y trazas se analizaron mediante ICP-MS. La Tabla 2.2 muestra los elementos analizados, con su respectivo límite de detección.

Tabla 2.2: Elementos menores y trazas con sus respectivos límites de detección.

Elemento	Límite de detección		Elemento	Límite de detección		Elemento	Límite de detección	
Ag	0,05	ppb	Hf	0,02	ppb	S	1	ppm
Al	1	ppb	Hg	0,1	ppb	Sb	0,05	ppb
As	0,5	ppb	Ho	0,01	ppb	Sc	1	ppb
Au	0,05	ppb	In	0,01	ppb	Se	0,5	ppb
B	5	ppb	K	0,05	ppm	Si	40	ppb
Ba	0,05	ppb	La	0,01	ppb	Sm	0,02	ppb
Be	0,05	ppb	Li	0,1	ppb	Sn	0,05	ppb
Bi	0,05	ppb	Lu	0,01	ppb	Sr	0,01	ppb
Br	5	ppb	Mg	0,05	ppm	Ta	0,02	ppb
Ca	0,05	ppm	Mn	0,05	ppb	Tb	0,01	ppb
Cd	0,05	ppb	Mo	0,1	ppb	Te	0,05	ppb
Ce	0,01	ppb	Na	0,05	ppm	Th	0,05	ppb
Cl	1	ppm	Nb	0,01	ppb	Ti	10	ppb
Co	0,02	ppb	Nd	0,01	ppb	Tl	0,01	ppb
Cr	0,5	ppb	Ni	0,2	ppb	Tm	0,01	ppb
Cs	0,01	ppb	P	10	ppb	U	0,02	ppb
Cu	0,1	ppb	Pb	0,1	ppb	V	0,2	ppb
Dy	0,01	ppb	Pd	0,2	ppb	W	0,02	ppb
Er	0,01	ppb	Pr	0,01	ppb	Y	0,01	ppb
Eu	0,01	ppb	Pt	0,01	ppb	Yb	0,01	ppb
Fe	10	ppb	Rb	0,01	ppb	Zn	0,5	ppb
Ga	0,05	ppb	Re	0,01	ppb	Zr	0,02	ppb
Gd	0,01	ppb	Rh	0,01	ppb			
Ge	0,05	ppb	Ru	0,05	ppb			

3. ANTECEDENTES GENERALES

3.1. UBICACIÓN

Las áreas de estudio se localizan en las regiones de Valparaíso, Libertador Bernardo O'Higgins y del Maule, es decir, entre 33°17'- 35°44'S y 71°34'30"-71°15'W. Las viñas se ubican en las localidades de Casablanca (viña de Casablanca), San Antonio (viña de San Antonio), Santa Cruz (viña de Santa Cruz) y San Javier (viña de San Javier). La Figura 3.1, muestra la ubicación geográfica específica de cada una de las viñas.

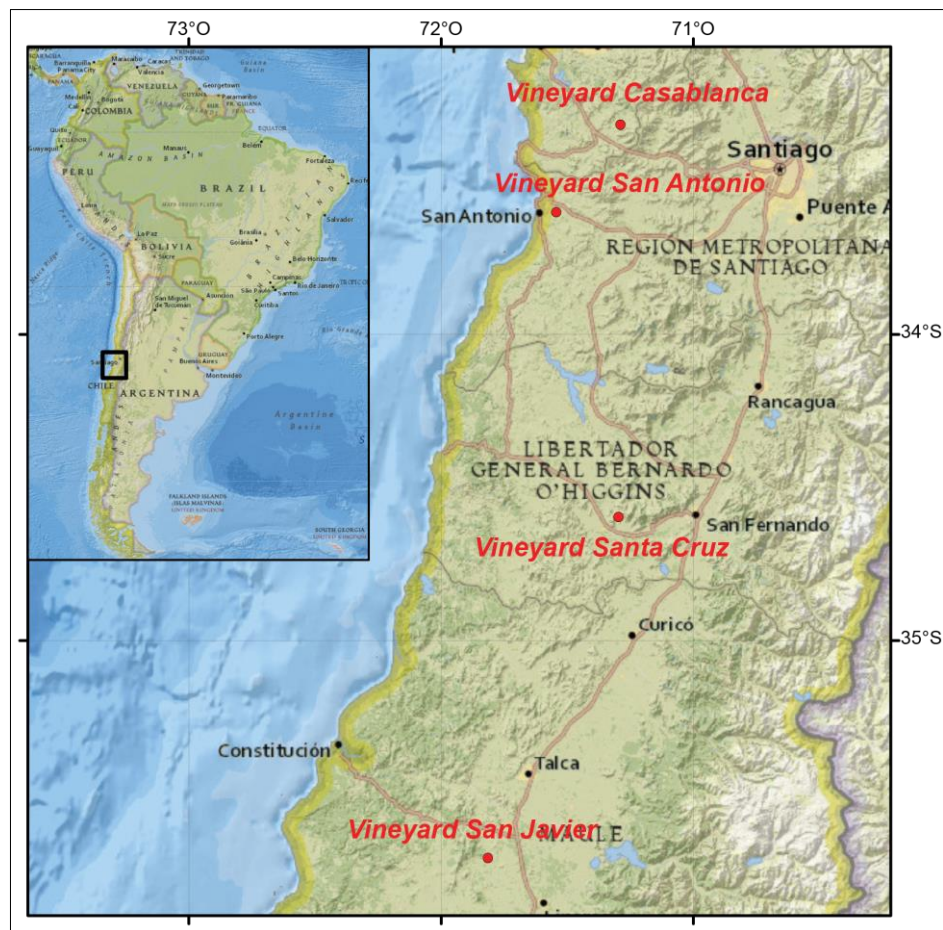


Figura 3.1: Mapa de ubicación de las viñas en estudio.

La selección de las viñas se hizo con una perspectiva geológica y agro-enológica. En el ámbito geológico se consideraron viñas con distintos contextos geomorfológicos, hidrogeológicos, diferentes suelos y materiales parentales. En el ámbito agro-enológico se escogieron viñas con características similares, riego por goteo, plantas en edad adulto (15 a 25 años), plantadas a pie franco (sin injerto de raíz) y se escogieron 2 tipos de cultivares a fin de hacer comparaciones, Pinot Noir (viñas de Casablanca y San Antonio)

y Carmenere (viñas de Santa Cruz y San Javier). En la Tabla 3.1 se presentan las características agro-enológicas de cada viña.

Tabla 3.1: Características agro-enológicas de las viñas en estudio.

Viña	Cultivar	Manejo agrícola	Año plantación	Riego
Casablanca	Pinot Noir	Uso agroquímicos	2004- 2000	Goteo
San Antonio	Pinot Noir	Uso agroquímicos	2005-2008	Goteo
Santa Cruz	Carmenere	Abonos orgánicos e inorgánicos	1998-2005	Goteo
San Javier	Carmenere	Uso agroquímicos	1999	Goteo

3.2. GEOMORFOLOGÍA Y GEOLOGÍA DE LAS ÁREAS DE ESTUDIO.

En el presente capítulo se muestra la geología de las microcuencas de las viñas. En el marco del proyecto CORFO, se ha estudiado la geología de las cuencas en las cuales se emplazan las viñas. Para ello, se realizaron mapeos geomorfológicos y geológicos del entorno de las viñas (Castillo, 2018; Contreras, 2017; Contreras et al. 2015; Lagos, 2015).

3.2.1. Casablanca

El área de la viña de Casablanca se emplaza en la vertiente oeste de la Cordillera de la Costa, compuesta principalmente por el Batolito Costero (Gana et al., 1996).

El valle de la zona de estudio tiene como relleno principal el material proveniente desde los cerros circundantes observándose pie de montes clásicos generados a partir de abanicos aluviales, los cuales rellenan parte de los valles secundarios (Castillo et al., 2015).

En la zona se definieron tres unidades principales: a) Unidad Los Perales, conformada por las subunidades Tonalitas (Jmt(a)) y Granodioritas (Jmt(b)) b) Diques Aplíticos que corresponden a Aplitas de turmalina, las cuales afloran en sectores restringidos, y c) Depósitos no consolidados y semiconsolidados conformados por depósitos aluviales, fluviales, coluviales y de remoción en masa (Contreras, 2017). La Figura 3.2 muestra el mapa geológico generado en el proyecto, con la distribución de las unidades.

La unidad Los Perales se conforma por dos subunidades. La primera subunidad de Tonalitas, está conformada por tonalitas de biotita y tonalitas de biotita-hornblenda de grano medio, esta subunidad, corresponde a la de mayor extensión en la zona. La

segunda subunidad corresponde a granodioritas de biotita y hornblenda y granodioritas de biotita (Contreras, 2017). En la Tabla 3.2 se resume la caracterización petrográfica de ambas subunidades, realizada por Contreras (2017).

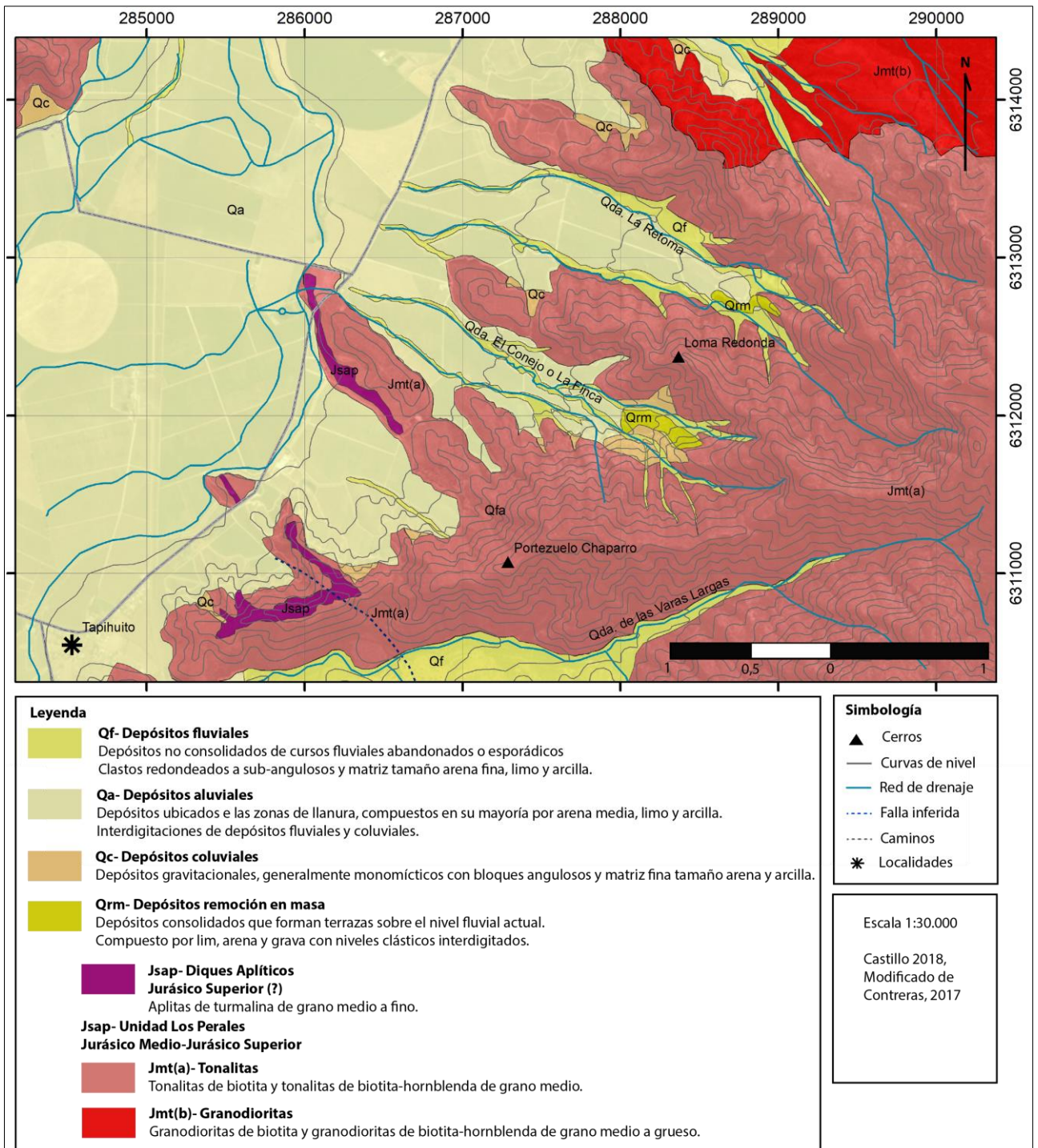


Figura 3.2: Mapa geológico de la viña de Casablanca.

La Unidad de Diques Aplíticos, corresponde a una roca hipabisal que intruye a la subunidad Jmt(a), aflora con morfologías alargadas, de menor extensión.

Petrográficamente corresponde a una aplita de turmalina caracterizada por un tamaño de grano medio a fino. En la Tabla 3.2 se muestran los resultados del análisis modal realizado por Contreras (2017) en los cortes de las muestras de roca.

Los depósitos no consolidados y semiconsolidados se separan en cinco tipos: Depósitos de remoción en masa (Qrm), Depósitos coluviales (Qc), Depósitos fluviales (Qf), Depósitos aluviales (Qa). Estos depósitos tienen como material parental las rocas intrusivas ya mencionadas. Para el análisis hidrogeológico de la cuenca, la Unidad de depósitos no consolidados a semiconsolidados es la de mayor interés debido a que el acuífero se aloja en estos depósitos, y por lo mismo será estudiada en mayor detalle en el Capítulo 4.

Tabla 3.2: Petrografía de las muestras de la Unidad Los Perales y de la Aplita de turmalina. Promedio del análisis modal de los cortes transparentes de las muestras. Obtenido de Contreras (2017).

	Tonalita	Granodiorita	Aplita de turmalina
Muestras	VR1b, VR3b, VR6a, VQ4b	VR5b, VR4a	VR5a
Minerales (%)			
Plagioclasa	45,8	32,5	24
Cuarzo	28,3	17	4
Feldespato alcalino	2,5	13	18
Biotita	13,8	15	-
Hornblenda	5,5	18,5	-
Apatito	0,5	1	-
Zircón	0,8	1	-
Epidota	2	-	3
esfeno	0,5	1,5	1
opacos	2,5	3,5	1
muscovita	-	-	2
turmalina	-	-	12
Alteración	Arcilla en plg, clorita y epidota en bt y hbl	Arcillas en plg y feld-K, clorita en bt y hbl, epidota en bt, sericita en plg	Sericita en plg, arcilla en Feld-K y plg.

3.2.2. San Antonio

La viña de San Antonio se ubica en la sub sub cuenca del Río Maipo entre el Estero Popeta y la desembocadura del Río Maipo, y cuenta con un área de 414 km² (DGA). La

cuenca está emplazada en el sector occidental de la Cordillera de la Costa, cortando rocas metamórficas paleozoicas, plutones mesozoicos y unidades sedimentarias del Cenozoico (Gana et al., 1996). En específico, la viña se encuentra ubicada sobre una terraza de abrasión marina (Gana et al. 1996), la cual se ha degradado debido a la acción del estero el Sauce y otros esteros secundarios, formando quebradas sobre la terraza (Rodríguez, 2008).

En la zona de estudio se definieron cuatro unidades; a) Dioritas metamorizadas, b) Unidad San Antonio compuesta por dos subunidades, una de ortogneis y otra de tonalitas c) Secuencia Malvilla que corresponde a una secuencia sedimentaria de origen marino y finalmente d) Depósitos fluviales. En la Figura 3.3 se observa la distribución de las unidades.

De acuerdo a Contreras (2017), la Unidad de dioritas metamorizadas (Trd), corresponde petrográficamente a metadioritas cuarcíferas de hornblenda y metadioritas de biotita y hornblenda. La mineralogía de las muestras que se recolectaron en esta unidad se presenta en la Tabla 3.3.

La Unidad de San Antonio está conformada por dos subunidades, la primera, Tonalitas TrJg(b), corresponde a un cuerpo tonalítico bandeado, y se definen petrográficamente como tonalita bandeada de biotita y tonalita bandeada de hornblenda y biotita. La segunda subunidad Ortogneis TrJg(a), está compuesta por rocas metamórficas. Por petrografía se clasifican como ortogneis tonalítico de biotita y ortogneis de biotita rico en cuarzo y se caracteriza por una textura bandeada con franjas de minerales máficos (bt y hbl) y minerales félsicos (qtz, plg, entre otros).

La Secuencia Sedimentaria Malvilla (Msm), se correlaciona con la Formación Navidad (Gana et al., 1996). De acuerdo a Contreras (2017), es una secuencia marina-fosilífera compuesta por areniscas de grano muy fino a fino, bancos de conglomerados y coquinas. Se pueden separar dos subunidades: Areniscas y conglomerados (Msm(a)) y Coquinas (Msm(b)).

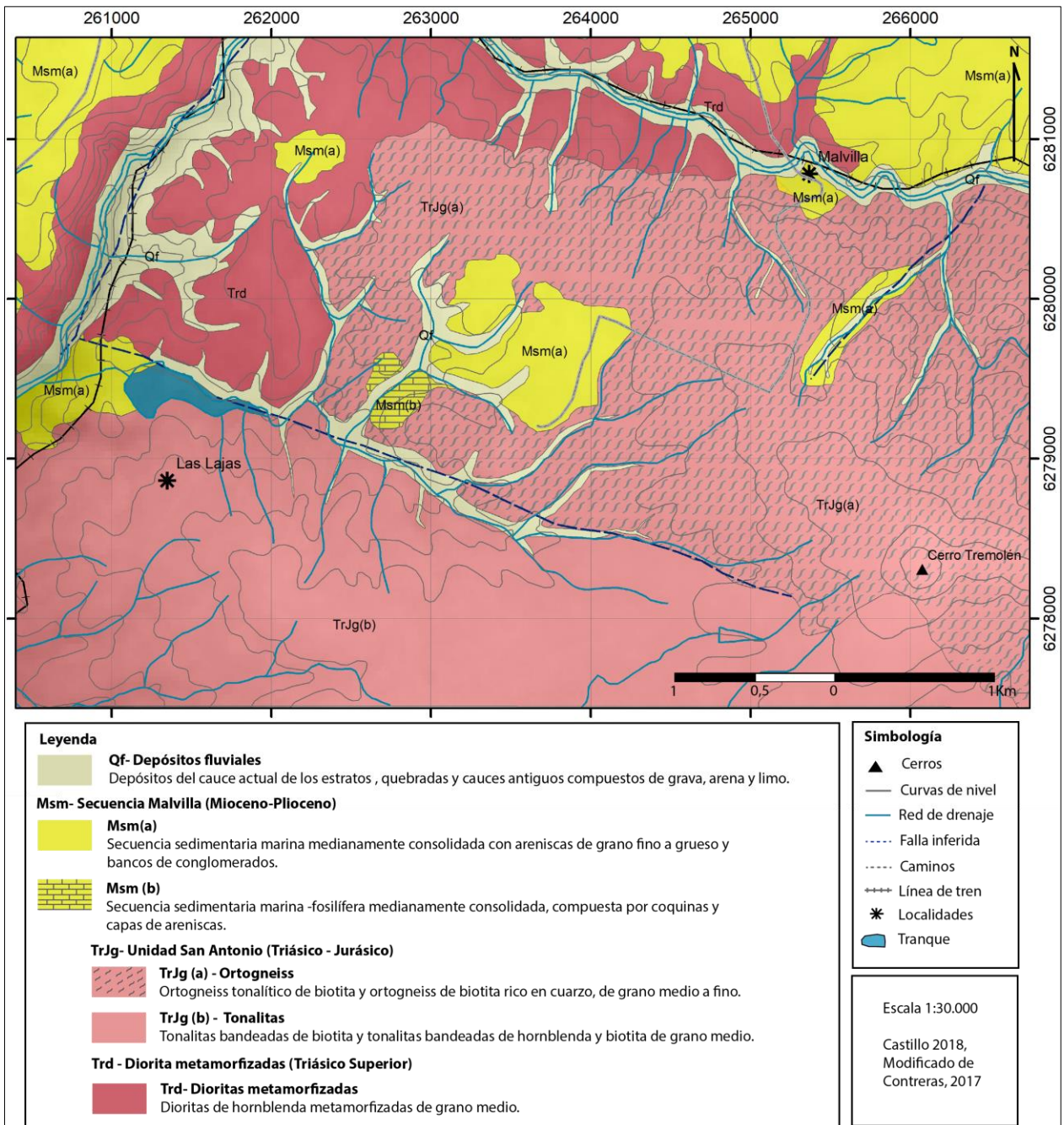


Figura 3.3: Mapa geológico de la viña de San Antonio.

En los depósitos no consolidados se agrupan los sedimentos de cursos fluviales activos y abandonados del estero el Sauce y las quebradas secundarias que se desarrollan sobre las terrazas de abrasión marina (Qf).

Tabla 3.3: Petrografía de las muestras de la Unidad San Antonio y dioritas metamorizadas. Promedio del análisis modal de los cortes transparentes de las muestras. Obtenido de Contreras (2017).

	Diorita cuarcífera de hornblenda	Tonalita de bt-hbl Tonalita de hbl-bt	Ortogneis tonalítico de bt
Muestras	CR1b	CR 6b / CR-9b	CR 1a
Minerales (%)			
Plagioclasa (plg)	50	29	10
Cuarzo (qtz)	2	28	53
Microclina	-	-	22
Biotita (bt)	3	17	8
Hornblenda (hbl)	38	12	-
Apatito	1	1	-
Zircón	1	-	1
Epidota	-	9	1
esfeno	-	-	-
opacos	5	2	3
muscovita	-	-	4
Alteración	Arcilla y sericita en plg, clorita y bt y epidota en bt y hbl	Arcillas y sericita en plg epidota en biotita y hbl	Sericita en plg, arcilla en feldespato potásico y plg.

3.2.3. Santa Cruz

La viña de Santa Cruz, se encuentra inmersa en la sub cuenca del Río Tinguiririca. La cuenca se emplaza en la Cordillera de la Costa, limitada al norte por el Cordón de Tagua Tagua y al sur por el río Tinguiririca. En la zona se desarrollan depósitos de pie de monte de origen coluvial y aluvial. Además, se observan abanicos fluvio-aluviales, formados a partir de los sedimentos provenientes de los cerros circundantes y por deposición desde el río Tinguiririca.

En la zona se definieron tres unidades principales (Contreras, 2017): a) Unidad Apalta, conformada por las subunidades Granodioritas Kit (a) y Tonalitas Kit(b); b) Andesitas Cerro Peñón, y c) Depósitos no consolidados y semiconsolidados. La Figura 3.4 muestra el mapa geológico generado en el proyecto, con la distribución de las unidades.

La Unidad Apalta está conformada por dos subunidades: La primera, Granodiorita (Kit (a)), es un cuerpo intrusivo que ocupa la mayor parte de la zona de estudio. Está formado

por granodioritas de hornblenda y granodioritas de hornblenda y biotita. La segunda subunidad, Tonalita (Kit(b)), es un cuerpo de pequeña extensión situado en el Cerro Peñón, que se compone por tonalitas de biotita y hornblenda de grano grueso, las cuales están intensamente alteradas a arcillas disgregables (Contreras, 2017).

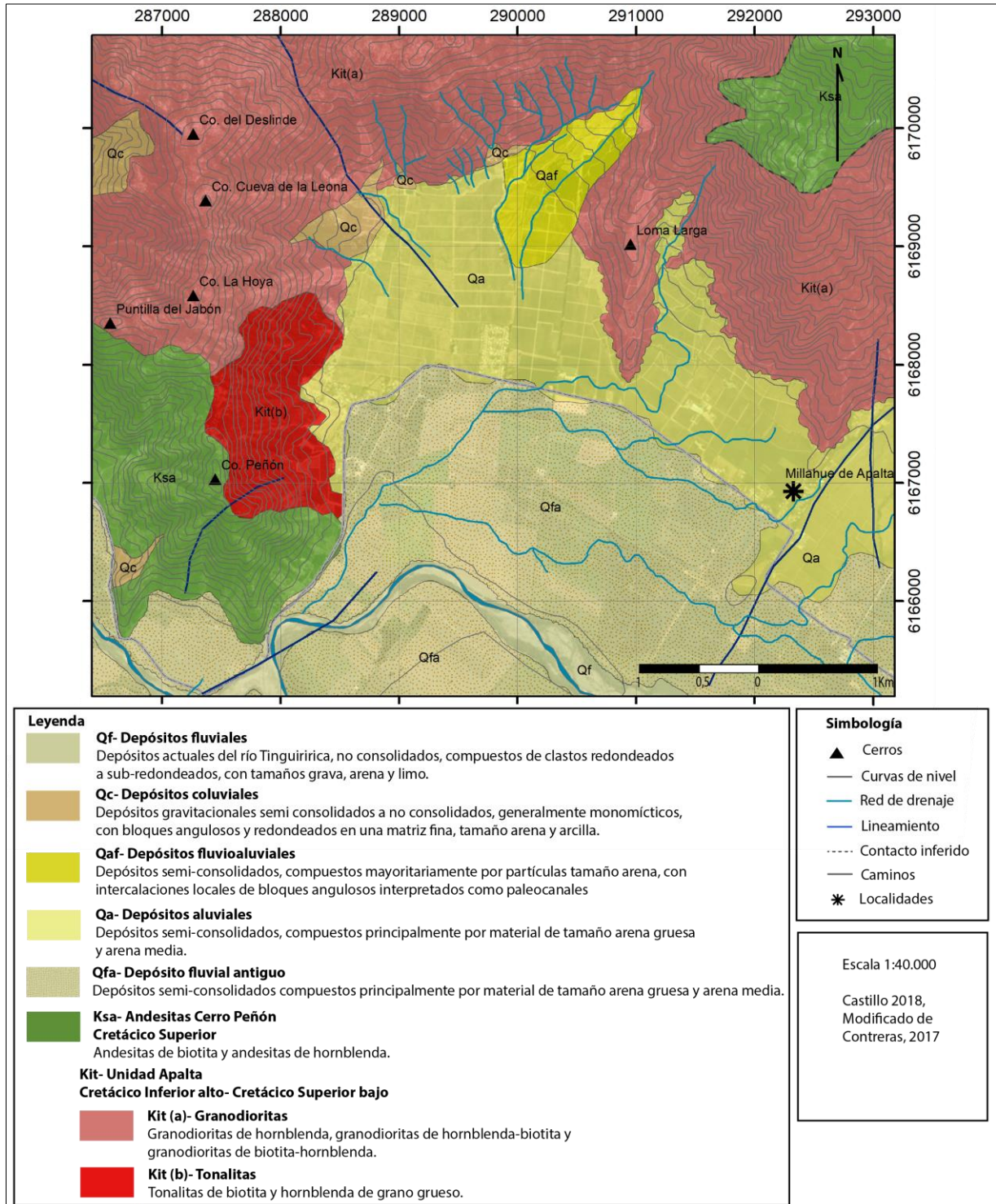


Figura 3.4: Mapa geológico Sector viña de Santa Cruz.

La Unidad Andesitas Cerro Peñón, está formada por lavas andesíticas, petrográficamente clasificadas como andesitas de biotita y andesitas de hornblenda de textura porfídica. En la Tabla 3.4 se muestra la mineralogía de las unidades Apalta y Andesitas Cerro Peñón.

Los depósitos no consolidados y semiconsolidados se separan en cinco tipos; Depósitos fluviales, Depósitos coluviales, Depósitos fluvioaluviales, Depósitos aluviales y Depósitos fluviales antiguos. Estos depósitos tienen como material parental las rocas intrusivas y volcánicas de los cerros circundantes, además del aporte sedimentario transportado por el río Tinguirrica. Para el análisis hidrogeológico de la cuenca, al igual que en la viña de Casablanca, la Unidad de Depósitos no consolidados a semiconsolidados es la de mayor interés, debido a que el acuífero se aloja en estos depósitos y, por lo tanto, será estudiada en mayor detalle en el Capítulo 4.

Tabla 3.4: Petrografía de las muestras de las Unidad Apalta y Andesitas el Peñón. Promedio del análisis modal de los cortes transparentes de las muestras. Obtenido de Contreras (2017).

	Tonalita de bt-hbl	Granodiorita de bt-hbl	Andesita bt
Muestras	LR11	LR 4	LR 16
Minerales (%)			
Plagioclasa (plg)	50	28	74
Cuarzo (qtz)	2	24	-
Feldespato potásico (Feld-k)	-	15	-
Biotita (bt)	3	18	13
Hornblenda (hbl)	38	7	4
Apatito	1	1	-
Zircón	1	-	1
esfeno	-	1	-
opacos	5	6	8
Alteración	Arcilla y sericita en plg, clorita y bt y epidota en bt y hbl	Arcillas en plg epidota en biotita	qtz en la masa fundamental, arcilla en plg, clorita en plg

3.2.4. San Javier

La viña de San Javier se localiza entre el límite oriental de la Cordillera de la Costa y la Depresión Central. En la zona de estudio, el valle central se conforma por un extenso

llano de elevaciones entre 20 y 300 ms.n.m, integrado por una amplia gama de depósitos fluviales, piroclásticos y/o cenizas volcánicas, aluviales y fluvio aluviales de edad cuaternaria (Hausser, 1994).

La mayor parte del área de estudio corresponde a una zona de bajas elevaciones con lomajes suaves cuya altura desciende hacia el sur. Esta área podría corresponder a un abanico aluvial distal de edad desconocida, el cual transportó un importante volumen de sedimentos de origen volcánico desde la Cordillera de los Andes (Hauser, 1995).

La sub sub cuenca en cual se encuentra la viña, corresponde al Río Loncomilla, entre el Río Longaví y el Río Putagán (DGA), con un área de 230 km². La zona se caracteriza geológicamente por depósitos epiclásticos de origen volcánico y lavas andesíticas cretácicas (Contreras, 2017).

En la Figura 3.5 se presenta el mapa geológico de la zona de la viña de San Javier, donde se reconocieron las siguientes unidades geológicas (Contreras, 2017): a) Monzogranito Las Toscas (Jrm); b) Volcanitas Melozal (Ksv); c) Dioritas Cerro Manantial (Mdi); d) Depósito de oleada piroclástica (Qop); e) Depósitos sedimentarios lacustres (Qsl), y depósitos no consolidados a semiconsolidados constituidos por f) Depósitos fluviales (Qf); g) Depósitos fluviales antiguos (Qfa); y h) Depósitos fluviales secundarios (Qfs). Cabe destacar que en la zona NE se reconoce además una importante alteración hidrotermal (Ahs).

La Unidad Monzogranito Las Toscas, aflora en dos cerros islas en la zona de estudio; petrográficamente corresponde a monzogranitos de hornblenda los cuales se encuentran levemente alterados a arcillas y sericita.

La Unidad Volcanitas de Melozal está compuesta por una secuencia de rocas volcánicas y volcanoclásticas de gran extensión en la zona de estudio. Esta unidad se caracteriza petrográficamente por andesitas de anfíbol, andesitas brechosas, tobas de cristales, toba de lapilli vitrocrystalina y tobas líticas. En la Tabla 3.5, se presenta un resumen del análisis petrográfico de andesitas de anfíbol y una toba lítica.

La Unidad Dioritas Cerro Manantial, está conformada por un afloramiento ubicado en el cerro Manantial, intruyendo las Volcanitas de Melozal. La unidad está conformada por

dioritas cuarcíferas de grano medio a fino. En el afloramiento se observan grandes bloques de roca silificada, de alta dureza.

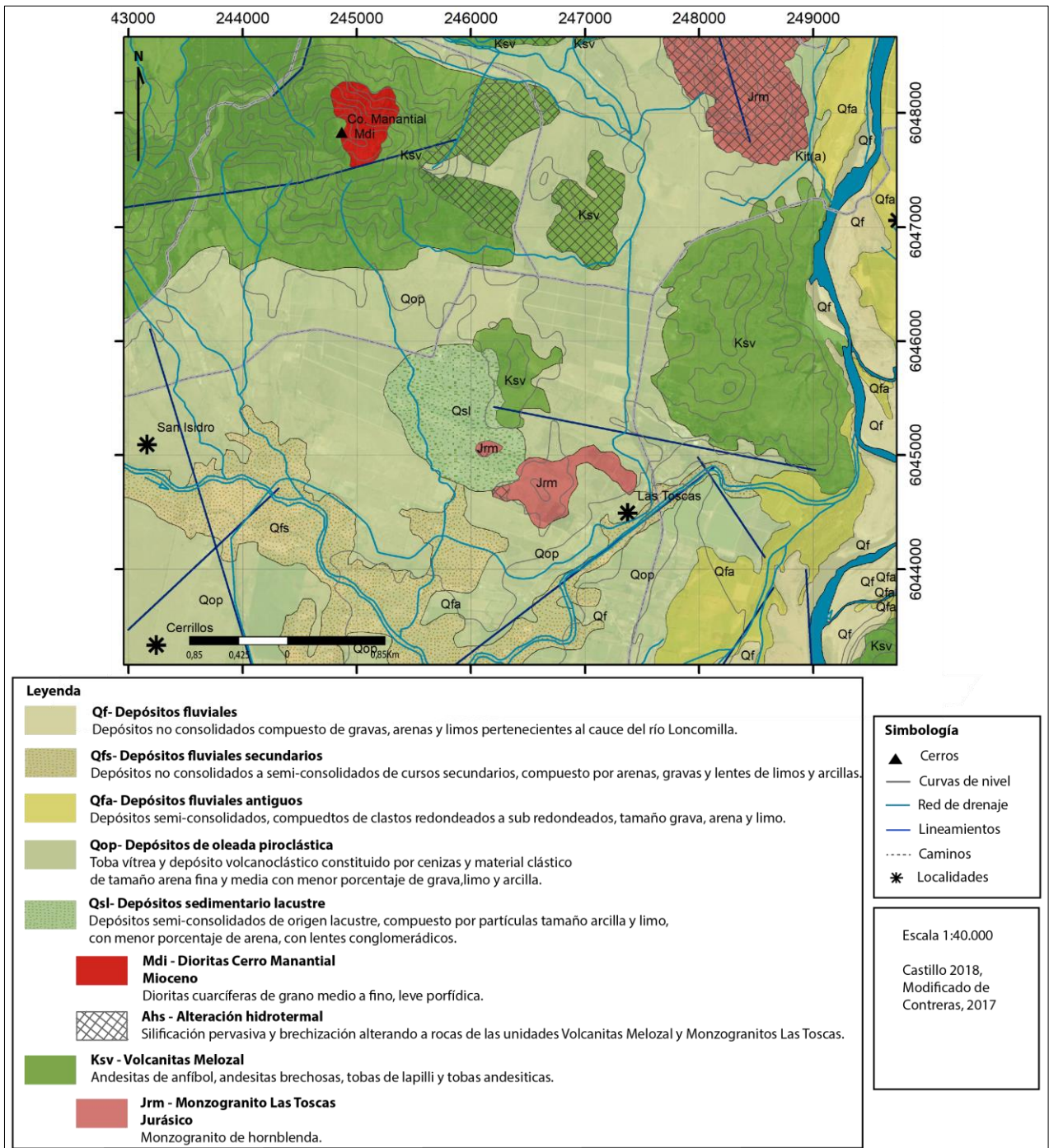


Figura 3.5: Mapa geológico de la viña de San Javier.

La Unidad Depósito de oleada piroclástica, corresponde a un depósito de origen piroclástico, generado a partir de actividad volcánica explosiva, en que la forma observada en los afloramientos sugieren su clasificación como un depósito de oleada

piroclástica (o tipo Surge), dentro del cual existe una capa de Toba de ceniza. En la Tabla 3.5 se observa la mineralogía de la toba. En el corte se describen dos capas, donde la primera tiene mayor contenido de vidrio que la segunda.

La Unidad Depósito sedimentario lacustre, compuesto por depósitos de origen lacustre contiene partículas tamaño arcilla y limo, con menor porcentaje de arena y con lentes conglomerádicos.

Tabla 3.5: Petrografía de las muestras de Volcanitas Melozal y Depósito de oleada piroclástica. Promedio del análisis modal de los cortes transparentes de las muestras. Obtenido de Contreras (2017).

Unidad	Volcanitas de Melozal		Oleada piroclastica
Nombre de la roca	Toba lítica	Andesita	Toba vítrea de ceniza Capa1 / Capa2
Muestras	MR-21	MR-20	MR 26
Minerales (%)			
Plagioclasa (plg)	27	50	3/6
Cuarzo (qtz)	5	-	5/10
Anfibol	-	20	-
piroxenos	-	6	-
Apatito	-	1	-
opacos	5	1	-
epidota	-	2	1/5
accesorios	-	3	-
líticos	18	-	-
vidrio	42	-	91/79
Alteración	Arcilla en todo el corte	Arcillas y sericita en plg clorita en anfíbol, anfíbol en piroxenos	Qtz en la masa fundamental, arcilla en plg, clorita en plg

Finalmente los depósitos no consolidados a semiconsolidados, se agrupan los Depósitos fluviales antiguos (Qfa) que corresponden a terrazas fluviales del Río Loncomilla; los Depósitos fluviales actuales del río Loncomilla (Qf), y los Depósitos fluviales secundarios (Qfs) que se ubican en el valle, asociados a los tributarios del río Loncomilla.

3.3. ANÁLISIS ADICIONALES DEL PROYECTO

En el marco del proyecto CORFO, además de estudiar la geología a escala 1:30.000, se ha estudiado con mayor detalle, a nivel de calicata y cuartel, la geología y material parental en sectores seleccionados de cada viña. En específico, se realizaron 12 calicatas por viña, las que se cavaron bajo a una parra seleccionada, en el sector entre hileras. Las calicatas tienen dimensiones de 1 m de ancho y aproximadamente 1m de profundidad. Se describieron los horizontes de suelo y se tomaron muestras en cada horizonte. A las muestras de suelo obtenidas se le realizaron análisis granulométricos, de química total y elementos biodisponibles en los horizontes A y B, mineralogía y determinación de arcillas. Además, durante las campañas de terreno, se monitorearon las condiciones fisicoquímicas del suelo.

En la Figura 3.6 se observa la ubicación de las calicatas y la geología obtenida a través del levantamiento “geo-pedogenético” de los perfiles de suelo (Castillo, en preparación). En la viña de Casablanca se estudiaron 2 cuarteles: el primero definido “cerro isla o VC”, se caracteriza por un suelo regolítico, el que se ha desarrollado *in-situ* sobre roca (tonalita de hornblenda y biotita, intruída por diques Aplíticos). En este sector se estudiaron 6 calicatas. El segundo cuartel denominado “pie de monte o VP”, se emplaza sobre depósitos de remoción en masa, depósitos coluviales y aluviales, donde se estudiaron 6 calicatas.

En la viña de San Antonio se estudiaron dos cuarteles “terracea o CT” y “pendiente o CP”. En ambos cuarteles el suelo se desarrolló sobre una arenisca de grano medio y coloración amarillenta de la Formación Navidad. Sin embargo, el cuartel CT presenta una evidente intervención humana. La historia del predio indica que antes del uso vitivinícola existía una plantación de eucaliptos, los cuales fueron talados y el suelo removido hasta un metro de profundidad. Se estudiaron 9 calicatas en el cuartel CT y 3 calicatas en el cuartel CP (Figura 3.6).

En la viña de Santa Cruz se estudiaron dos cuarteles “LI o cerro isla” (nueve calicatas) y “LP o pendiente” (tres calicatas). El cuartel LI se encuentra delimitado por dos quebradas y tiene como material parental un depósito fluvio-aluvial. El cuartel LP, está ubicado sobre una pendiente elevada, con desarrollo de suelo *in-situ* sobre una granodiorita y sobre depósitos coluviales (Figura 3.6).

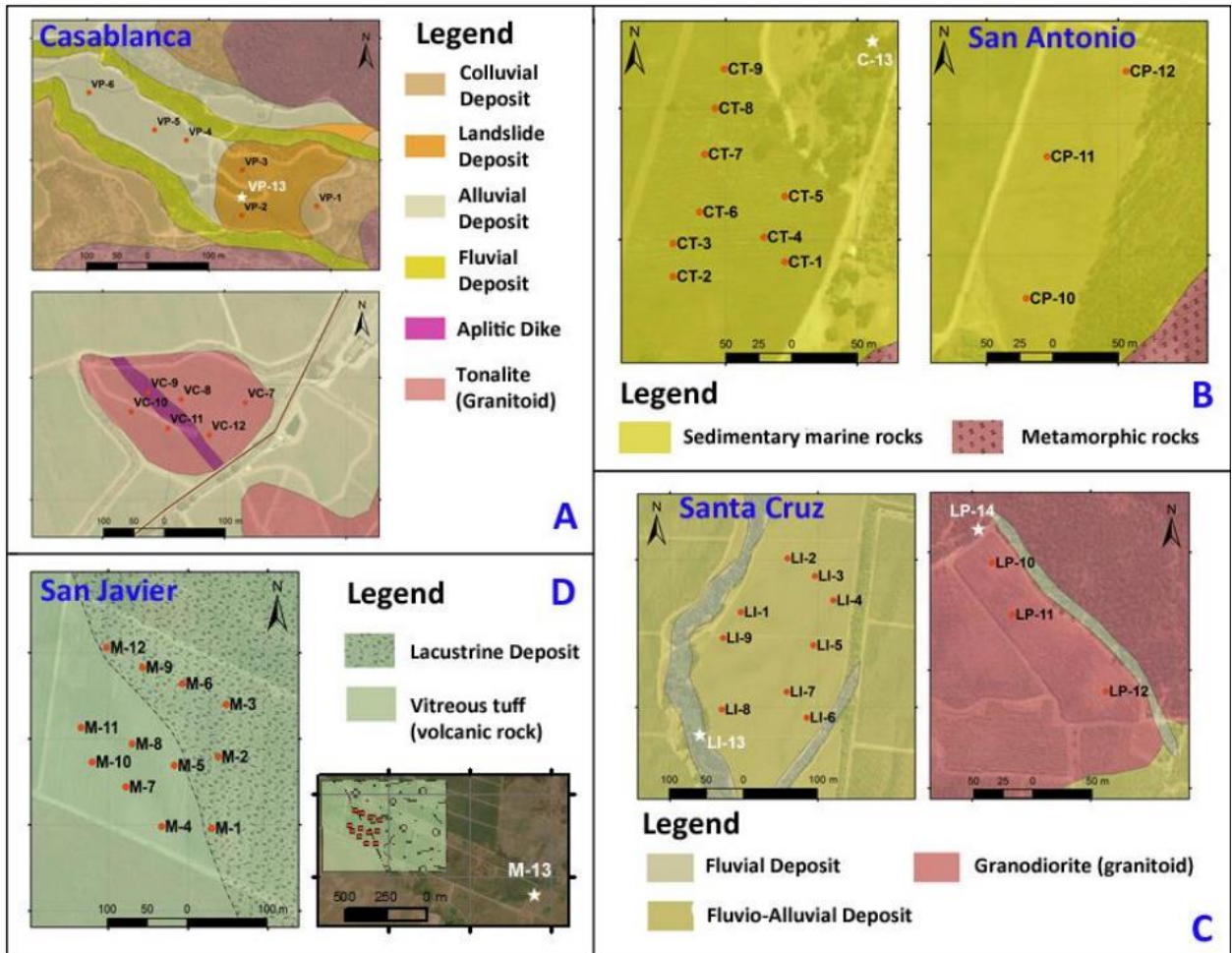


Figura 3.6: Ubicación de los cuarteles y calicatas en las viñas en estudio. Castillo et al. 2017a.

Finalmente, en la viña de San Javier, se estudió un cuartel en donde se reconocieron dos materiales parentales “Mv o depósito volcánico” y “Ms o depósito sedimentario”. El material parental Mv corresponde a un suelo desarrollado sobre una toba vítrea. En el caso del material parental Ms se observa en las calicatas que sobreyace a la toba, un material de grano muy fino que puede atribuirse a depósitos lacustres o paleocanales fluviales (Castillo et al. 2017). En el estudio se reconocieron seis calicatas para cada material parental (Figura 3.6).

Además de las calicatas realizadas frente a las parras en las viñas, se estudiaron calicatas “blanco” que se ubican en suelo no cultivado; en la Figura 3.6 se demarcan con una estrella color blanco a estas calicatas.

3.3.1. Difracción de Rayos X

Los datos más relevantes para el objetivo de estudio de esta tesis, corresponden a la mineralogía del suelo y roca, ya que permite conocer los minerales presentes en el acuífero y por lo tanto cuales interactúan con el agua subterránea. Al conocer la mineralogía del suelo, se puede saber qué minerales se están alterando o precipitando producto de la interacción agua-roca. Este trabajo fue principalmente desarrollado en la tesis de Salgado (en preparación).

Para examinar la mineralogía del suelo, se utilizó la técnica de DRX (Difracción de Rayos X), la cual se realizó en el centro de estudios mineralógicos CEM GEOATACAMA. La técnica se realizó enfocada en dos objetivos: el primero corresponde al análisis de roca total o método polvo, donde se analiza la fracción tamaño limo-arcilla de la muestra. El segundo corresponde al estudio de minerales de arcilla o método de los agregados orientados, donde se analiza solo la fracción arcilla. Ambos métodos entregan una semicuantificación de los minerales presentes en la muestra. Para el método roca total, se entrega la mineralogía total de los suelos y con el método de los agregados orientados se identifican los minerales de arcilla (Salgado, en preparación). En la familia de las arcillas se determinó la presencia de esmectita, vermiculita, illita, caolinita y clorita.

En cada viña se realizó análisis de DRX a muestras de algunas de las calicatas; las calicatas seleccionadas se muestran en la Tabla 3.6. Además, se realizó análisis de DRX en las calicatas blanco de cada viña. Para cada calicata se analizaron las muestras de suelo de todos los horizontes determinados.

Tabla 3.6: Muestras en la cuales se realizaron análisis de DRX.

Muestra	Casablanca	San Antonio	Santa Cruz	San Javier
Calicata	VC-11 / VC-7 / VC-9 VP-2 / VP- 6	CT-1 / CT-6 CP-10 / CP-12	LI-5 / LI-8 LP-10 / LP-11	Ms-2 / Ms-3 / Ms-6 Mv-8
Calicata "blanco"	VP-13	C-13	LI-13/LP-14	M-13
Roca	VQ-4B/VR-6a Tonalita	CP-12C Arenisca	LR-4/LR-8 Granodiorita	MR-26 Toba Vítreo

3.3.1.1. Casablanca

En la Figura 3.7 se presentan los resultados de la DRX de la fracción limo y arcilla para las calicatas de la viña de Casablanca.

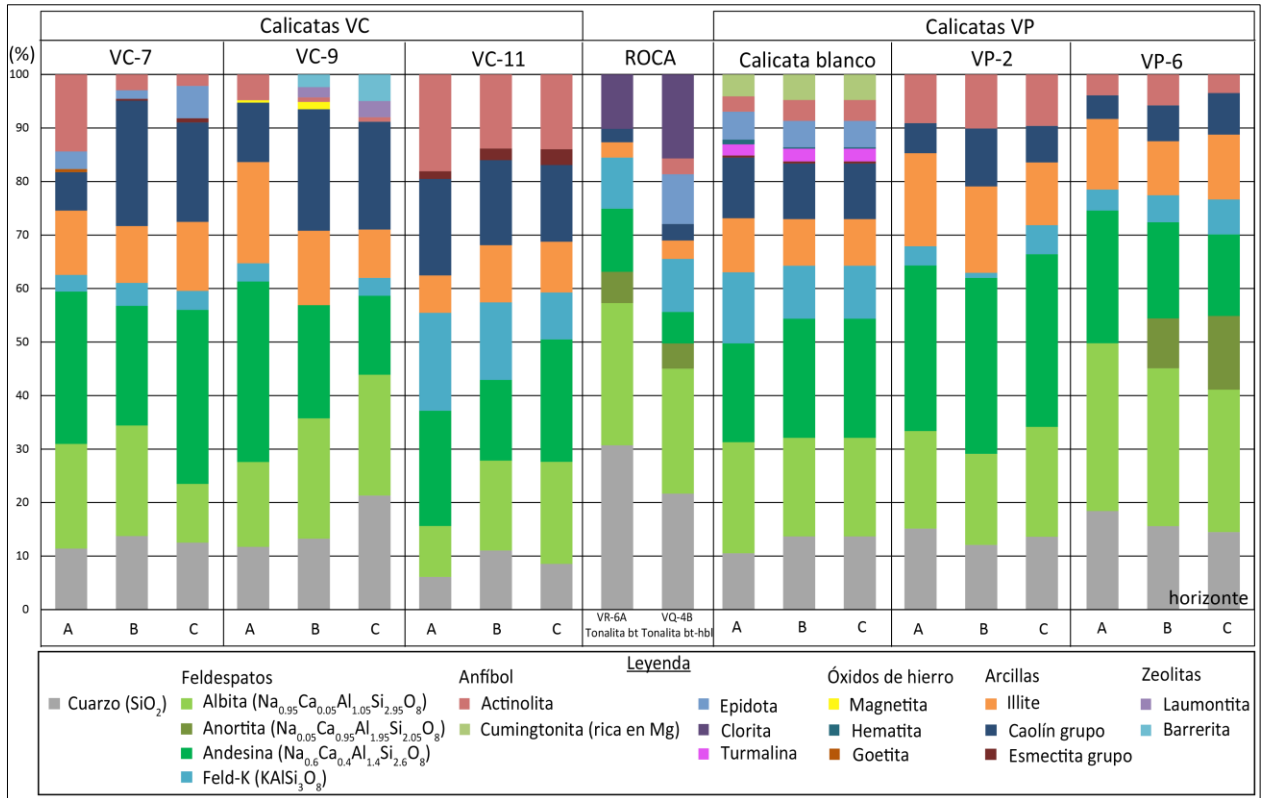


Figura 3.7: Diagrama de barra mostrando los resultados de DRX en la fracción limo-arcilla de la viña de Casablanca.

Se observa que el material parental (roca) tiene como mineralogía cuarzo, plagioclasas, feldespato potásico, clorita, actinolita y un porcentaje menor de arcillas del grupo de la caolinita e illita. Las principales diferencias que se observan entre el material parental y suelo son:

- Ausencia de clorita en suelos
- Ausencia de anortita a excepción de la calicata VP-6
- Aumento de las arcillas; illita y grupo caolín
- Existencia de minerales del grupo de las esmectitas en suelos

En la calicata VC-11 se observa mayor porcentaje de feldespato potásico en comparación al resto de las calicatas. Esto se debe probablemente a la ubicación de la calicata, la que se emplaza sobre un dique aplítico, roca que tiene un mayor contenido de este mineral.

Los resultados de los análisis DRX de la fracción arcillas se presentan en Tabla 3.7 y permitieron reconocer la ausencia de clorita en todas las calicatas y la presencia de vermiculita en las calicatas blanco, VC-9 y VC-11.

Tabla 3.7: Tabla con la identificación de arcillas en la viña Casablanca y San Antonio. Hz= horizonte, Sme=esmeectita. Vrm=vermiculita, Ill=illita, Kln=caolinita, Chl= clorita. Obtenido de Salgado (en preparación)

Casablanca							San Antonio						
Cal	Hz	Sme	Vrm	Ill	Kln	Chl	Cal	Hz	Sme	Vrm	Ill	Kln	Clh
VP-2	A	x		x	x		CT-1	A	x			x	
	B	x		x	x			B	x			x	
	C	x		x	x			C	x			x	
VP-6	A	x		x	x		CT-6	A	x			x	
	B	x		x	x			B	x			x	
	C	x		x	x			C	x			x	
VC-7	A	x		x	x		CP-10	A	x			x	
	B	x			x			B	x			x	
	C	x			x			C	x				
VC-9	A		x	x	x		CP-12	D	x			x	
	B		x	x	x			A	x			x	
	C		x	x	x			B	x				
VC-11	A		x		x		C-13	C	x				
	B		x		x			A	x			x	
	C		x		x			B	x		x	x	
V-13	A		x	x	x		C	x					
	B		x	x	x								
	C		x	x	x								

3.3.1.2. San Antonio

En la Figura 3.8, se observan los resultados del análisis de DRX de la fracción limo y arcilla. Como material parental de los suelos se considera el horizonte C de la calicata 12. Este último presenta la siguiente mineralogía: cuarzo, albita y andesina, feldespato potásico, actinolita y un porcentaje menor de arcillas del los grupos de caolinita y esmeectita.

Cabe destacar el comportamiento distinto de los dos cuarteles: Las calicatas CP-6 y CP-1, a diferencia del resto, tienen calcita en su mineralogía, debido a que se agregaron

coquinas del banco de coquinas Msm(b) al suelo producto del manejo agrícola. Otra característica distintiva en las calicatas del cuartel terraza o CT, es la presencia de anortita, mineral que disminuye su concentración del horizonte C al horizonte A. Destaca también la ausencia de caolinita, y la presencia de illita.

Las calicatas CP-10, CP-12 y Blanco tienen mayor contenido de arcillas, tales como la esmectita, caolinita, clorita e illita. Además, se destaca presencia de feldespato potásico, el cual no se observa en las calicatas del cuartel terraza o CT.

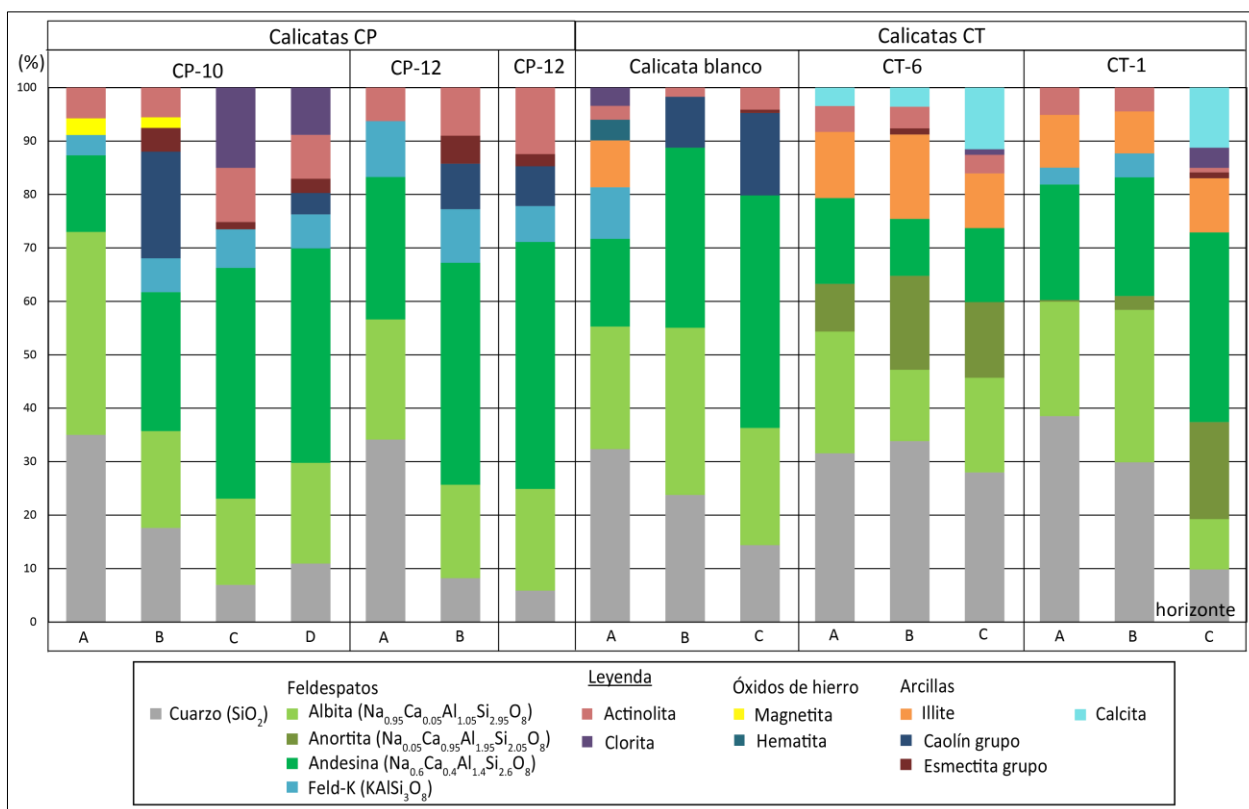


Figura 3.8: Diagrama de barra mostrando los resultados de DRX en la fracción limo-arcilla de la viña de San Antonio.

En el análisis de la fracción fina (Tabla 3.7) se observa que la totalidad de las esmectitas no son vermiculitas. Existen diferencias entre los dos análisis ya que el que se realizó en la fracción fina (arcilla) no muestra presencia de illita ni clorita, mientras que estos minerales fueron determinados por el análisis en la fracción limo-arcilla.

3.3.1.3. Santa Cruz

En la Figura 3.9 se observan los resultados del análisis de DRX de la fracción limo y arcilla en las calicatas de la viña de Santa Cruz. El análisis de la roca parental indica que

tiene como mineralogía: cuarzo, albita y andesina, feldespato potásico, actinolita, clorita y un porcentaje menor de arcillas del grupo de la caolinita y esmectita.

Las principales diferencias que se observan entre el material parental y suelo son:

- Ausencia de clorita en suelos.
- Ausencia de anortita en suelos.
- Aumento de las arcillas: illita y grupo caolín en suelos.
- Existencia de minerales del grupo de las esmectitas en suelos.

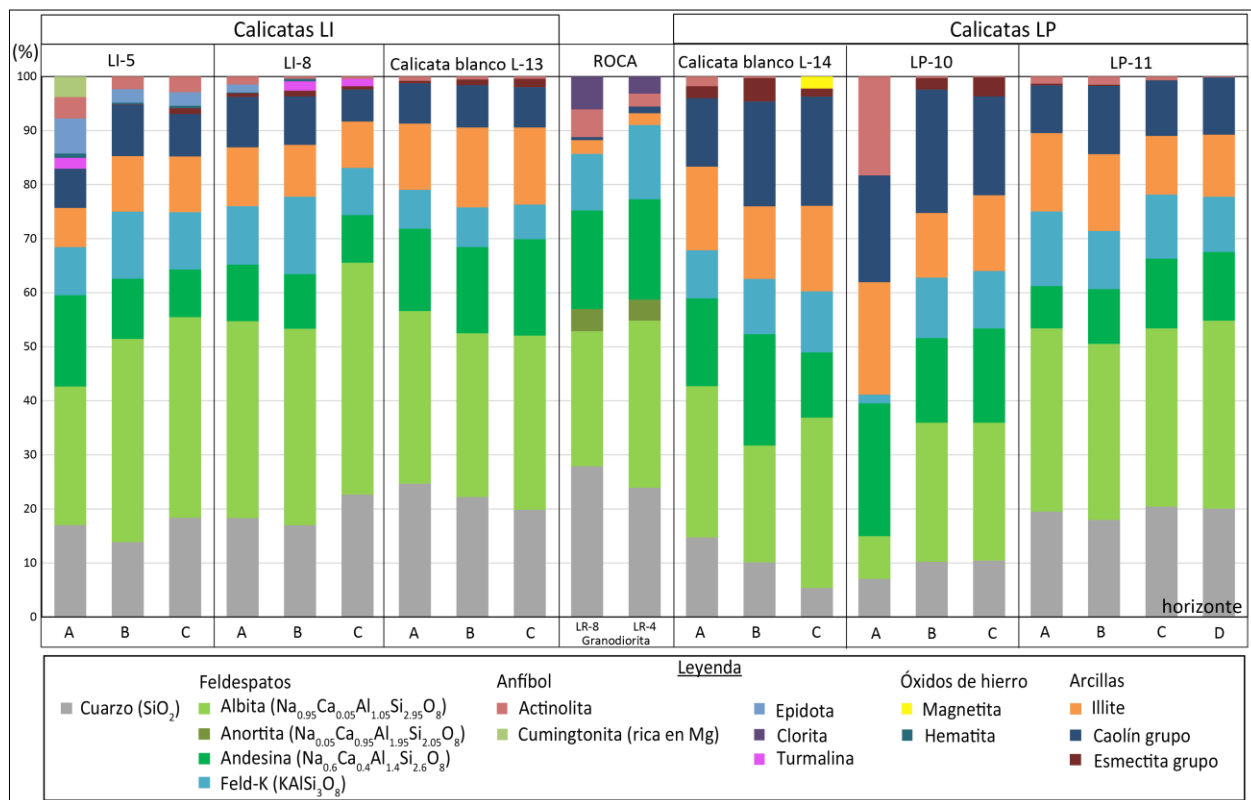


Figura 3.9: Diagrama de barra mostrando los resultados de DRX en la fracción limo-arcilla de la viña de Santa Cruz.

Se observa que en las calicatas que se ubican en el suelo desarrollado in situ y sobre todo en el perfil LP-10, hay mayor porcentaje de arcillas y actinolita.

Por otro lado, sí se compara la calicata blanco L-14 con el resto de las calicatas, se observa que ésta contiene magnetita, mineral que no está presente en el resto de las calicatas.

Los resultados de los análisis DRX de la fracción arcillas se presentan en Tabla 3.8 y permitieron reconocer la ausencia de clorita en todos los perfiles de suelo estudiados, la

presencia de vermiculita en todos los perfiles de suelo, a excepción de LI-5, y la presencia de esmectita solamente en esta última calicata.

Tabla 3.8: Tabla con la identificación de arcillas en la viña Santa Cruz y San Javier. Hz= horizonte, Sme=esmectita, Vrm=vermiculita, Ill=illita, Kln=caolinita, Chl= clorita. Obtenido de Salgado (en preparación).

Santa Cruz							San Javier						
Cal	Hz	Sme	Vrm	Ill	Kln	Chl	Cal	Hz	Sme	Vrm	Ill	Kln	Chl
LI-5	A			x	x		M-2	A	x			x	
	B	x		x	x			B	x			x	
	C	x		x	x			C	x			x	
LI-8	A		x	x	x		M-8	A	x			x	
	B		x	x	x			B	x			x	
	C		x	x	x			C	x			x	
LP-10	A		x	x	x		M-3	A	x			x	
	B		x	x	x			B	x			x	
	C		x	x	x			C	x				
LP-11	A			x	x		M-13	D	x			x	
	B		x	x	x			A	x			x	
	C		x	x	x			B	x				
LI-13	A		x	x	x		C	x					
	B		x	x	x								
	C		x	x	x								
LP-14	A		x	x	x								
	B		x	x	x								
	C		x	x	x								

3.3.1.4. San Javier

En la Figura 3.10 se presentan los resultados del análisis de DRX de la fracción limo y arcilla. Como material parental de los suelos se considera la toba vítrea. Se observa que ésta tiene como mineralogía solamente cuarzo y albita. La presencia única de estos dos minerales se debe a que la roca está principalmente compuesta por vidrio.

En las calicatas no se observan mayores diferencias entre ellas, pero con respecto a la roca se observa la presencia de feldespato potásico, andesina, actinolita y arcillas (ilita y caolinita).

Los resultados de los análisis de DRX de la fracción arcilla a diferencia de la fracción limo, muestran la presencia del grupo esmectitas y caolinita y la ausencia de vermiculita e illita en todas las calicatas.

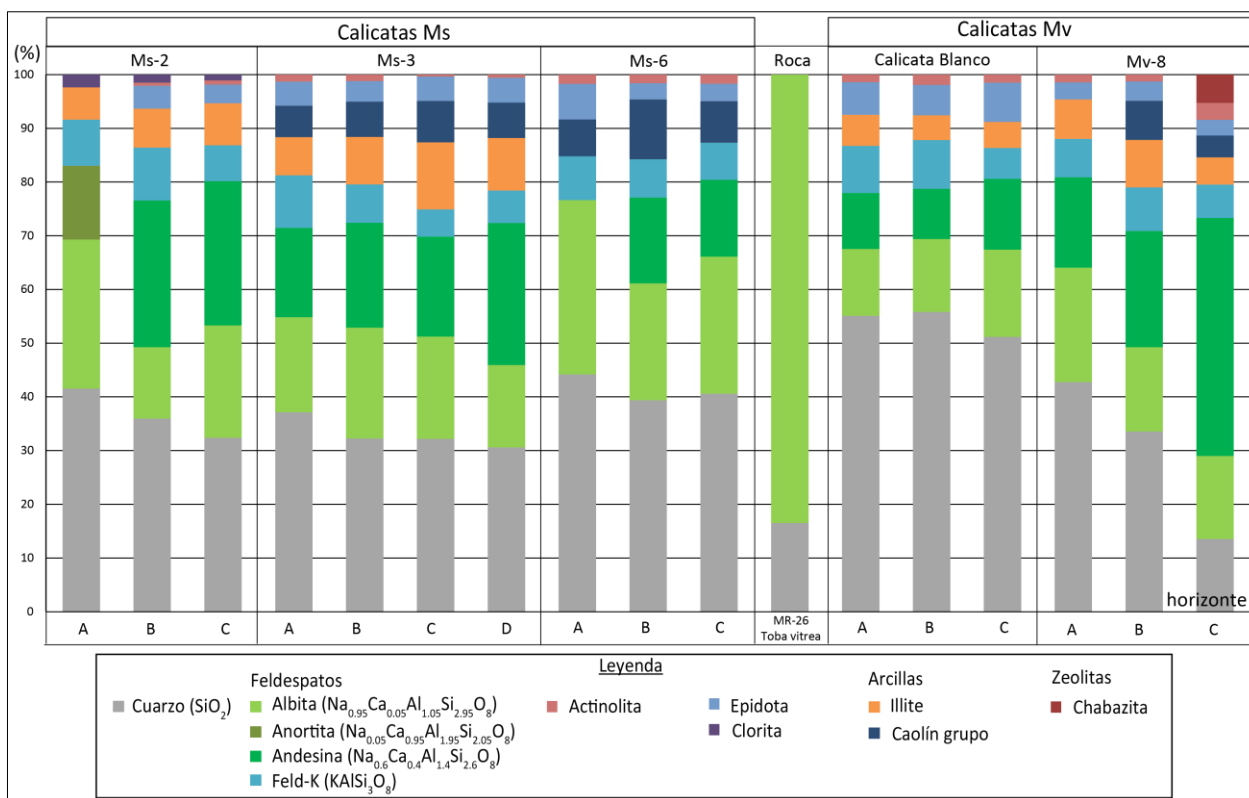


Figura 3.10: Diagrama de barra mostrando los resultados de DRX en la fracción limo-arcilla de la viña de San Javier.

4. CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLOGICA

4.1. VIÑA CASABLANCA

La viña de Casablanca se ubica dentro de la cuenca del estero de Casablanca, emplazada en la vertiente occidental de la Cordillera de la Costa. El estero recibe el aporte de cuatro subcuencas: Lo Orozco, Lo Ovalle, La Vinilla-Casablanca y, finalmente, la subcuenca Los Perales, donde se ubica la viña en estudio.

4.1.1. CARACTERIZACIÓN HIDROLÓGICA

4.1.1.1. Clima

El clima de la cuenca es mediterráneo templado semiárido, con fuerte influencia marítima. Recibe en promedio unos 450 mm de lluvia al año, y tiene precipitaciones mayormente invernales (Nahrword, 2014).

Presenta casi todo el año una amplia cobertura de nubosidad baja (neblina) en la mañana proveniente de la costa, lo que le da rasgos particulares de clima mediterráneo templado costero (Nahrword, 2014).

4.1.1.2. Datos climáticos

Precipitaciones

Los datos de precipitaciones fueron obtenidos de dos estaciones meteorológicas distintas, la estación Tapihue de la DGA y la estación Tapihue de la red Meteovid. Para evaluar las precipitaciones en los últimos 20 años, se consideraron los datos recopilados en la estación de la DGA, ya que la red meteovid no tiene registros tan antiguos. Sin embargo para estudiar los datos climáticos durante el periodo del proyecto, se utilizaran los datos meteorológicos de la estación Tapihue de la red Meteovid, los cuales tienen mayor resolución, es decir datos mensuales.

En la distribución de la lluvias anuales desde 1990 a 2014 (Figura 4.1), se observa la existencia de un año altamente lluvioso 1997, que coincide con la presencia del fenómeno del niño ese año. Los registros pluviométricos muestran un pequeño descenso en los últimos 8 años, quedando 6 de estos últimos 8 años bajo el promedio de 402 mm anuales. Sin embargo, no se podría asegurar una época de sequía con los datos considerados.

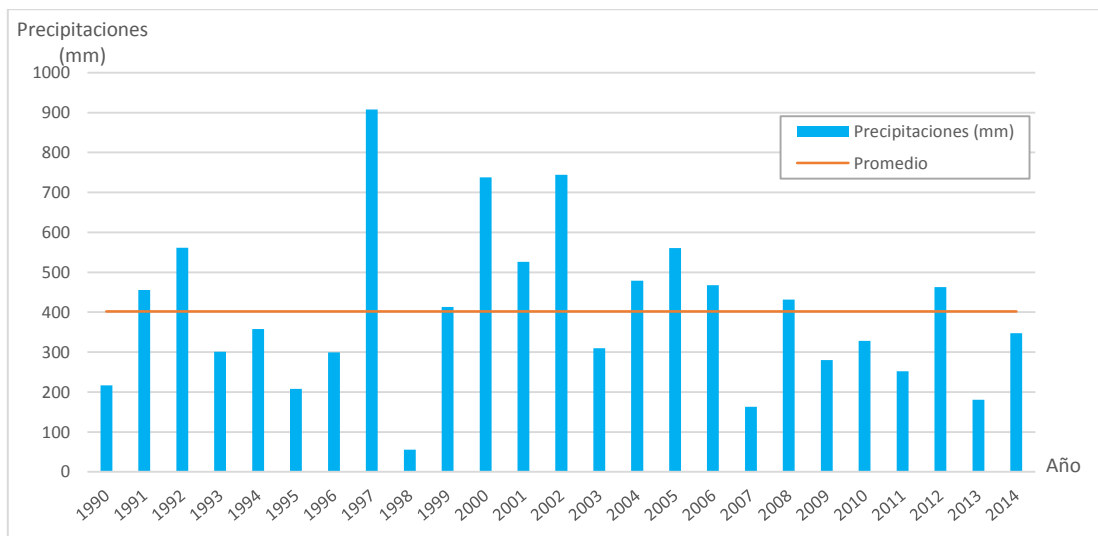


Figura 4.1: Precipitaciones anuales, estación Tapihue DGA.

El régimen pluviométrico del área de la cuenca de Tapihue es tipo mediterráneo con lluvias invernales y estaciones secas que se prolongan por varios meses. La distribución de lluvias es estacional, ya que la mayoría de las precipitaciones se encuentran concentradas en los meses de Mayo a Septiembre (Figura 4.2)

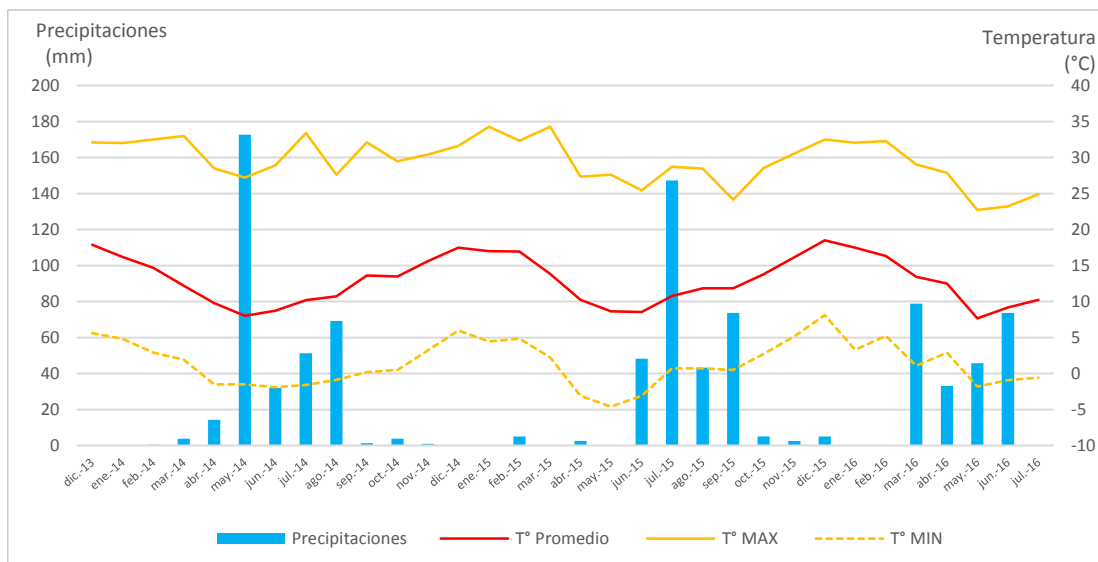


Figura 4.2: Precipitaciones y temperatura estación Tapihue Meteovid.

Temperaturas

La temperatura promedio varía generalmente alrededor de los 13°C. Debido a la influencia marina existe una caída de la temperatura en las noches de verano (Ortega, 2011).

Las máximas se registran en los meses estivales de Octubre a Marzo con temperaturas promedio de 20°C, mínimas de 10°C y máximas de hasta 35°C. En los meses invernales la temperatura promedio se encuentra entorno a los 10°C con máximas de 30°C y mínimas hasta -4,6°C (Figura 4.2).

4.1.1.3. Cuenca hidrográfica

La cuenca hidrográfica respectiva se definió mediante análisis de imágenes DEM. La cuenca corresponde a la sección norte de la subcuenca del estero Los Perales y tiene un área de 83,23 km². El valle corresponde a un valle fluvial compuesto por depósitos de relleno proveniente de los cerros circundantes.

En el mapa de pendientes (Figura 4.3) se puede observar que estas oscilan entre 0 y 49°, aunque las pendientes entre 0° y 15° (color verde) son las más representativas del valle. En los valles secundarios se observan pendientes mayores, de 20° aproximadamente (colores naranjos a rojos). Las pendientes más pronunciadas corresponden a las laderas de las quebradas, sobre todo en la zona este de la cuenca, donde las alturas son mayores, alcanzando los 1440 ms.n.m.

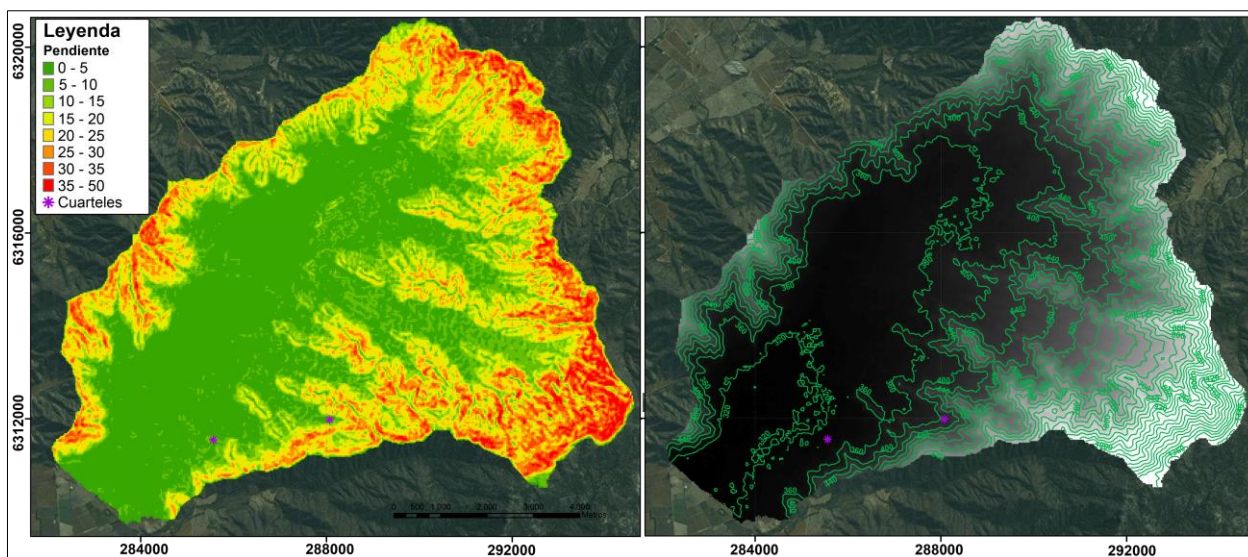


Figura 4.3: Mapa de pendientes y curvas de nivel de la cuenca en estudio.

4.1.1.4. Hidrografía

El estero de Casablanca es el principal cauce de la cuenca, con una orientación EO y un escurrimiento desde el este al oeste. La cuenca del estero de Casablanca carece de

cursos de agua principales, como ríos, tal que el caudal del estero es temporal y está relacionado a las precipitaciones.

Dentro de la cuenca en estudio, el estero los Perales de Tapihue es el drenaje principal de la subcuenca (Figura 4.4). El valle posee un drenaje tipo dendrítico presentando ramificaciones en todas las quebradas, todos los esteros y arroyos son esporádicos, con régimen de alimentación pluvial.

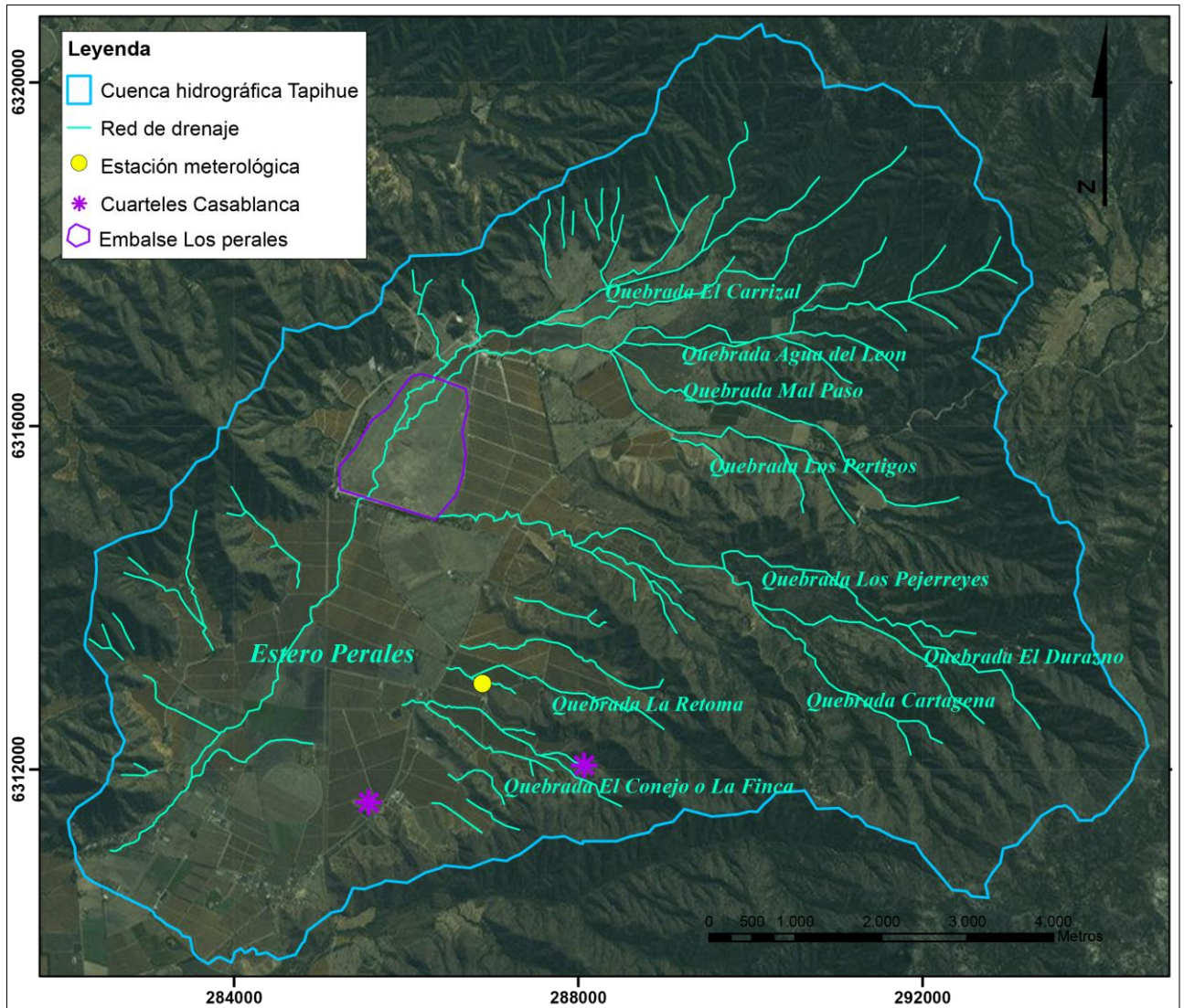


Figura 4.4: Distribución de la red hidrográfica, cuenca Tapihue.

Desde el 2007 a la actualidad la mayoría de los embalses en la cuenca del estero de Casablanca se han secado, no siendo excepción el embalse Los Perales, el que ha reducido drásticamente el volumen almacenado como se puede ver en la Figura 4.5 en donde se muestran imágenes satelitales con 11 años de diferencia (2006 a 2017).



Figura 4.5: Fotos de la evolución del embalse Los Perales.

4.1.2. CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLOGICA

Para la caracterización hidrogeológica de la zona, se utilizó el mapeo geológico y geomorfológico realizado en el proyecto y antecedentes de la DGA. Esta caracterización se basó en definir unidades hidrogeológicas, geometría de acuífero y sus propiedades.

4.1.2.1. Unidades hidrogeológicas

Las unidades se agruparon en función de su potencial hidrogeológico, desde unidades impermeables hasta unidades permeables.

Se definieron tres unidades hidrogeológicas: Unidad de roca, Unidad aluvial y Unidad depósito pie de monte. El mapeo y clasificación entrega un total de 43,79 km² pertenecientes a la Unidad de roca, 29,82 km² a la Unidad aluvial y finalmente la Unidad depósito pie de monte tiene un área de 9,63 km².

Unidad de roca

Unidad conformada por rocas intrusivas, pertenecientes a la Unidad Los Perales (Jurásico Medio a Jurásico Superior). Las rocas corresponden a Granodioritas y Tonalitas, además de Diques aplíticos de turmalina que cortan a las rocas anteriores (Figura 4.6 y Figura 4.7). Los afloramientos en la zona muestran meteorización esferoidal y menor grado de fracturamiento.

Cabe destacar que debido a la densidad de vegetación, se observa un proceso de meteorización y desarrollo de suelo sobre el basamento. Sin embargo, este tiene un espesor despreciable en comparación a las otras unidades. No obstante éste suelo permitiría la infiltración de agua y flujo hacia el valle, durante las precipitaciones.



Figura 4.6: Afloramiento de intrusivos y dique aplítico en sector Tapihue.

Las unidades de roca en general presentan un bajo interés hidrogeológico, dada una baja permeabilidad. En este caso la unidad conforma el límite inferior y lateral del acuífero, el cual está principalmente alojado en los sedimentos no consolidados.

De acuerdo a la clasificación de Krásny (1997) los valores de permeabilidad en macizos rocosos no alterados ni fracturados tienen valores inferiores a 1×10^{-5} m/día.

Unidad depósitos de pie de monte

Conformada principalmente por depósitos no consolidados que se ubican en los valles secundarios de la cuenca, sobre la unidad de roca, como se puede ver en las Figura 4.7 y Figura 4.8.

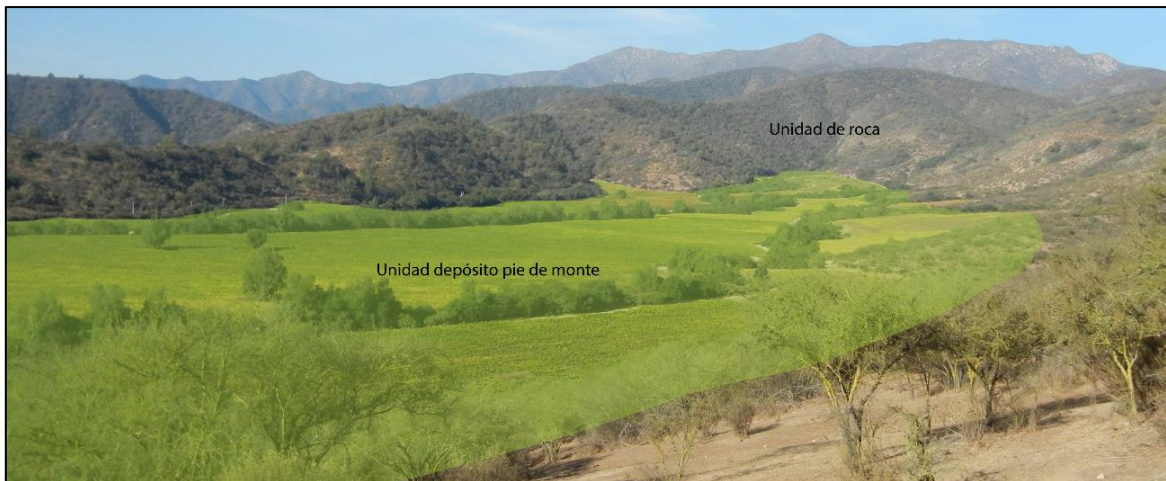


Figura 4.7: Vista al norte. Se observa el límite entre la Unidad de roca impermeable y la Unidad depósito de pie de monte.

Corresponden a tres tipos de depósitos: Depósitos de remoción en masa, Depósitos fluviales esporádicos y depósitos coluviales.

Depósitos de remoción en masa: Sedimentos semi-consolidados a consolidados formados por limos, arenas, gravas y localmente por niveles clásticos interdigitados atribuibles a paleocanales (Contreras, 2017).

Depósitos coluviales: Sedimentos no consolidados a semi-consolidados de mala selección, clastos angulosos y polimícticos variando de 2 a 30 cm. Tamizajes indican limos y arcillas (6%), arena fina (18%), arena media (49%), arena gruesa (6%) y grava (aprox. 20%) (Castillo et al., 2015).

Depósitos fluviales subactuales: Sedimentos no consolidados de cursos fluviales esporádicos, clastos redondeados a sub-angulosos variando desde 5 a 100 cm, con una matriz con granos desde tamaño arena fina-muy fina a grava (Castillo et al., 2015).

Esta Unidad es de importancia hidrogeológica, ya que presenta alta permeabilidad, alto porcentaje de partículas mayores a tamaño limo, por lo que la infiltración en esta unidad sería importante permitiendo la recarga del acuífero en la época de precipitaciones. Sin embargo, la potencia de estos depósitos es baja para almacenar acuíferos. De acuerdo a Custodio y Llamas (1983), la permeabilidad para depósitos con esta granulometría varía de 0 a 10² m/d.

Unidad aluvial

Corresponde a depósitos ubicados en la llanura del valle, que ocupan la principal zona del Valle de Tapihue. Se encuentran sobre la Unidad de Roca, y en contacto lateral con la Unidad depósitos de pie de monte (Figura 4.8).

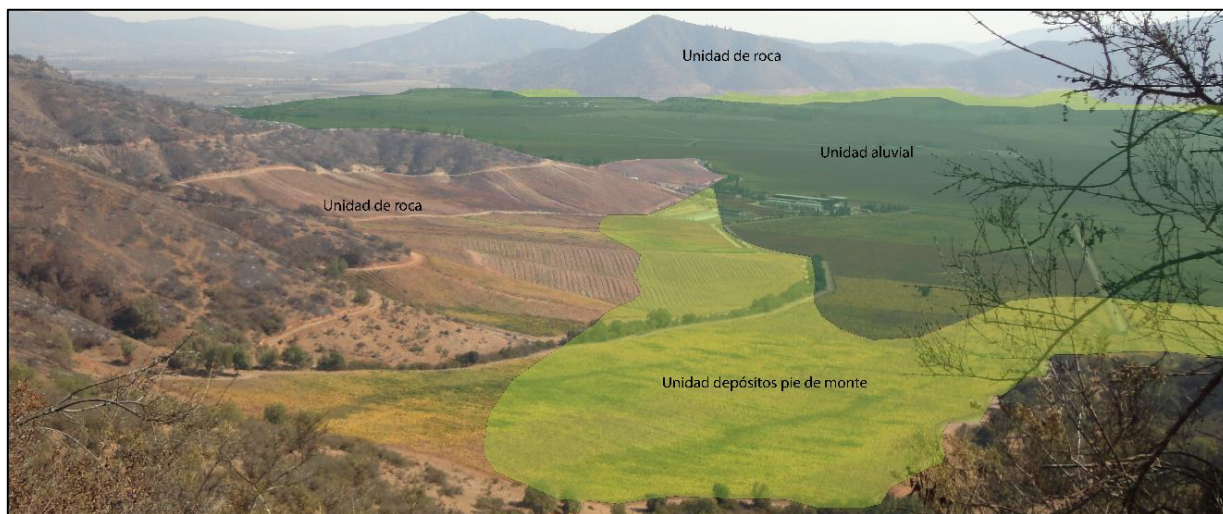


Figura 4.8: Vista al SO. Límite inferido entre las diferentes unidades hidrogeológicas definidas.

Tamizajes en el suelo indican la presencia de partículas tamaño limo y arcilla (11-16%), arena fina (20-22%), arena media (50-61%), arena gruesa (2-5%) y gravas (1%) y además de observar abundante materia orgánica (Lagos, 2015).

Esta unidad es la de mayor potencial hidrogeológico ya que corresponde a la unidad donde se aloja el acuífero. De acuerdo a la información recopilada desde las descripciones de los sondajes de pozos inscritos en la DGA, la unidad está caracterizada por intercalaciones de estratos permeables, con alto porcentaje de arenas medias y gruesas y por estratos impermeables ricos en arcillas (Figura 4.9). De acuerdo a la clasificación de Custodio y Llamas (1983), la permeabilidad del depósito variaría entre 1 y 10^{-4} m/d.

La Figura 4.9 muestra el mapa hidrogeológico de la Cuenca de Tapihue, donde se observan los límites de la cuenca hidrológica y, la distribución espacial y contacto de las tres unidades hidrogeológicas.

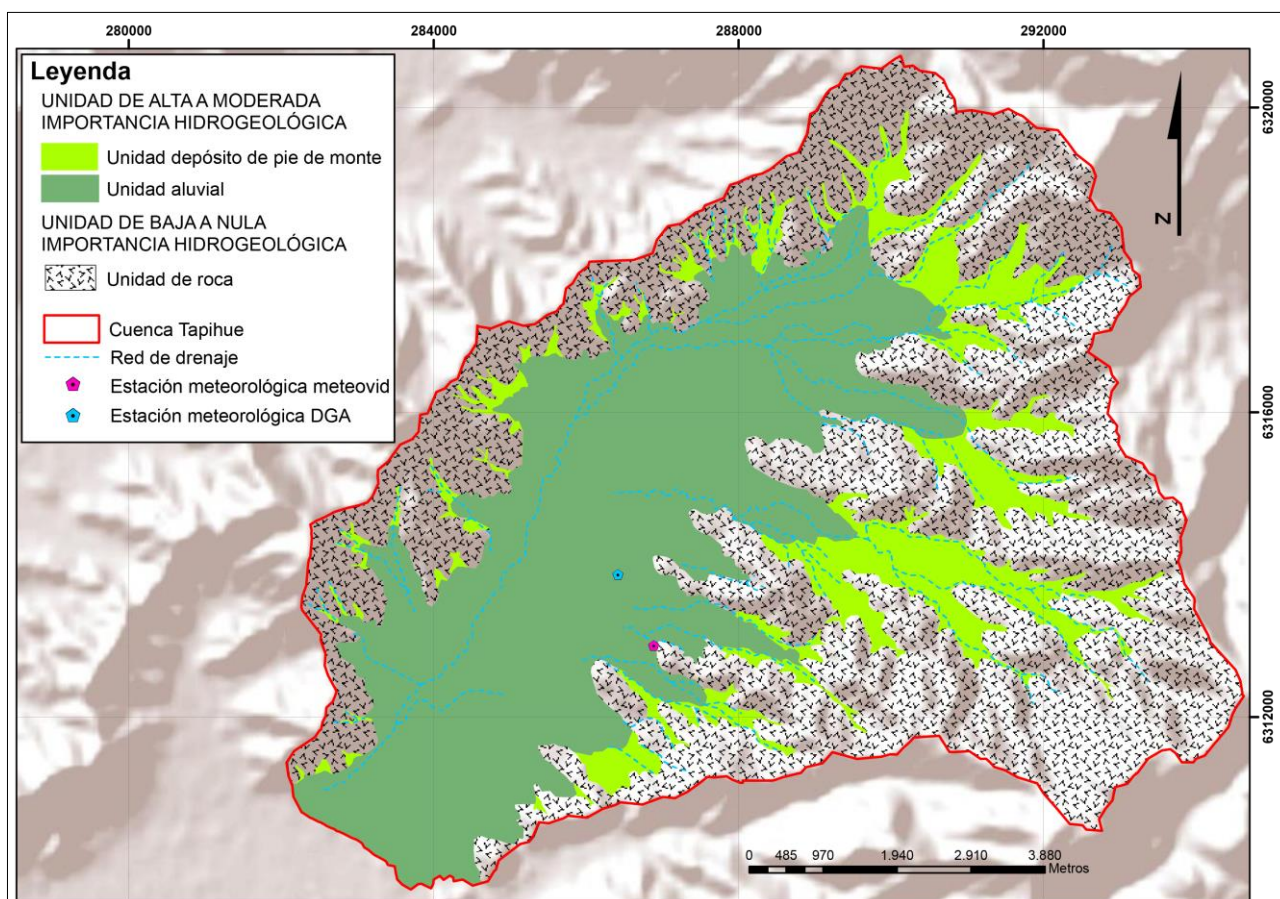


Figura 4.9: Caracterización hidrogeológica de la Cuenca de Tapihue.

4.1.2.2. Geometría y propiedades del acuífero

Columnas

En la cuenca de Tapihue, se recopilieron datos y antecedentes del entorno de los pozos de bombeo registrados en la DGA, para caracterizar en profundidad el acuífero. Casi la totalidad de los pozos en la cuenca de Tapihue se encuentran ubicados en la unidad aluvial. En la Figura 4.10 se pueden observar en negro los pozos registrados en la DGA y en rojo los pozos que contienen columnas estratigráficas. Cabe destacar que los sondeos no fueron mapeados por geólogos a excepción del sondeo Casablanca 4. Este último sondeo, mapeado por el Geólogo Gerardo Díaz se encuentra fuera de la cuenca pero es utilizado para comparar con las otras columnas.

Los sondeos muestran que el relleno del Valle de Tapihue, específicamente en la Unidad aluvial, está constituido por una intercalación de estratos permeables con partículas tamaño arena y grava (azules en la columna) y estratos impermeables a semi-permeables con mayor porcentaje de partículas tipo arcilla y limo (naranja en la columna).

Es importante recalcar que existe una capa superficial impermeable, de espesor promedio en torno a los 10 m (DGA, 2015) que impediría una alta recarga del acuífero mediante infiltración en la Unidad aluvial, por lo que el mecanismo más eficiente de recarga del acuífero sería a través de la infiltración desde la Unidad de pie de monte.

Se desprende que las formaciones acuíferas serían de carácter lenticular y semiconfinadas en la Unidad aluvial, mientras que en las cercanías de las quebradas (Unidad depósitos de pie de monte) tendría características de napa libre.

Durante los periodos de precipitaciones, el mayor porcentaje de recarga al acuífero, se efectuaría mediante infiltración desde la Unidad depósitos pie de monte, mientras un menor porcentaje del agua precipitada en la llanura infiltraría hacia el acuífero y otro porcentaje sería aporte a la escorrentía.

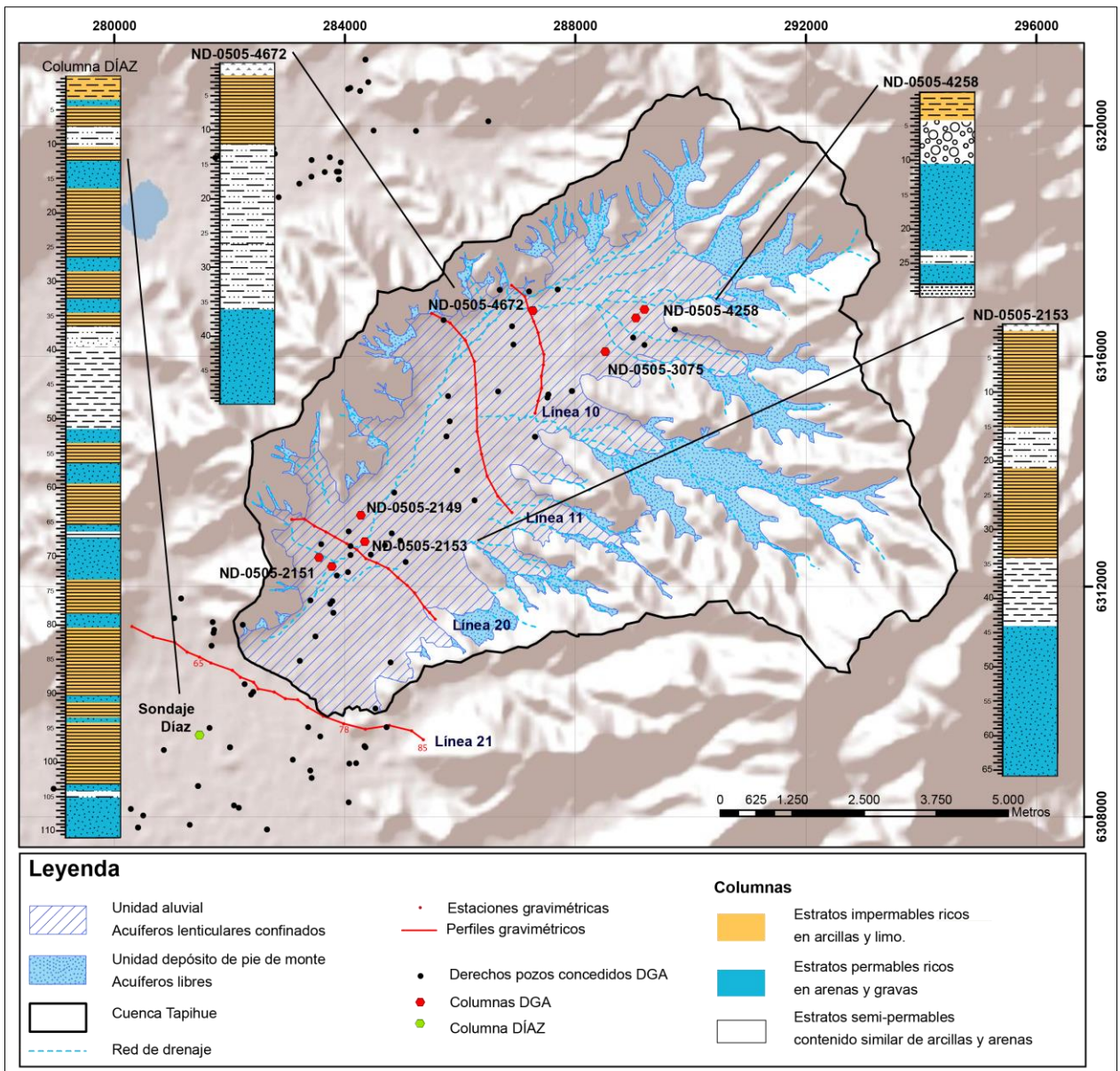


Figura 4.10: Mapa de pozos, columnas estratigráficas y perfiles gravimétricos de la cuenca.

Perfiles gravimétricos

En el estudio geofísico encargado por la DGA a Rizzo Associates (DGA, 2015), se realizaron cuatro perfiles gravimétricos de la cuenca de Tapihue para determinar la profundidad del basamento. En Figura 4.10 se muestran en rojo las trazas de las cuatro líneas geofísicas. Las líneas 10, 11 y 20 se encuentran dentro de la cuenca en estudio y la línea 21, corresponde al límite inferior de la cuenca. Este último perfil fue separado en 3 segmentos debido a que en las estaciones 65 y 78 el basamento se encontraba aflorando (Figura 4.10).

En el perfil 11 de la Figura 4.11, se observa que el basamento alcanza una profundidad máxima de 171 m, siendo el perfil, que muestra el basamento más profundo con un promedio de 77,8 m bajo superficie aproximadamente, en contra parte con los perfiles 21 B y 21 C que presentan un basamento más somero (Tabla 4.1; Figura 4.11).

Tabla 4.1: Profundidades promedio de las líneas geofísicas.

Línea Geofísica	Profundidad Basamento máxima (m)	Profundidad Basamento promedio (m)
L10	107.8	56.5
L11	171	77.8
L20	169.3	72.0
L21 B	97	47.9
L21 C	45.3	19.0

La Figura 4.11, presenta los perfiles interpretados a partir de las líneas geofísicas realizadas por Rizzo Associates. Los perfiles muestran el contacto de la cuenca con material no consolidado y el basamento.

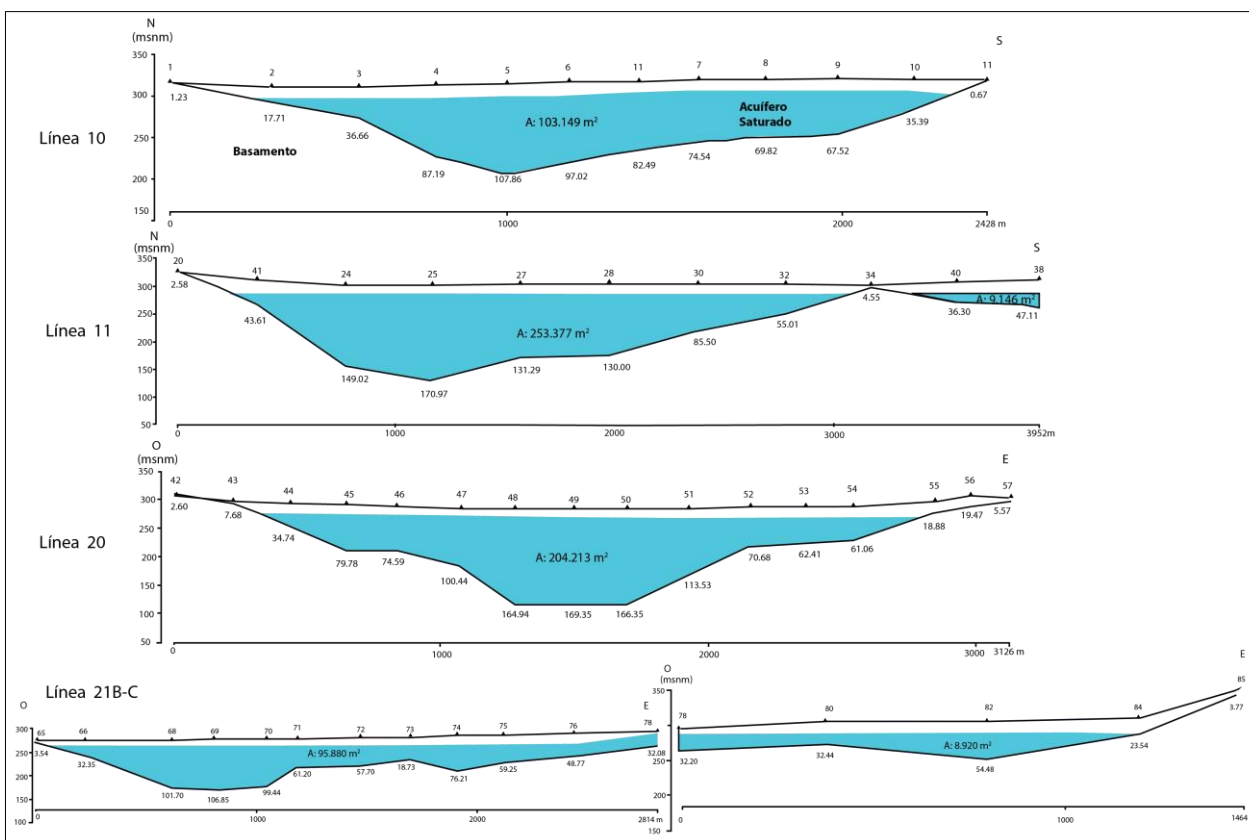


Figura 4.11: Modelos de la Cuenca de Tapihue a partir de la interpretación de los perfiles geofísicos realizados por Rizzo Associates. Modificado de DGA (2015).

Las profundidades mayores del basamento están en la parte central del valle. Cabe destacar que en la línea 21 el basamento se encuentra bastante más alzado que en la parte superior del valle, lo que formaría una barrera para el flujo del acuífero aguas abajo restringiendo el flujo subterráneo y permitiendo solo el paso del agua más somera del acuífero.

4.1.2.3. Parámetros elásticos

Los parámetros elásticos del sistema de agua subterránea fueron obtenidos a partir del informe de la DGA (2015). Las propiedades hidráulicas estudiadas son la transmisividad, permeabilidad y coeficiente de almacenamiento.

Los datos fueron obtenidos del informe DGA (2015), donde se reinterpretaron con el software Aquifertest los datos de dos pruebas de bombeo constantes presentados por un estudio de la DGA (1991). Las pruebas se realizaron a caudal constante por 24 horas; sólo una prueba del pozo B5 tiene pozo de observación. En la Tabla 4.2 se muestran los resultados de las interpretaciones de las pruebas de bombeo.

Tabla 4.2: Constantes hidráulicas obtenidas a partir de pruebas de bombeo.

Pozo	Método	Pozo de bombeo				Pozo observación		
		Bombeo		Recuperación				Recuperación
		T (m ² /día)	S	T (m ² /día)	Rendimiento especifico (m ² /h)	T (m ² /día)	S	T (m ² /día)
B5	Theiss	516	2*10 ⁻⁴	453	14.89	505	7.43*10 ⁻⁴	501
C18	Aproximación Walton	128	3.38*10 ⁻¹	1000	8.03			

Generalmente los datos más confiables de una prueba de bombeo son los que se obtienen desde los pozos de observación. En el pozo de bombeo los datos de mayor confiabilidad corresponden a los datos de la prueba de recuperación. En este sentido para el pozo B5, los datos más confiables corresponden a transmisividades entre 453 y 501 m²/día y un coeficiente de almacenamiento de 7,43*10⁻⁴.

Cabe destacar que debido a las características del acuífero, es normal que los parámetros hidráulicos sean variables, ya que estos dependen de las características de la capa en la cual se encuentra el acuífero, es decir espesor, litología y permeabilidad, entre otros.

Recordando las permeabilidades que fueron mencionadas en el apartado anterior, la Unidad Aluvial posee permeabilidades que van desde los 1 a los 10^{-4} m/d, la Unidad depósito de pie de monte permeabilidades que fluctúan de 0 a 10^2 m/d y la Unidad de roca permeabilidades inferiores a 10^{-5} m/d.

4.1.2.4. Piezometría y flujos subterráneos

Para determinar la piezometría y dirección del flujo subterráneo se realizaron dos campañas de terreno para llevar a cabo mediciones del nivel freático. La primera campaña corresponde a Invierno 2015 (septiembre), donde se obtuvieron 22 mediciones. La segunda campaña de terreno se realizó en Verano 2016 (enero), con la medición de 48 pozos.

En la Tabla 4.3 se muestran los valores del nivel freático obtenidos en cada campaña, los datos de las mediciones se encuentran en la tabla de **Anexo 2.1**. Los valores máximos y mínimos de la cota freática en esta zona varían entre 394 y 261 ms.n.m. en las mediciones de Invierno 2015, lo cual equivale a que el nivel freático tiene profundidades que varían entre 31 y 10 m bajo superficie (mbs), respectivamente.

Tabla 4.3: Valores del nivel freático durante las campañas de Invierno 2015 y Verano 2016.

Temporada		Invierno 2015	Verano 2016
Mediciones		22	48
Nivel freático (mbs)	Promedio	19	26
	Min	10	11
	Max	31	43

En la Figura 4.12 se observan las isopiezas obtenidas a partir de la medición de los niveles piezómetros en Invierno 2015. Las flechas indican la dirección del flujo del agua subterránea, el cual presenta un sentido de este a oeste en los valles secundarios orientales. Luego, el flujo toma una dirección hacia el SO, bajando por el Valle de Tapihue. En el sector SO del área de estudio, donde existe una mayor densidad de pozos medidos, las isopiezas muestran formas concéntricas (Figura 4.12). Este comportamiento suele representar lugares donde el nivel de agua se encuentra deprimida debido a la extracción de agua formando isopiezas circulares alrededor de pozos de extracción.

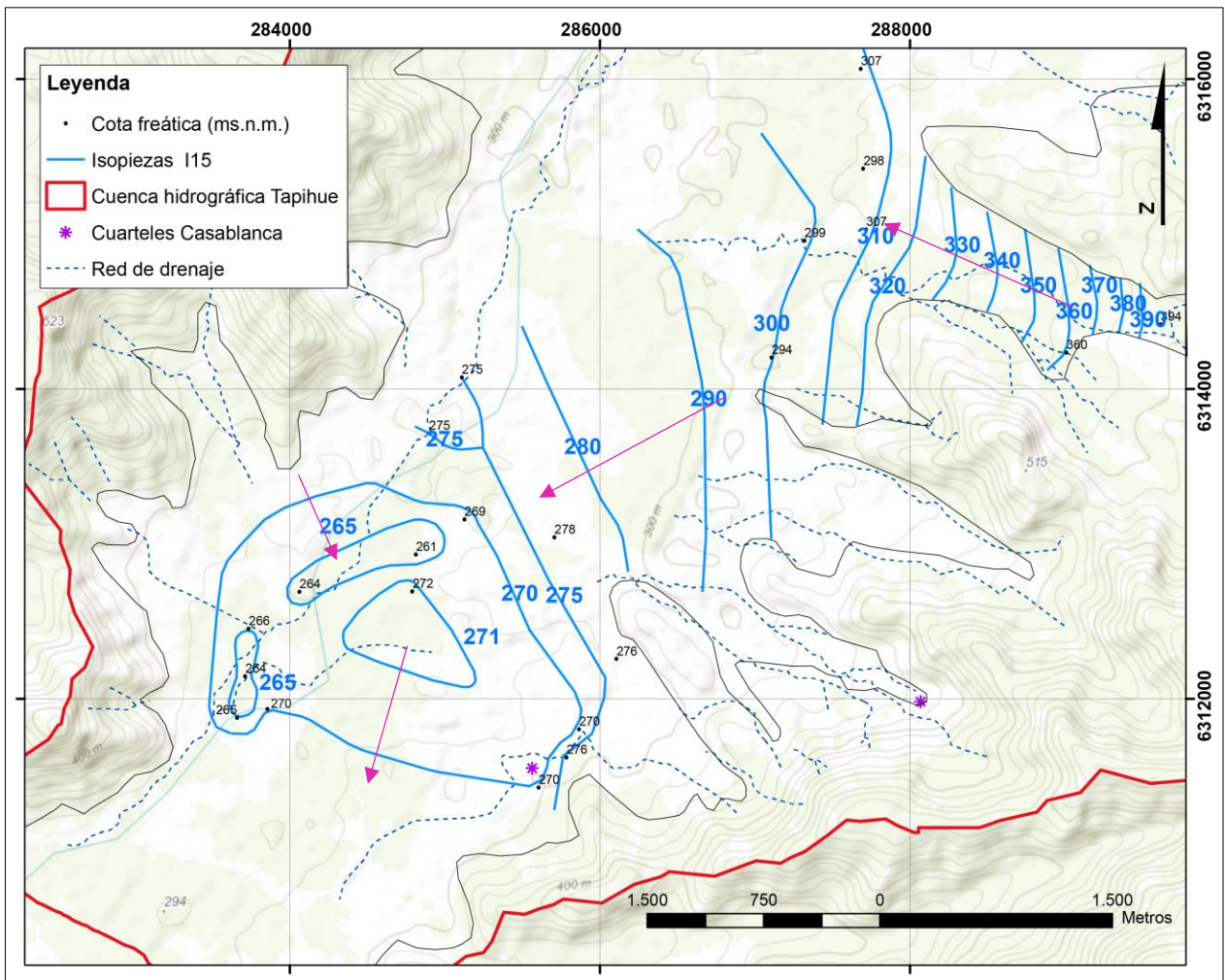


Figura 4.12: Mapa de isopiezas del nivel freático Invierno 2015, las flechas indican la dirección del flujo subterráneo.

Para la campaña de mediciones del Verano 2016, se logró medir 26 pozos más que en la temporada anterior, permitiendo abarcar una mayor área de la cuenca. Los valores máximos y mínimos de la cota freática en esta zona corresponden a 395,7 y 239,7 ms.n.m., equivalente a una profundidad del nivel freático que varía entre 43 y 11 mbs respectivamente (Tabla 4.3).

En la Figura 4.13 se presenta el mapa de isopiezas del Verano 2016. A grandes rasgos el flujo subterráneo sigue siendo parecido a la piezometría de invierno, aunque se puede observar en la zona SO de la cuenca una confluencia del flujo subterráneo debido a la explotación del acuífero por la alta densidad de pozos. Si bien en el límite SO de la cuenca se observa que existe flujo hacia el estero de Casablanca debido a la poca profundidad del basamento en la zona de salida, la mayor cantidad del flujo subterráneo confluiría hacia la principal zona de extracción de agua. Este comportamiento se observa sobre todo en el verano, ya que el uso del agua extraída en la zona, es mayormente para

irrigación de la vid. Como resultado se observa un mayor descenso del nivel piezométrico en comparación a las mediciones del invierno con descensos mayores entre 7 y 12 metros (Tabla 4.3).

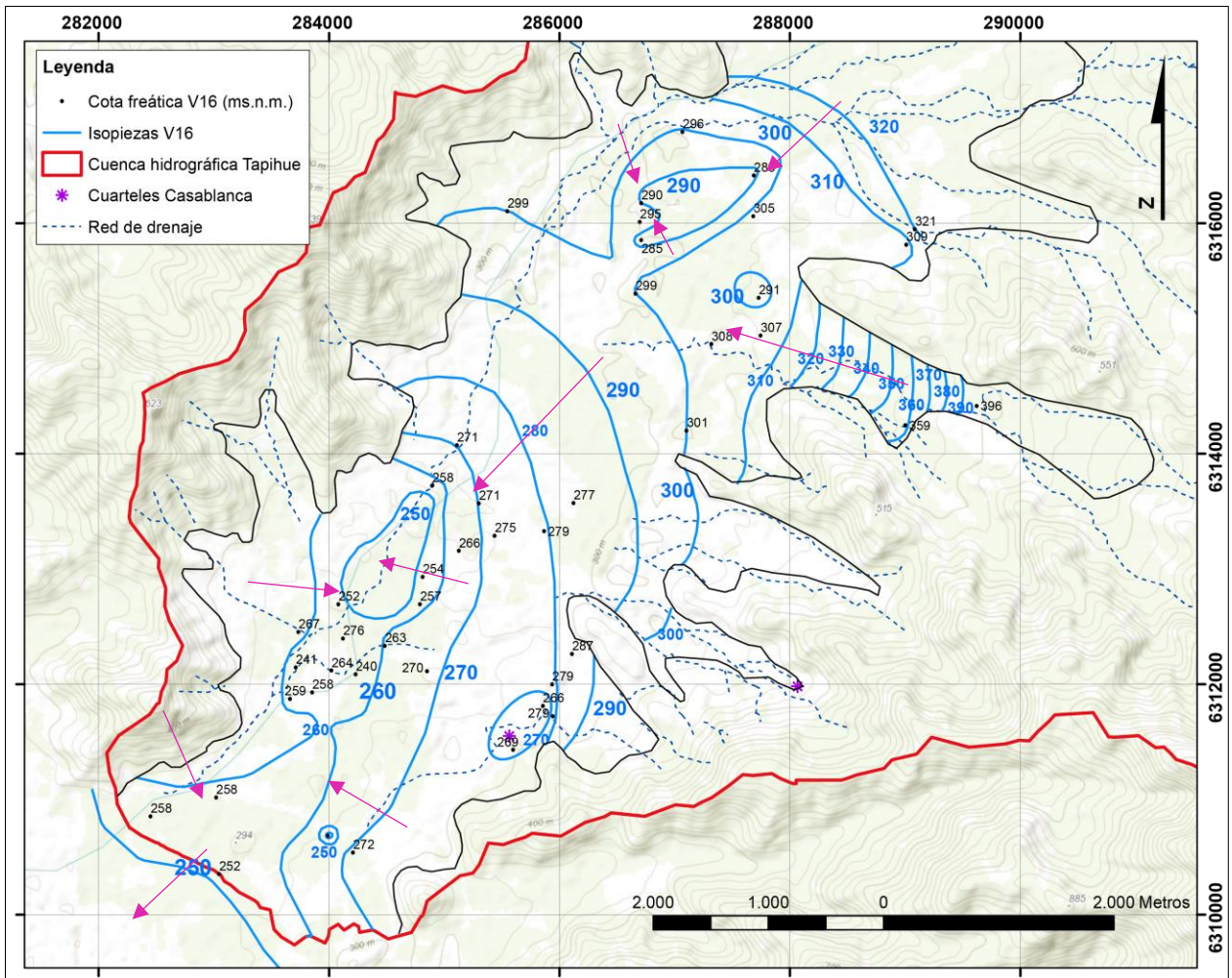


Figura 4.13: Mapa de Isopiezas del nivel freático Verano 2016, las flechas indican la dirección del flujo subterráneo.

4.1.2.5. Balance Hídrico

Un balance hídrico para toda la cuenca del estero de Casablanca fue realizado en el informe de la DGA (2015) y entregó las siguientes conclusiones principales:

- Incremento significativo del caudal de explotación de agua subterránea desde 211 l/s en 1991 a 6169 l/s en 2014.
- Asociado al incremento del caudal de extracción se observa un descenso de niveles freáticos. Esto tiene influencia en el flujo subterráneo, el cual, originalmente en el año 1991 tenía un sentido preferente hacia el oeste, con salida hacia el sector de Las Dichas, mientras en la actualidad el flujo forma una extensión radial

convergente alrededor de las zonas de bombeo actuando como un sumidero e impidiendo el flujo aguas abajo.

- El fuerte aumento del bombeo de aguas subterráneas, resulta en un balance hídrico negativo siendo superior la descarga a la recarga de agua, produciendo un efecto en la red hídrica que, en este caso, explicaría mayoritariamente la ausencia de flujos superficiales, puesto que los descensos de las precipitaciones se han mantenido sólo levemente inferiores a épocas anteriores.
- Por otro lado, un descenso del nivel en el acuífero genera un aumento importante de la zona no saturada, en la que los poros contienen agua y aire, en vez de agua únicamente como en las zonas saturadas. Este descenso implica por lo tanto un aumento de los procesos de lixiviación, oxidación y aportes de solutos al acuífero, que con el tiempo puede provocar una contaminación del mismo.
- Se ha observado un cambio sustancial en los usos del suelo en la cuenca del estero de Casablanca, existiendo una evolución desde cultivos extensivos (trigo, avena) a viñedos, estos últimos generalmente tecnificados con sistemas de riego por goteo. Se ha producido así mismo, un aumento de los cultivos de vid en zonas de pendiente elevada, en las laderas de la montaña, lo que evita o disminuye la escorrentía y aumenta la infiltración y a su vez pueden producir incrementos de aportes de sedimentos a los cauces. En específico en este punto, contradictoriamente a las conclusiones del informe, se estima que cultivos en alta pendiente, potenciarían la escorrentía por sobre la infiltración debido a la disminución de la vegetación, sobre todo en la ladera norte, que son las que tienen mayor vegetación.

4.2. VIÑA SAN ANTONIO

La viña de San Antonio se ubica en la cuenca del estero el Sauce, emplazada en el sector occidental de la Cordillera de la Costa y se encuentra inmersa en la gran cuenca hidrográfica del río Maipo.

4.2.1. CARACTERIZACIÓN HIDROLÓGICA

4.2.1.1. Clima

El clima del valle de San Antonio es semiárido, con vegetación natural esteparia (Nahrword, 2013). El clima local es de tipo mediterráneo con influencia costera con estación seca de 9 meses.

4.2.1.2. Datos climáticos

Los registros meteorológicos fueron obtenidos de dos estaciones al igual que en la viña de Casablanca. Para la recopilación de los últimos 26 años, se consideraron los datos de la estación Cerros de Leyda de la DGA y para mayor detalle durante los años del proyecto se recopilaron datos desde la red Meteovid, estación Ventisquero de Leyda.

En la distribución de las lluvias de los últimos 26 años (Figura 4.14), se observa al igual que en la viña de Casablanca un *peak* de lluvia en 1997, coincidente con el fenómeno del niño y también se registra un descenso de las lluvias en los últimos 4 años con precipitaciones anuales menores al valor promedio.

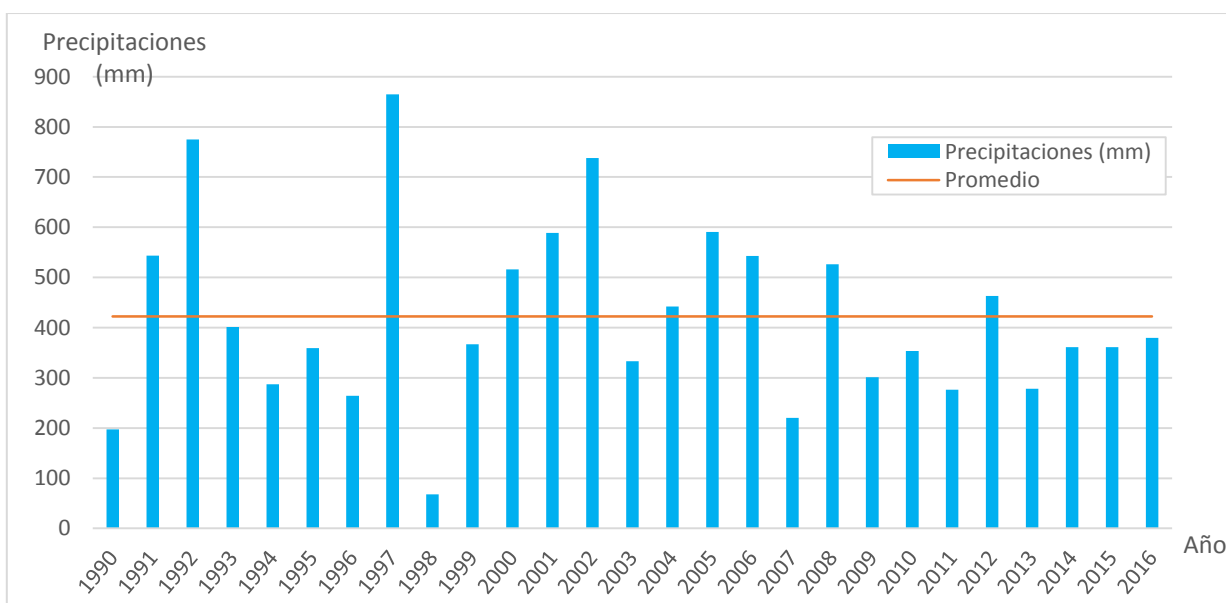


Figura 4.14: Gráfico de precipitaciones en los últimos 26 años, estación Cerros de Leyda DGA.

En la Figura 4.15 se observa el climograma del 2014 al 2016 de la estación meteorológica Ventisquero de Leyda.

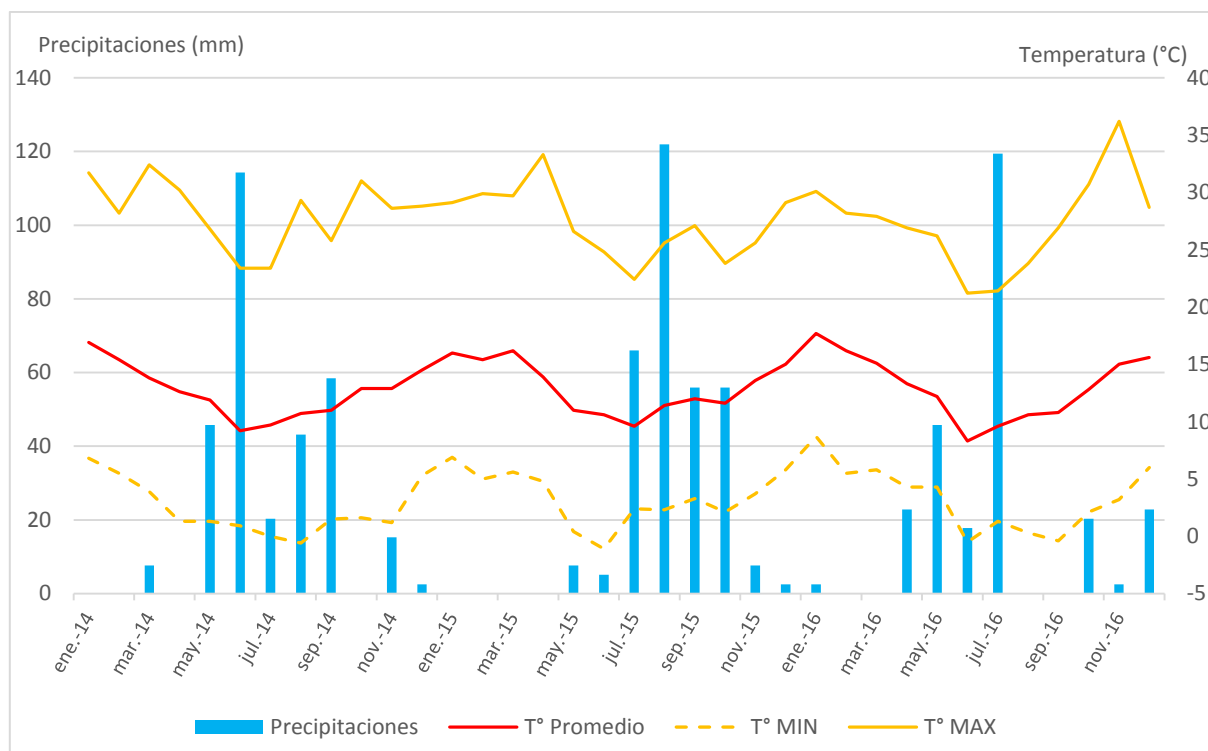


Figura 4.15: Climograma de la estación de meteorología de Ventisquero de Leyda.

Se puede observar que las lluvias se concentran en los meses de mayo a septiembre. El mes con mayor precipitación corresponde a agosto del 2015, con una suma de 122 mm. Las temperaturas mínimas se encuentran alrededor de -1,5°C y las máximas hasta 36°C en noviembre de 2016. Las temperaturas tienen una baja oscilación, mayormente debido a la cercanía de la viña al mar. La temperatura promedio varía entre 8,3°C en julio de 2016 a 17,7°C en enero de 2016.

4.2.1.3. Cuenca hidrográfica

La cuenca se definió mediante análisis de imágenes DEM y el programa Arcgis. La cuenca se origina a partir de la erosión del estero el Sauce, que nace en la vertiente occidental de la Cordillera de la Costa y desemboca en el río Maipo. En la Figura 4.16 se observa la geometría de la cuenca, que tiene un área de 109,4 km².

Como fue mencionado antes, esta se forma por la incisión del estero El Sauce, que fluye desde la Cordillera de la Costa, cortando rocas metamórficas y luego terrazas de abrasión marina.

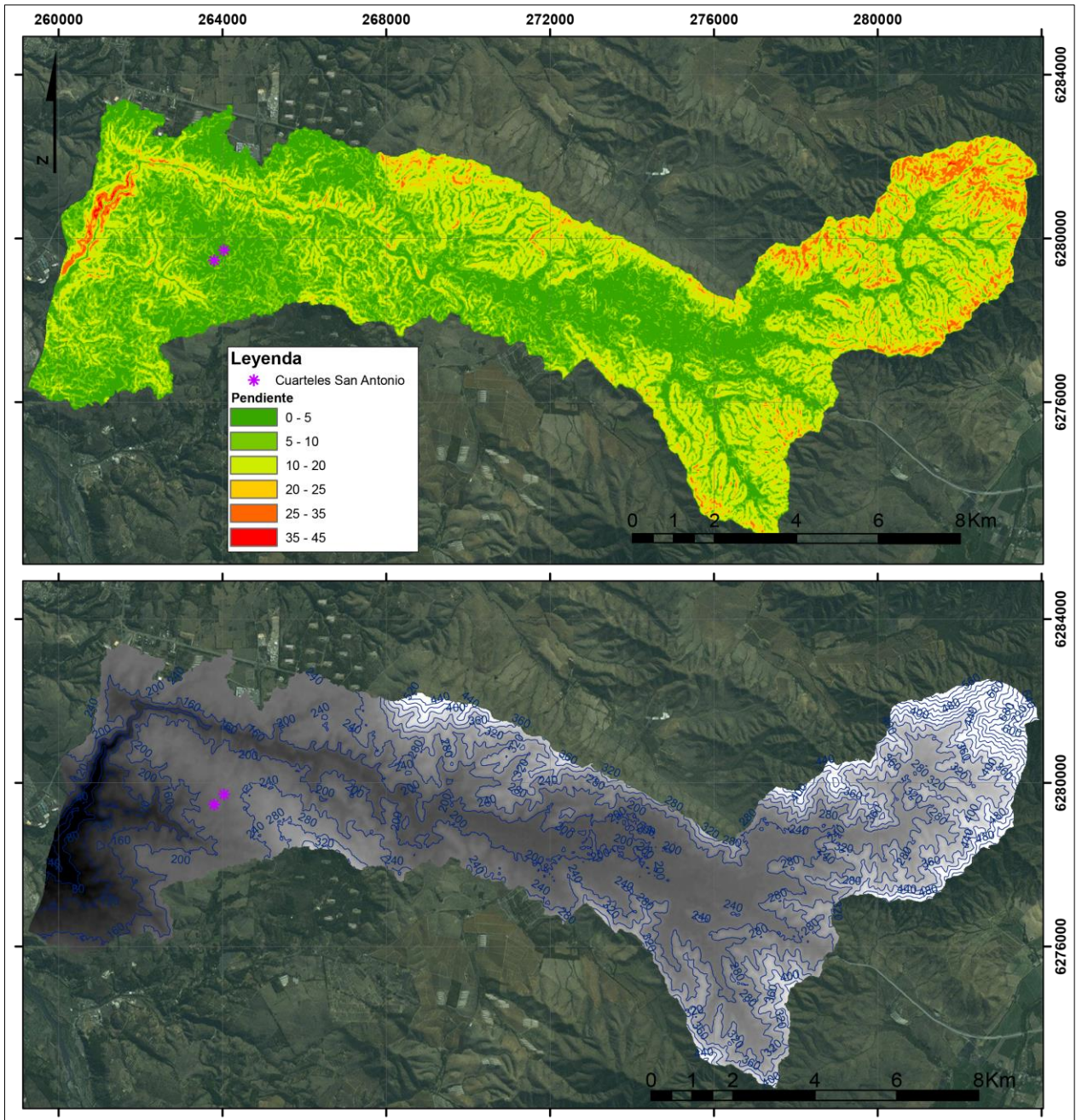


Figura 4.16: Mapa de pendientes y curvas de nivel de la cuenca Estero el Sauce.

En el mapa de pendientes (Figura 4.16) se puede observar que las pendientes máximas dentro de la cuenca alcanzan los 44° (colores rojos), ubicadas en el borde occidental de la cuenca y se forman por la erosión del estero El Sauce en las terrazas de abrasión marina. Las pendientes con ángulos alrededor de los 25° a 35° (colores amarillo y naranja) se disponen en el borde oriental de la cuenca y en las quebradas de la Cordillera de la Costa. La mayoría de las pendientes tienen ángulos entre 0 y 20° (colores verdes), y se sitúan en las terrazas de abrasión marina y los depósitos fluviales del estero principal.

4.2.1.4. Hidrografía

En San Antonio, al igual que en la viña de Casablanca, solo existen cursos fluviales esporádicos asociados a las épocas pluviales. La red de drenaje está conformada principalmente por el estero El Sauce (Figura 4.17), que tiene como tributarios quebradas de corto desarrollo con nacientes en la Cordillera de la Costa. Sobre las terrazas de abrasión, la quebrada más importante, corresponde a la quebrada del Tranque donde, como lo indica su nombre, se ubica un tranque. Mediante la observación de imágenes satelitales se pudo registrar un descenso importante del nivel del tranque en los últimos años. El régimen de escorrentía es esencialmente pluvial, durante los meses de mayo a noviembre. Durante el resto del año el estero El Sauce no se seca por completo, como es el caso de Casablanca, si no que mantiene agua estancada.

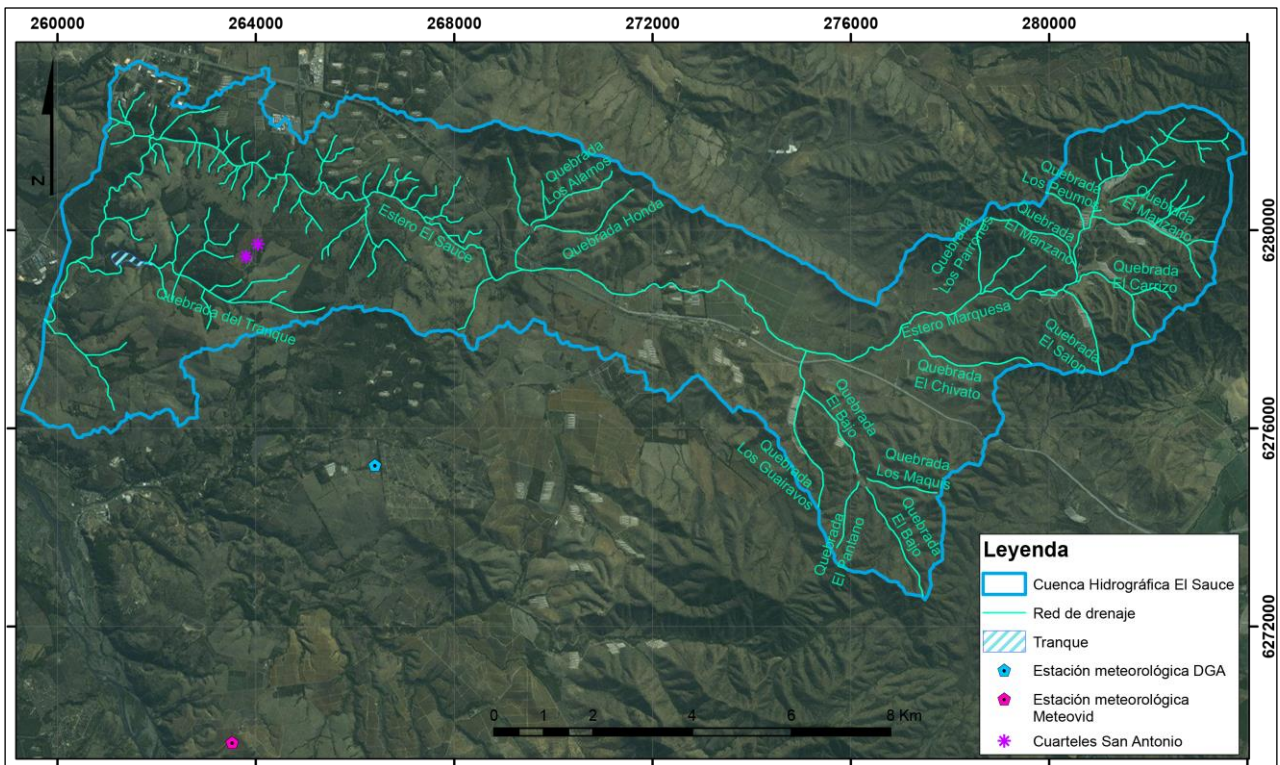


Figura 4.17: Distribución de la red de drenaje en la cuenca estero El Sauce.

4.2.2. CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA

4.2.2.1. Unidades hidrogeológicas

Se definieron tres unidades hidrogeológicas. La primera unidad corresponde a la Unidad de roca, con una extensión de 73,36 km² y bajo potencial hidrogeológico. Las otras dos

unidades con mayor potencial hidrogeológico son: Unidad Coluvial-fluvial, con 24,83 km², y la Unidad Navidad con 11,21 km².

Unidad de roca

Unidad conformada por rocas intrusivas levemente meteorizadas y rocas metamórficas con zonas de deformación milonítica y cataclástica.

Corresponden a las Dioritas Gnéisicas de Cartagena, Sienogranitos de biotita (Gana et al., 1996) y a la Unidad San Antonio, compuesta por ortogneis, tonalitas y un pórfido tonalítico (Contreras, 2017).

La unidad se caracteriza por una deformación cataclástica, que produce zonas de mayor permeabilidad de la roca y, por lo tanto, un aumento en su potencial hidrogeológico. Sin embargo, estas zonas son restringidas y, como se puede ver en los sondajes de pozos (próximo capítulo), forman estratos de espesor despreciable de entre 2 y 3 metros. En la Figura 4.18 se observan fotos de afloramientos de rocas intrusivas, con deformación milonítica y cataclástica.



Figura 4.18: Afloramientos de la Unidad de roca (A) Ortogneis de textura bandeada donde se observa la baja permeabilidad. (B) Afloramiento donde se observa foliación y mayor grado de permeabilidad.

Esta unidad está caracterizada por una baja permeabilidad, acotando al acuífero en su base. Como las rocas tienen zonas de fracturamiento, la permeabilidad se encuentra en

un rango de 0,01 a 1×10^{-5} m/día, según literatura (Krásny, 1997). Así, se clasifica como una unidad con bajo a regular potencial hidrogeológico.

Unidad Navidad

Es una secuencia sedimentaria marina-fosilífera, compuesta por areniscas de grano fino a muy grueso, bancos de conglomerados y coquinas, la que se correlaciona con la Formación Navidad (Gana et al., 1996).

En la zona de estudio se define como Msm, Secuencia sedimentaria Malvilla (Contreras, 2017), la cual se divide en dos subunidades principales: la primera corresponde a Msm(a), formada por conglomerados y areniscas y la segunda subunidad Msm(b) de coquinas (Figura 4.19).

La subunidad Msm(a) se define como areniscas y conglomerados, con gradaciones normales e inversas e imbricación de clastos en algunos niveles conglomerádicos, con clastos de 10 a 80 cm de rocas intrusivas y metamórficas, provenientes posiblemente del basamento jurásico-triásico de la zona (Contreras et al., 2015). La subunidad Msm(b), formada por coquinas, corresponde a una secuencia de intercalación de areniscas gruesas, conglomerados y coquinas.

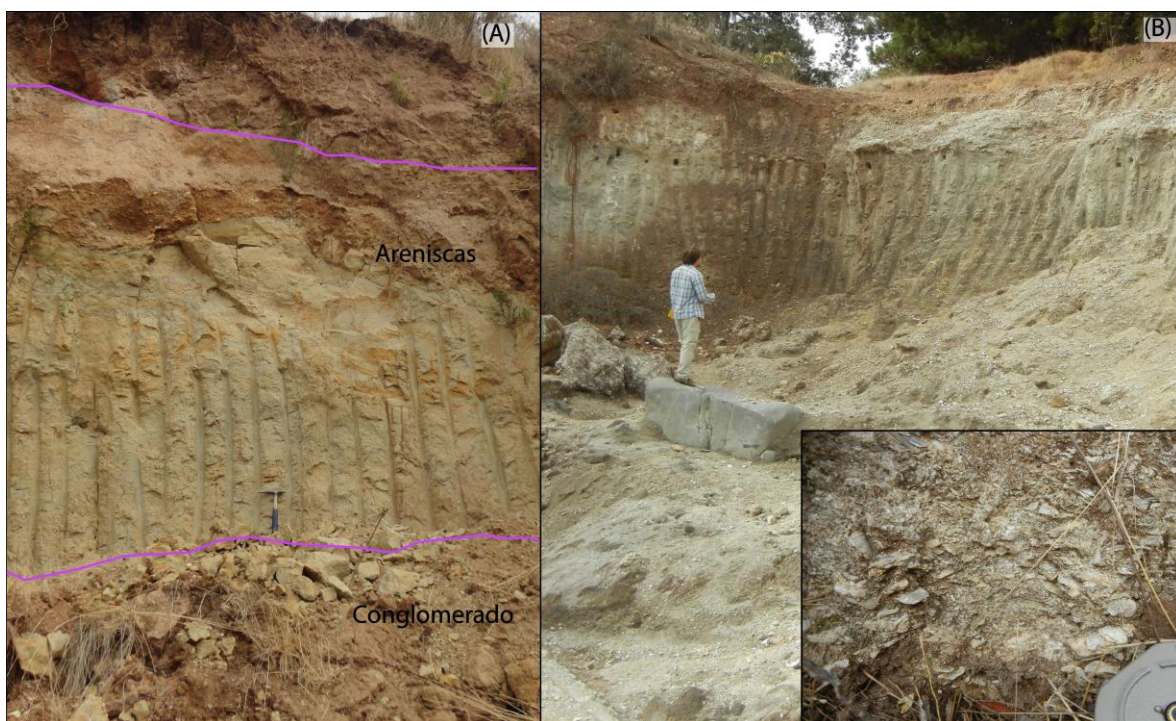


Figura 4.19: Afloramientos de la Unidad Navidad. (A) Corresponde a la secuencia de areniscas y conglomerados. (B) Afloramiento de las coquinas, se puede apreciar un espesor de aproximadamente 6m.

Ambas subunidades son de importancia hidrogeológica ya que poseen alta permeabilidad. Ésta unidad es la que aloja el acuífero que se ubica sobre las terrazas de abrasión. A partir de las observaciones en terreno, se puede estimar un espesor mínimo de aproximadamente 2 m para Msm(a) y de 6 m para Msm(b). En la Figura 4.19 se pueden ver afloramientos de ambas subunidades.

Tamizajes realizados por Lagos (2015) en calicatas sobre afloramientos de la Unidad Navidad, muestran que la fracción tamaño grava es la que domina con un 55%, seguida de la fracción arena fina-muy fina con un 20%.

De acuerdo a la clasificación de Custodio y Llamas (1983), la permeabilidad en base a la granulometría fluctúa entre 1 a mayor de 10^2 m/día.

Unidad Coluvial-fluvial

En esta unidad se agrupan los depósitos no consolidados que corresponden a depósitos aluviales, fluviales y coluviales.

Depósitos coluviales: Sedimentos no consolidados, ubicados en las cabeceras de las quebradas, que corresponden principalmente a depósitos gravitacionales de muy mala selección y clastos angulosos. Los depósitos coluviales son de importancia hidrogeológica, ya que presentan alta permeabilidad y son la zona de recarga del acuífero. Se estima permeabilidades entre 10^{-1} y 10^2 m/día de acuerdo a clasificación de Custodio y Llamas (1983).

Depósitos fluviales: De acuerdo a Lagos (2015), corresponden a depósitos del cauce actual y de los esteros, quebradas y cauces antiguos. Está constituido por gravas clasto-soportados con bolones redondeados y contienen arenas y limos en proporciones variables.

Depósitos aluviales: Corresponden a depósitos ubicados en las llanuras y ocupan la principal zona de la cuenca del estero El Sauce, sobre todo en la parte oriental.

Ambos depósitos (fluviales y aluviales) son los de mayor importancia, ya que corresponden a la zona donde se aloja el acuífero. De acuerdo a la información recopilada desde las descripciones de los sondeos de la DGA, son intercalaciones de estratos permeables (maicillo), estratos semi-permeables (arcillas y maicillo) y algunos estratos impermeables compuestos por arcillas. Se estiman permeabilidades entre 1 y 10^{-3} m/día.

En la Figura 4.20 se muestra la distribución de las unidades hidrogeológicas. A partir de la caracterización se pueden definir dos acuíferos. En el mapa de curvas de nivel y pendientes (Figura 4.16), se percibe que la Unidad Navidad se sitúa sobre las terrazas de abrasión, en cambio, la Unidad Coluvial-fluvial se ubicada en los bajos topográficos.

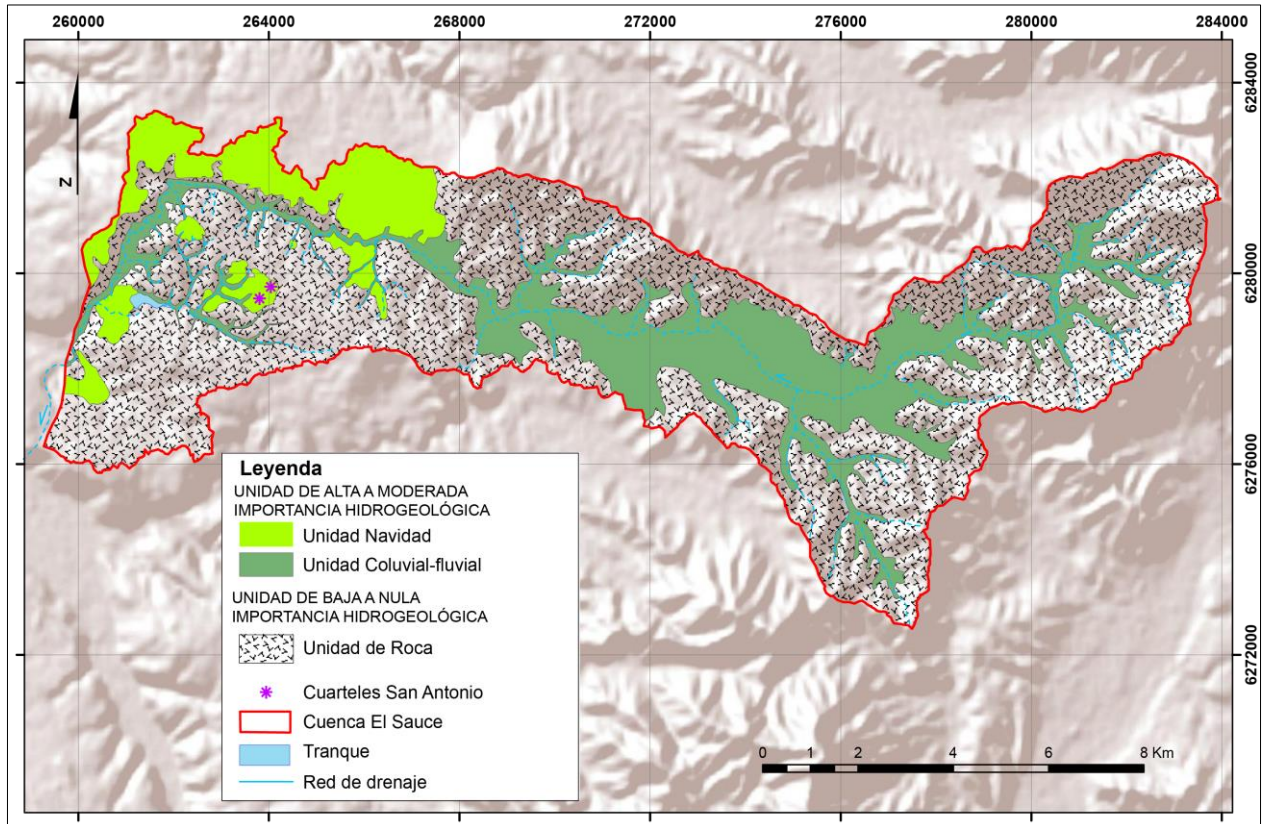


Figura 4.20: Caracterización de unidades geológicas de la Cuenca el Sauce.

4.2.2.2. Geometría y propiedades del acuífero

A partir de los expedientes de pozos de la DGA se recopilaron 13 descripciones estratigráficas de pozos dentro de la cuenca del estero El Sauce y en su cercanía. En la Figura 4.21 se observa los pozos que se encuentran registrados en la DGA junto a pozos con información sobre estratigrafía y los pozos/norias en los cuales se midieron niveles freáticos en la campaña Verano 2016. Se reconoce que la mayoría de los pozos se ubican en la Unidad Coluvial-fluvial y algunos pocos en la Unidad Navidad.

Se presentan las descripciones estratigráficas de cinco sondajes, los primeros (“1a” y “1b”) se ubican sobre la Unidad Navidad y corresponden a una intercalación de un espesor de aproximadamente 34 metros de estratos semi-permeables ricos en arcillas con estratos permeables ricos en maicillo. Bajo esta secuencia afloran rocas intrusivas

que corresponden a la base del acuífero. De acuerdo al mapeo de Gana (1996) y Contreras (2017) los pozos “2.a” y “2.b”, fueron instalados en la Unidad de roca, sin embargo en los sondajes se observa que en los primeros 25 m para “2.a” y los primeros 10 m en “2.b” hay una intercalación de estratos permeables y semi-permeables, que posiblemente tienen como origen la Formación Navidad, junto a la meteorización de rocas paleozoicas o mesozoicas. Más en profundidad se observa la Unidad de roca, que corresponde a roca dura con zonas de fracturamiento de espesor de 2 a 3 metros, con mayor permeabilidad.

Las columnas “3.a” y “3.b” corresponden a sondajes situados en la Unidad Coluvial-fluvial. El pozo “3.a” está ubicado sobre depósitos coluviales y corresponde a intercalaciones de estratos permeables (gravillas y limos) con un nivel superficial rico en arcillas. En profundidad aproximadamente a los 18 m al igual que en los otros pozos se encuentra el basamento. El pozo “3.b”, por otro lado se ubica sobre depósitos fluviales y tienen un espesor mínimo de 37 metros aproximadamente.

A partir de las descripciones se pueden distinguir dos acuíferos. El primero corresponde al acuífero que está alojado sobre las terrazas de abrasión marina en la Unidad Navidad y Unidad de roca, tiene una potencia de entre 6 y 34 m y se ubica a mayor cota. El segundo corresponde al acuífero que se aloja en la Unidad Coluvial-fluvial y que tiene una potencia que varía entre 18 m en los depósitos coluviales y 37 m en los depósitos fluviales al borde del estero el Sauce. Durante la época pluvial, el acuífero sobre las terrazas de abrasión marina descarga hacia el estero el sauce, recargando el acuífero que se ubica a menor cota. Esto se observó en terreno en afloramientos de la Unidad Navidad donde agua filtraba desde el acuífero y luego escurría por quebradas hacia el estero el Sauce.

Se desprende que las formaciones acuíferas serían lenticulares y semi-confinadas con un estrato superficial rico en arcillas. Ambos acuíferos no tendrían alto potencial hidrogeológico, debido a un espesor reducido de máximo de 37 metros y a una extensión limitada.

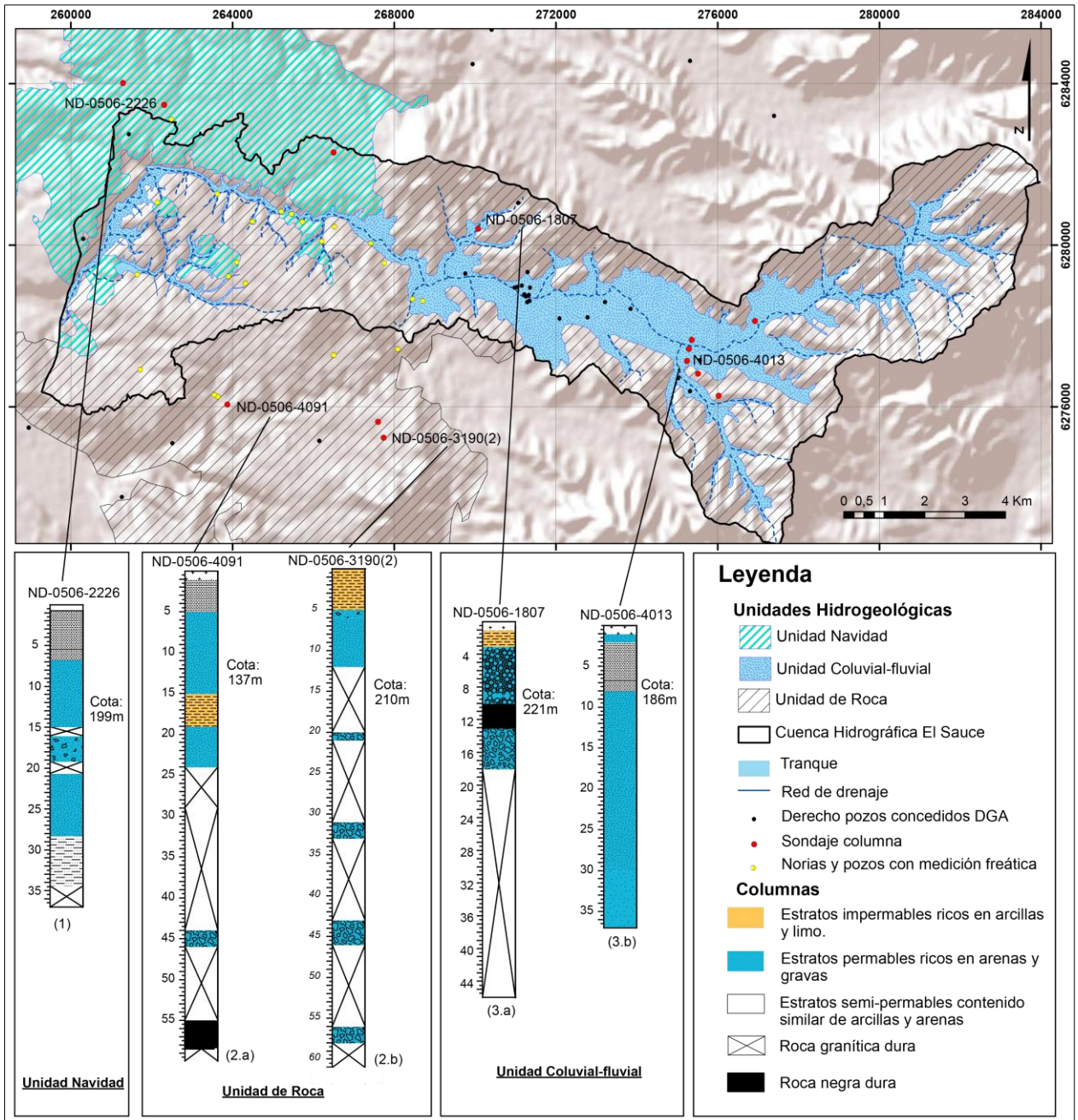


Figura 4.21: Mapa de pozos, columnas estratigráficas para la cuenca el Sauce. Las columnas (1) y (2) corresponden a la Unidad Navidad y las columnas (3) a la Unidad Coluvial-fluvial. En las columnas, mientras más grande sea la trama de la simbología mayor es el tamaño de los sedimentos.

4.2.2.3. Parámetros elásticos

No existen datos de pruebas de bombeo en los pozos de la DGA para este sector. En la bibliografía se encontraron datos de transmisividades de 5 m²/día (Valenzuela, 1994).

4.2.2.4. Piezometría y flujos subterráneos

Para determinar la piezometría y flujo subterráneo se realizaron mediciones de la cota freática en dos campañas. En la campaña de Invierno 2015 (septiembre) se tomaron un total 10 mediciones y durante la campaña de Verano 2016 (enero), se realizaron 25 mediciones. Cabe destacar que la medición de niveles freáticos se realizó solo en las cercanías de los cuarteles en estudio, es decir a la parte oeste de la cuenca El Sauce.

En la Tabla 4.4 se muestran los valores del nivel freático obtenido en cada campaña, los datos de las mediciones se encuentran en los **Anexo 2.2**.

Tabla 4.4: Valores del nivel freático durante las campañas de Invierno 2015 y Verano 2016.

Temporada		Invierno 2015	Verano 2016
Mediciones		10	25
Nivel freático (mbs)	Promedio	2,6	5,1
	Min	0,1	1
	Max	4,5	25,2

En la Figura 4.22 se observan las isopiezas obtenidas a partir de las mediciones de los niveles freáticos en Invierno 2015. Los valores máximos y mínimos de la cota freática en esta zona varían entre 174 y 110 ms.n.m., respectivamente. La profundidad a la que se encuentra la tabla de agua varía desde 4,5 y 0,1 mbs.

Las flechas de la Figura 4.22, indican la dirección del flujo subterráneo. A modo general se observa que las aguas fluyen desde la terraza de abrasión marina hacia las quebradas y finalmente a la quebrada principal producida por el estero El Sauce.

Para las mediciones de la campaña de Verano 2016, se tomaron una mayor cantidad de pozos. En la Figura 4.23, se observan las isopiezas realizadas a partir de las mediciones de la campaña de Verano 2016. Al igual que en invierno, el flujo tiene una dirección similar, las aguas fluyen desde los altos topográficos de las terrazas de abrasión marina hacia las quebradas, como se observa al oeste y en la parte central.

La cota freática durante el verano varía desde el valor máximo de 208 ms.n.m., a un valor mínimo de 76 ms.n.m. En términos de profundidad del nivel de agua bajo superficie, los valores van desde los 25,3 metros hasta un nivel somero de 1 m. El nivel de agua tiene un promedio de 5,1 metros de profundidad en el verano.

Hacia el verano se observa un aumento de la profundidad del nivel freático, pasando de un valor mínimo en invierno de 110 ms.n.m. a 76 ms.n.m. en verano. Esto es de esperarse debido a la extracción en verano y a que la recarga se produce solamente en invierno.

4.3. VIÑA SANTA CRUZ

La viña de Santa Cruz se ubica en la cuenca del río Tinguiririca, que nace en las faldas del volcán del mismo nombre y desemboca al llegar al embalse Rapel. La viña está emplazada en el valle vitivinícola de Colchagua.

4.3.1. CARACTERIZACIÓN HIDROLÓGICA

4.3.1.1. Clima

El clima de la cuenca es mediterráneo subhúmedo, con veranos calurosos, secos y prolongados e inviernos medianamente lluviosos, con precipitaciones concentradas entre mayo y agosto que, alcanzan los 600 mm anuales (Nahrword, 2013).

4.3.1.2. Datos climáticos

Al igual que en las otras viñas, se tomaron datos de dos estaciones. Para estudiar las precipitaciones de los últimos 26 años se recopilieron datos desde la estación Millahue de la DGA, y las precipitaciones y temperaturas del entorno del proyecto fueron recabadas de la estación Ventisquero Apalta de la red Meteovid para el periodo de desarrollo del proyecto.

En la distribución de las precipitaciones de los últimos 26 años (Figura 4.24), el promedio de precipitaciones es de aproximadamente 670 mm anuales. Los años de 1997, 2001 y 2002 son los de mayores precipitaciones, alcanzando los 1150 mm en el 2002. El año con menor precipitación corresponde al 1998 con una suma de 186 mm. En los últimos 8 años se observa un descenso de las precipitaciones, alcanzando un promedio de 467 mm.

En la Figura 4.25, se observa el climograma correspondiente a los años del proyecto. En cuanto a las precipitaciones, se observa que las mayores precipitaciones están concentradas en los meses de mayo a septiembre, sin embargo a diferencia de las dos viñas ya estudiadas en los apartados anteriores (Casablanca y San Antonio), en esta viña se registran precipitaciones durante casi todo el año.

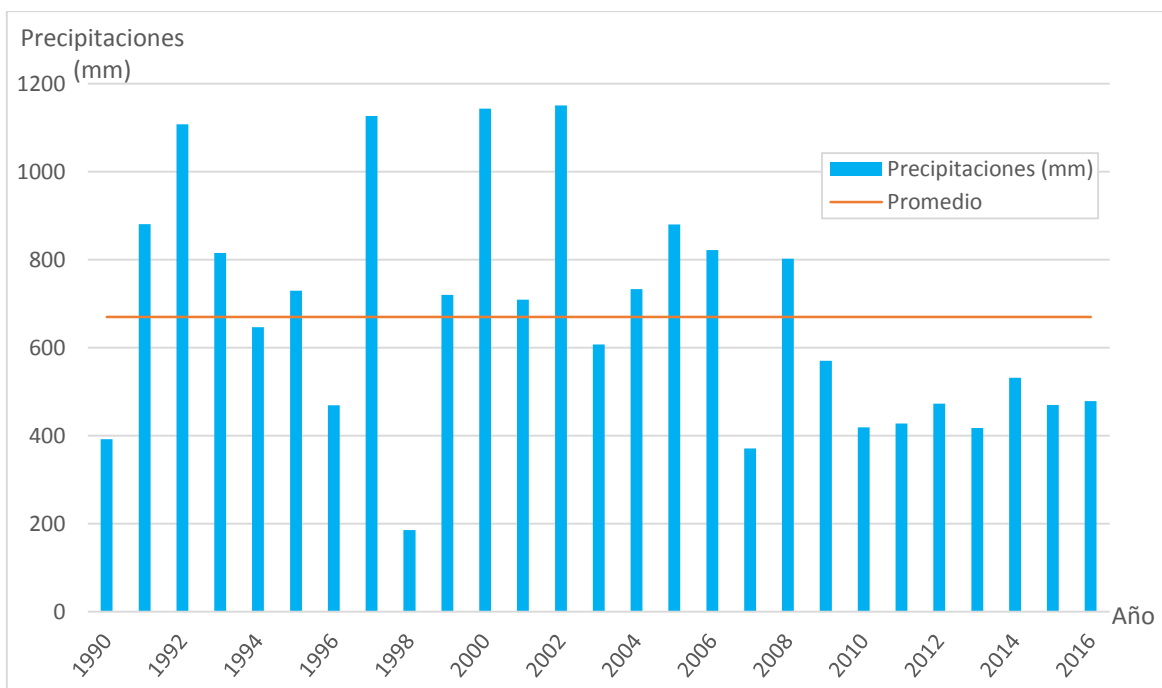


Figura 4.24: Precipitaciones anuales, Estación Millahue de la DGA.

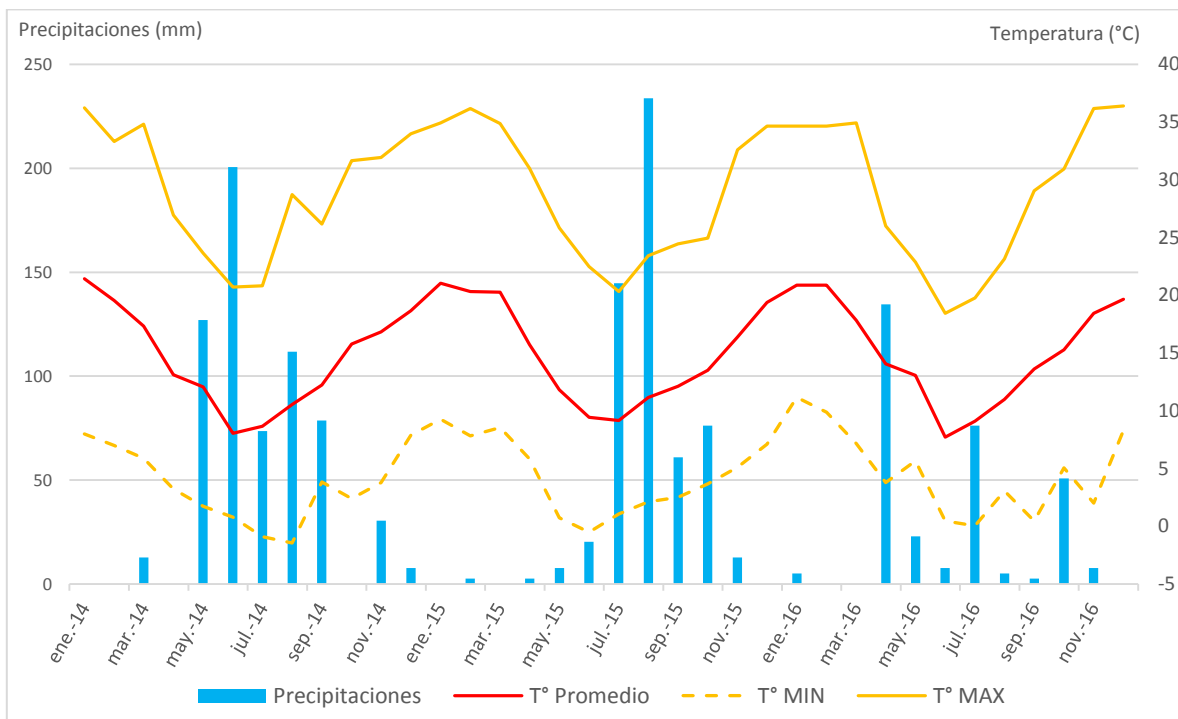


Figura 4.25: Climograma de la estación Ventisquero de Apalta, durante el periodo de estudio.

La temperatura promedio oscila entre 7,7°C en invierno y 21°C en verano. En verano se registran temperaturas máximas de 36,4°C en diciembre del 2016 y la mínima de -1,4°C en julio del 2014. A diferencia de las otras viñas, la oscilación de temperatura entre verano

e invierno es mayor, con una diferencia entre el valor del promedio, máximo y mínimo, entre estaciones de alrededor de 10°C, lo cual también se puede apreciar en la Figura 4.25.

4.3.1.3. Cuenca hidrográfica

La cuenca hidrográfica respectiva se definió mediante análisis de imágenes DEM. La cuenca tiene un área de 54 km². Limita al sur con el río Tinguiririca y al norte con el cordón de Tagua-Tagua (Figura 4.26 y Figura 4.27).

En el mapa de pendientes (Figura 4.26), se observa que las pendientes más fuertes se encuentran en los altos topográficos producto de la erosión de los intrusivos, alcanzando inclinaciones de hasta 58° (colores rojos). La mayoría de las pendientes se encuentran entre los 0° y 20° (colores verdes), que corresponden a depósitos aluviales y fluviales, situados en el valle, y los depósitos coluviales con pendientes mayores de aproximadamente 20° (colores naranjos).

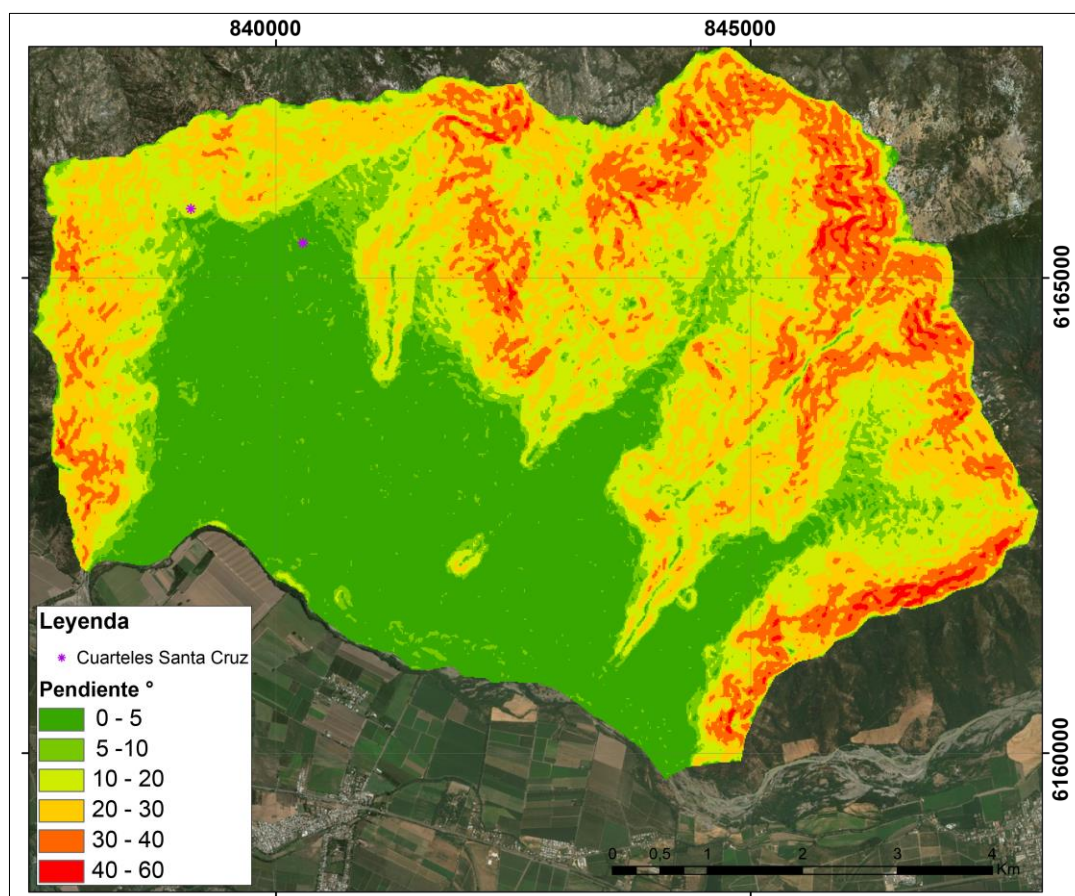


Figura 4.26: Mapa de pendientes de la cuenca Apalta.

En el mapa de curvas de nivel (Figura 4.27) se observa que las mayores alturas se presentan en los cerros circudantes que alcanzan los 1050 ms.n.m. En cambio las menores alturas se ubican en los bordes del río Tinguirrica y tienen valores de menores a 250 ms.n.m.

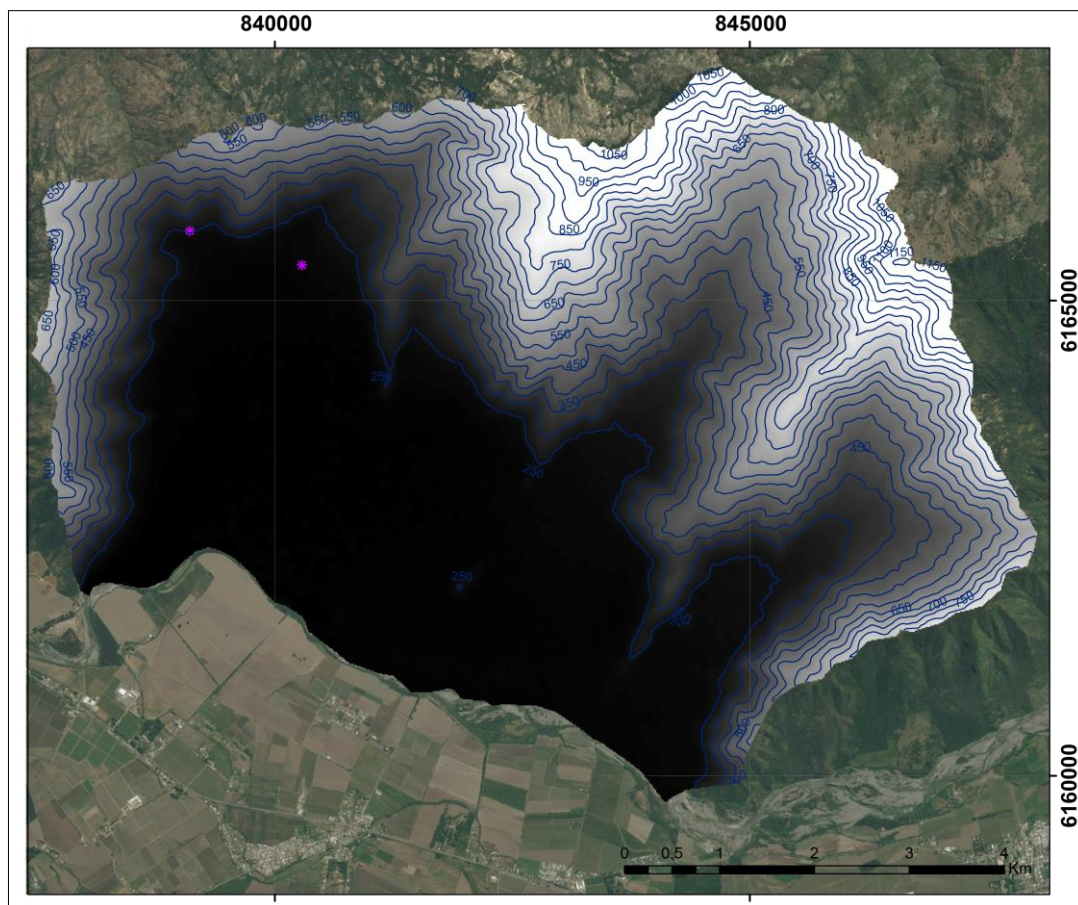


Figura 4.27: Mapa de curvas de nivel de la cuenca Apalta.

4.3.1.4. Hidrografía

En la cuenca de Apalta no existen cursos de agua perennes. La red de drenaje se caracteriza por quebradas de corto alcance que drenan durante la época pluvial las aguas desde las alturas del cordón Tagua-Tagua hacia el río Tinguirrica (Figura 4.28).

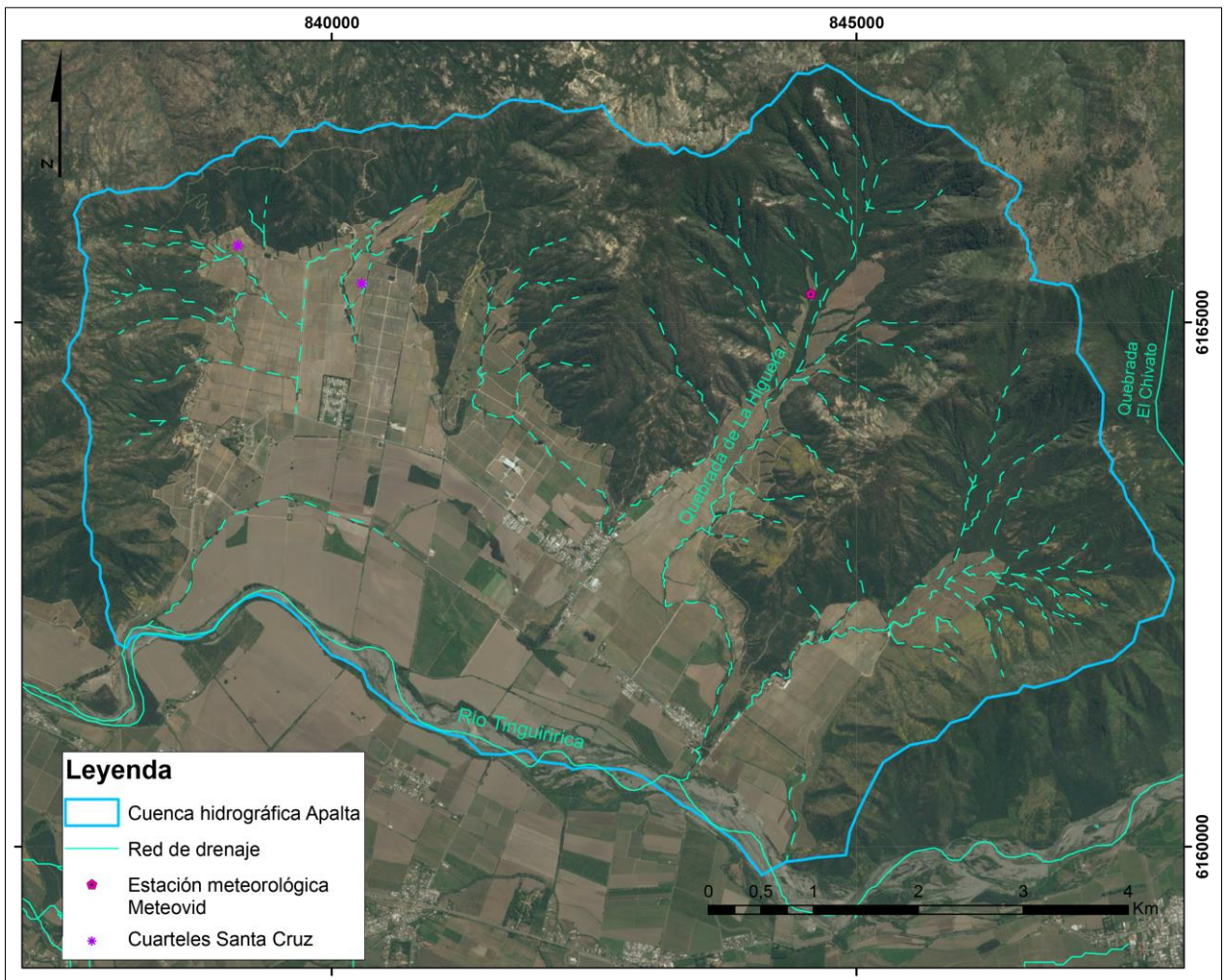


Figura 4.28: Distribución de la red de drenaje de la cuenca de Apalta.

4.3.2. CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA

4.3.2.1. Unidades hidrogeológicas

Se definieron 4 unidades hidrogeológicas en la cuenca de Apalta. La Unidad de Roca con una extensión de 31,93 km², la Unidad Fluvial con un área de 10,1 km², la Unidad Aluvial con un área de 9,71 km² y finalmente la Unidad coluvial con una extensión de 2,61 km².

Unidad de Roca

La Unidad de Roca corresponde a rocas intrusivas y lavas. Agrupa la Unidad Apalta (Cretácico Inferior a Superior) y Andesitas Cerro Peñón descritas por Contreras (2017).

La Unidad Apalta está conformada por rocas intrusivas, principalmente Granodioritas de hornblenda y Tonalitas de biotita y hornblenda de grano grueso.

A diferencia, las Andesitas Cerro Peñón, corresponden a rocas volcánicas particularmente andesitas de biotita y de hornblenda

Según Hauser (1990), la Unidad de Roca corresponde a Intrusivos graníticos, Granodioritas, Tonalitas y la Formación Lo Valle y las califica de un bajo potencial hidrogeológico con escasos acuíferos relacionados a fracturas superficiales.

En la zona de estudio, no se observó alteración ni fracturamientos intensos en las rocas por lo tanto se clasifica con una permeabilidad baja. (Figura 4.29),



Figura 4.29: Afloramiento de granodioritas de la Unidad Apalta. En la foto se aprecia la escasa permeabilidad de la Unidad de roca.

De acuerdo a clasificación de Krásny (1997), la permeabilidad de esta unidad varía entre 0,01 m/día si la roca esta fracturada a 1×10^{-5} m/día en el macizo de roca no alterado y/o fracturado.

Unidad Fluvial

Agrupar a los depósitos fluviales antiguos y actuales del río Tinguiririca, que corresponden a sedimentos no consolidados que se encuentran aledaños al curso del río, caracterizados por presentar clastos inmersos en una matriz fina.

A partir de la observación de sondajes se identifica que la unidad se constituye de material fino como arcillas y arena, intercalados con gravas y bolones. Este cambio de granulometría está probablemente asociado a cambios en la intensidad del caudal del río Tinguiririca. La intercalación se puede explicar también por el contacto lateral con los depósitos aluviales como se puede ver en la Figura 4.30.

Tamizajes en los depósitos fluviales indican mayor porcentaje de arena media con 40%, seguido de 22% de arena fina, 14 % de gravas, 14% de arcillas y, finalmente, 9% de arena gruesa (Contreras, 2017).



Figura 4.30: Contacto inferido entre la Unidad Aluvial y Unidad Fluvial.

Esta unidad presenta buena permeabilidad, alojando el acuífero. La permeabilidad de acuerdo a clasificación Custodio y Llamas (1983) fluctúa entre de 10^4 a 1 m/día.

Unidad Aluvial

Corresponde a depósitos ubicados entre el cordón de Tagua Tagua y los depósitos fluviales del río Tinguiririca (Figura 4.30). De acuerdo a la información recopilada desde las descripciones de los sondajes de la DGA, corresponde a intercalaciones de estratos permeables, con alto porcentaje de arenas medias y gruesas, con estratos impermeables, ricos en arcillas. En la Figura 4.31 se observa el perfil de suelo, en una calicata sobre el depósito aluvial, la cual tiene alto porcentaje de partículas tamaño arena gruesa (35-40%), grava (15-30%) y menor porcentaje de arena media, arena fina a muy fina, y limo y arcilla.

De acuerdo a la clasificación de Custodio y Llamas (1983), la permeabilidad del depósito variaría entre 1 y 10^{-4} m/día. Esta unidad tiene buen potencial hidrogeológico, debido a su extensión y espesor de hasta 175 m, sin embargo, los valores de permeabilidad no son tan altos.



Figura 4.31: Calicata sobre Unidad Aluvial. Se observa la granulometría del depósito la cual es rica en partículas tamaño arena gruesa, media y gravas.

Unidad Coluvial

Esta Unidad se encuentra en las cabeceras de las quebradas que nacen del cordón de Tagua- Tagua, hacia el sur (Figura 4.32).

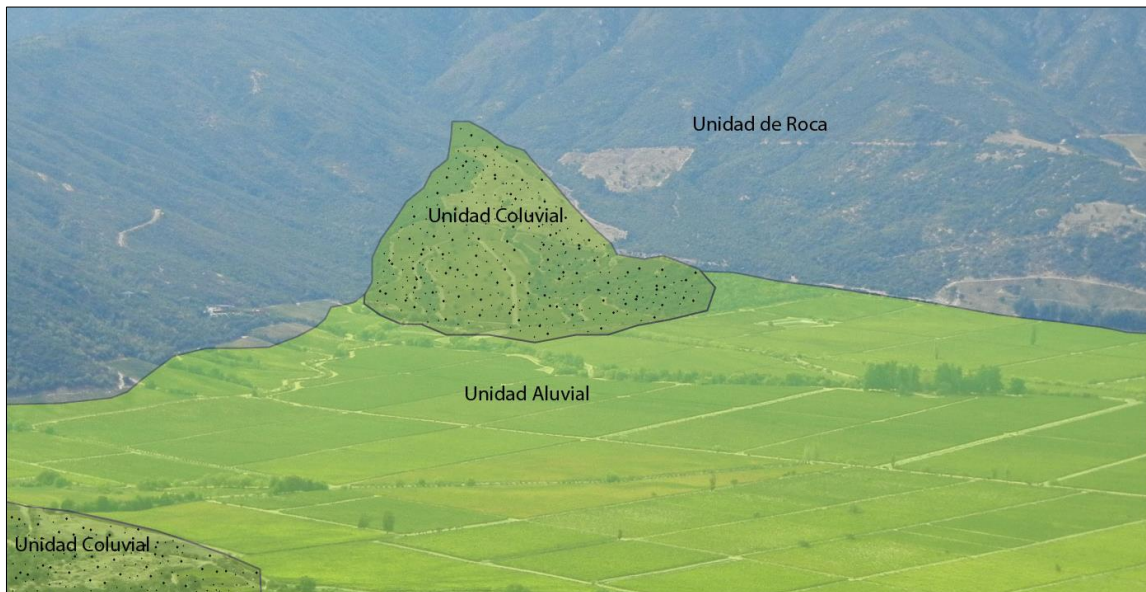


Figura 4.32: Vista al NE, se observa el limite inferido entre la Unidad de Roca, impermeable con la Unidad Aluvial y la Unidad Coluvial.

Se trata de depósitos gravitacionales no consolidados a semi-consolidados que presentan clastos de tamaño que varían de 10 cm a 10 m inmersos en una matriz de tamaño arena, limo y arcilla (Figura 4.33).



Figura 4.33: Foto de afloramiento Unidad Coluvial, donde se observa un clasto de Aproximadamente 15 cm inmerso en una matriz más fina.

De acuerdo a Custodio y Llamas (1983), la permeabilidad de estos depósitos varía de 0 a 10^2 m/día. Esta Unidad es de importancia hidrogeológica, ya que presenta alta permeabilidad y es la zona de recarga del acuífero, aunque no tiene mayor potencial para almacenar agua debido a su pequeña extensión.

En la Figura 4.34, se muestra la distribución de las unidades hidrogeológicas en la cuenca de Apalta. Se observa que asociada a la red de drenaje secundaria se distribuye la Unidad Aluvial y la Unidad Coluvial. Se percibe que la Unidad Fluvial es la que abarca la mayor parte de la cuenca seguida de la Unidad Aluvial y finalmente la Unidad Coluvial, la cual se encuentra restringida a la desarrollo de las quebradas.

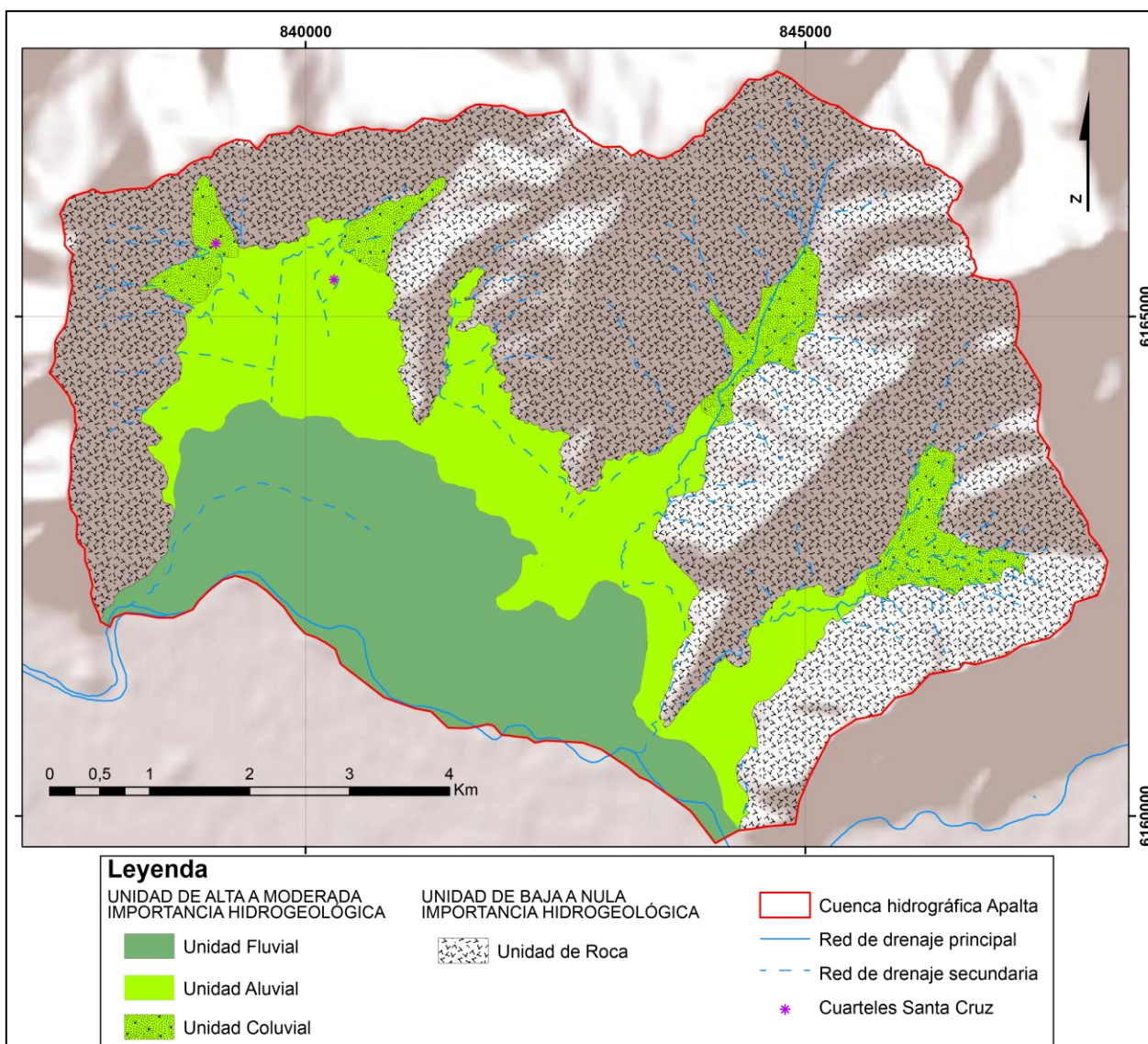


Figura 4.34: Caracterización hidrogeológica de la cuenca Apalta.

4.3.2.2. Geometría y propiedades del acuífero

A partir de los expedientes recopilados, se consiguieron 9 descripciones estratigráficas de los pozos en la cuenca. Cinco pozos se ubican en la Unidad Aluvial y cuatro en la Unidad Fluvial. En la Figura 4.35, se observa la distribución de los pozos registrados en la DGA (color negro) y los pozos en los cuales se realizaron mediciones del nivel freático en Verano 2016 (color amarillo). Se observa que la mayoría de los pozos de la cuenca, están asociados a las Unidad Fluvial, Unidad Aluvial y Unidad Coluvial.

Desde la descripción de las columnas se observa que la Unidad Fluvial corresponde principalmente a un relleno compuesto por depósitos de bolones, arenas limos y arcillas (sondajes 3.a y 3.b).

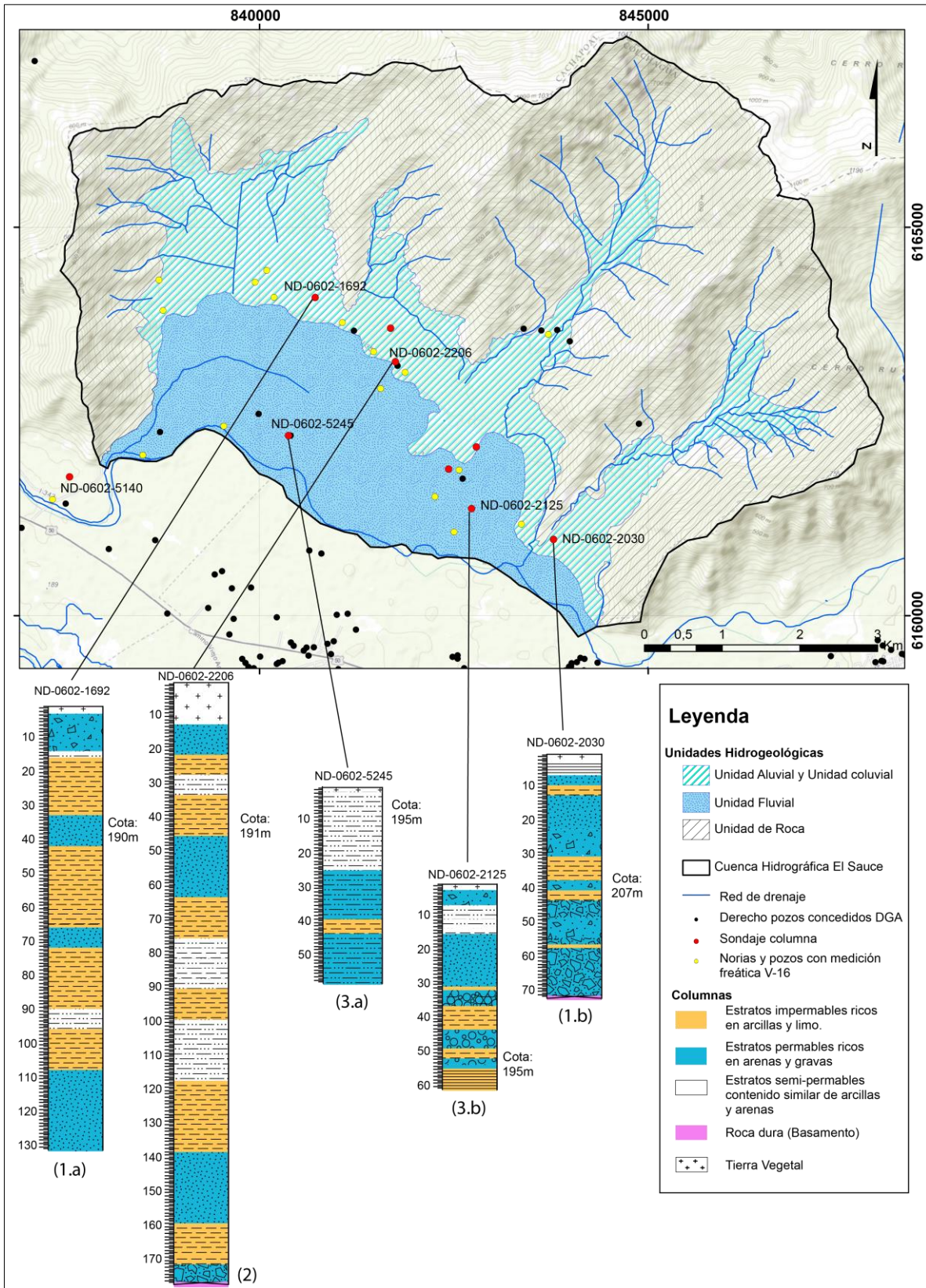


Figura 4.35: Mapa de distribución de pozos, columnas estratigráficas en la cuenca de Santa Cruz. La Columna (1) está ubicada en la Unidad Aluvial, mientras que las columnas (3) en la Unidad Fluvial y finalmente las columnas (2) en el límite de ambas unidades. En las columnas, mientras más grande sea la trama de la simbología mayor es el tamaño de los sedimentos.

Los sondajes que se encuentran ubicados en la Unidad Aluvial, muestran principalmente niveles ricos en finos (arcillas y limos), intercalados por niveles con predominancia de arenas y gravas. Cabe destacar que en los sondajes 2 y 1.b, los pozos alcanzan el basamento a una profundidad de 70 metros y 180 m respectivamente. Estos sondajes permiten identificar el espesor del acuífero.

A partir de los sondajes se desprende que la Unidad Fluvial tendría mayor permeabilidad debido a que está compuesta en su mayoría por secuencias pobres en arcillas. Cabe señalar que la ausencia de extensiones grandes de niveles impermeables descarta la presencia de un acuífero confinado a mayor profundidad, por lo tanto se clasifica el sistema de agua subterránea como un acuífero libre.

El acuífero de Apalta se encontraría restringido a la cuenca con material semi-consolidado, que corresponde a la Unidad Fluvial y la Unidad Aluvial principalmente con un área de 19,8 Km². En profundidad el acuífero se limita con el basamento que corresponde a la Unidad de Roca, con un espesor mínimo de 180 m, como se observa en la columna estratigráfica de uno del pozo 2.

4.3.2.3. Parámetros elásticos

A partir de un estudio realizado por la DGA en 2005, “Evaluación de los recursos hídricos subterráneos de la VI Región”, se obtuvieron datos de conductividad hidráulica de 3 pozos: Los pozos E154, E163, ambos ubicados en la Unidad Fluvial y el pozo E158 ubicado en la Unidad Aluvial. Para el pozo E154 y E163 se determinaron valores de 6,33 y 3,79 m/d respectivamente y para E158 una permeabilidad de 0,55 m/día. Los valores son esperables considerando que la Unidad Aluvial cuenta con un mayor contenido de finos, resultando en una menor permeabilidad.

4.3.2.4. Piezometría y flujos subterráneos

Para determinar la dirección del flujo subterráneo, al igual que en las otras viñas, se tomaron datos en dos temporadas. Durante Invierno 2015 se recolectaron 11 mediciones y durante verano 2016 se tomaron 16 mediciones.

En la Tabla 4.5 se resumen los valores máximos, mínimos y promedio del nivel freático en cada campaña, las mediciones de todos los pozos se encuentran en **Anexo 2.3**.

Tabla 4.5: Valores del nivel freático durante las campañas de Invierno 2015 y verano 2016 de la viña Santa Cruz.

Temporada		Invierno 2015	Verano 2016
Mediciones		11	16
Nivel freático (mbs)	Promedio	2,2	8,8
	Min	0,25	1,2
	Max	7	50

En la Figura 4.36 se muestra la ubicación y el valor de la cota freática de los pozos donde se realizaron las mediciones. En azul se muestran las isopiezas construidas a partir de las mediciones del nivel freático de la campaña de I15.

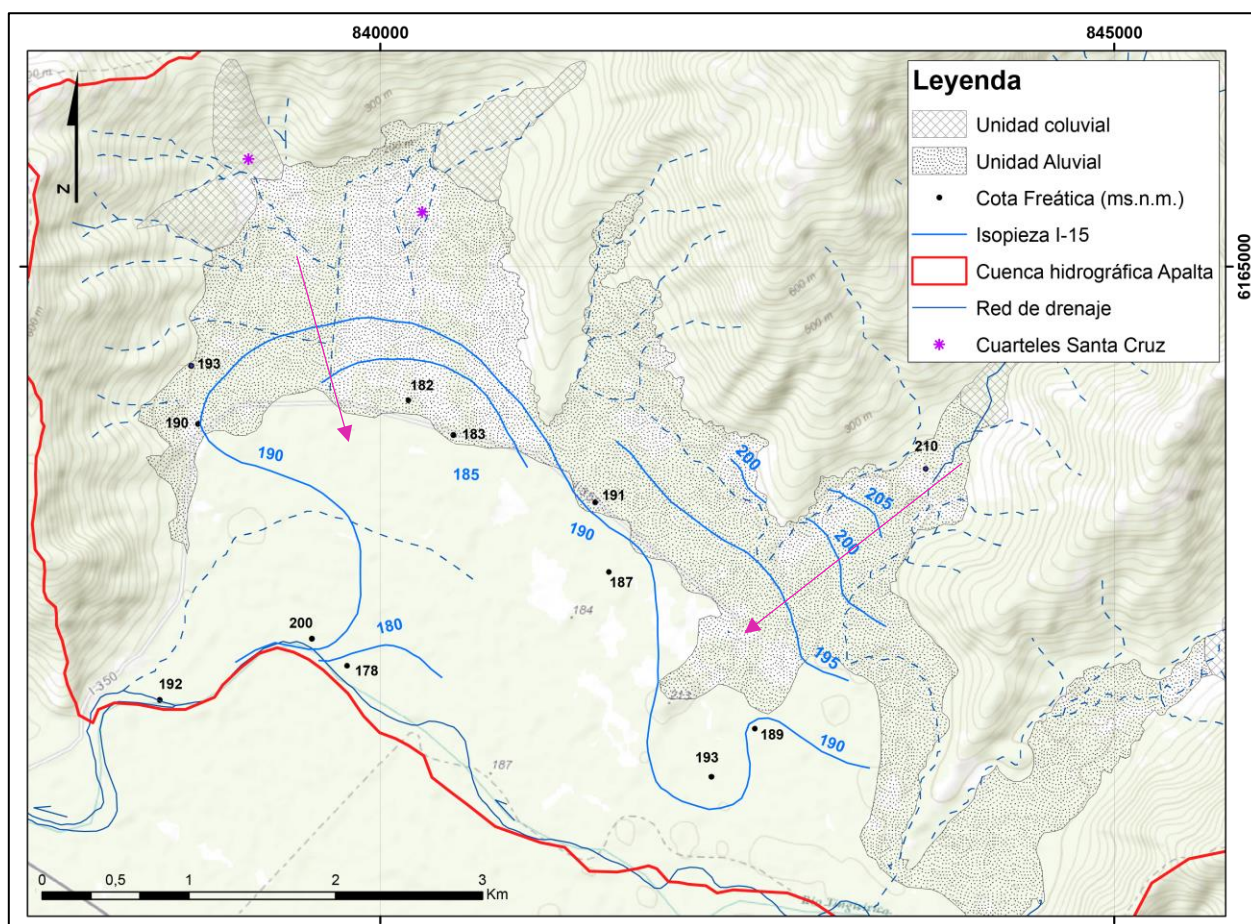


Figura 4.36: Mapa de isopiezas de la cota freática en Invierno 2015, las flechas rosadas indican la dirección y sentido del flujo subterráneo.

El valor más alto de la cota freática es de 210 ms.n.m. y el mínimo es de 178 ms.n.m. Las flechas de color rosado indican la dirección y sentido del flujo subterráneo, el cual

fluye desde los bordes de la cuenca, es decir, desde las partes más altas hacia el río Tinguiririca. Se puede observar que en la Unidad Fluvial las isopiezas se encuentran más separadas, lo que indica una velocidad del agua subterránea menor, que probablemente se deba a que esta zona está influenciada por el nivel del río Tinguiririca. En cambio en la Unidad Aluvial, la velocidad es mayor debido a la misma acción de la topografía.

En la campaña de V16, se midió una mayor cantidad de pozos como se puede ver en la Figura 4.37. A partir de la construcción de las isopiezas se observa que, en general, la dirección del flujo subterráneo es similar, aunque los valores de la cota freáticas son menores debido al cambio estacional, donde se pasa de un mínimo de 178 ms.n.m. en invierno a 136 ms.n.m. en verano. Otra diferencia importante que se observa, son pozos con isopiezas concéntricas, como son los casos de los pozos encerrados por un círculo rosado, donde se produce un descenso del nivel freático entorno a los puntos de extracción, lo que modifica puntualmente el flujo subterráneo.

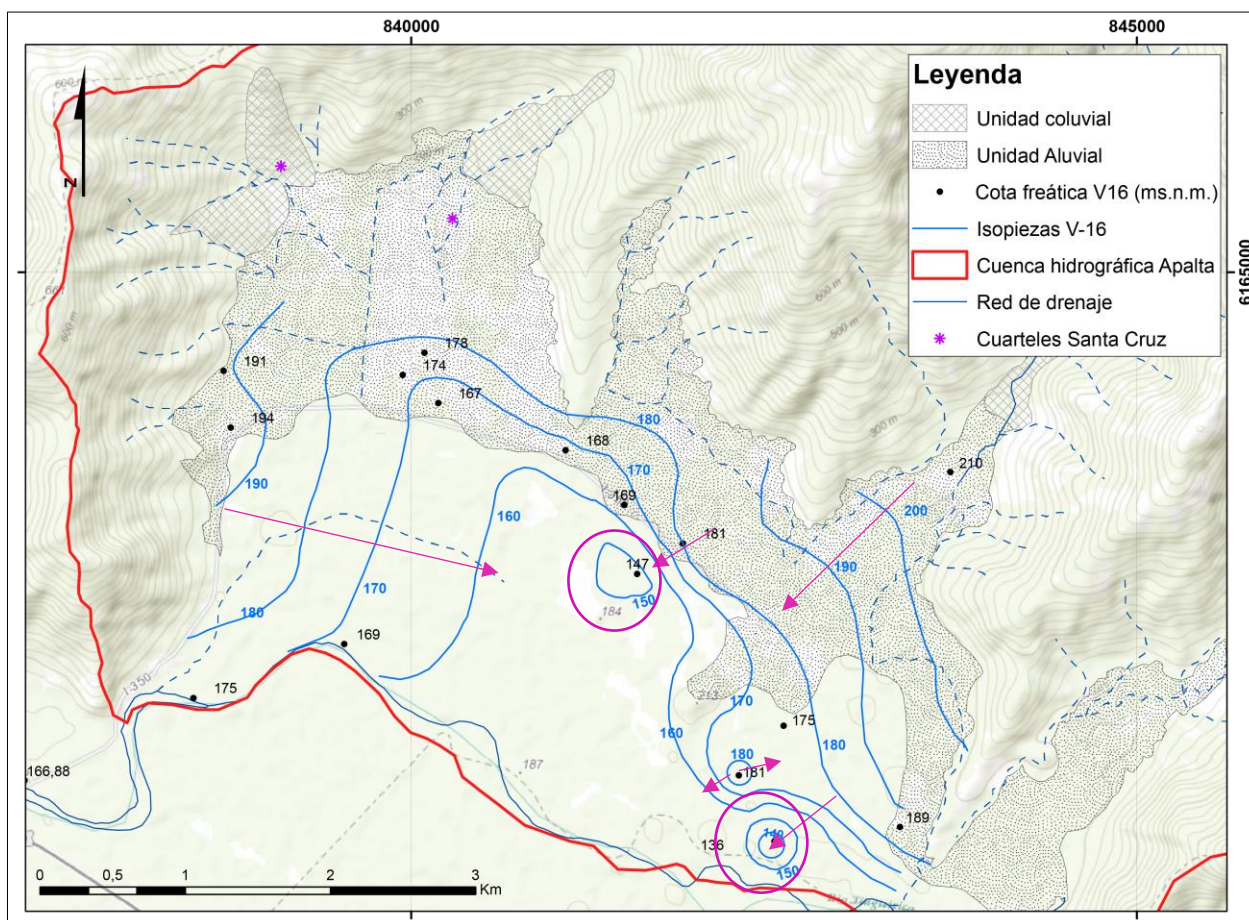


Figura 4.37: Mapa de isopiezas de la cota freática en Verano 2016, las flechas rosadas indican la dirección y sentido del flujo subterráneo.

4.4. VIÑA SAN JAVIER

4.4.1. CARACTERIZACIÓN HIDROLÓGICA

4.4.1.1. Clima

El clima local en el sector de la viña es de tipo mediterráneo sub-húmedo. Destaca la existencia de un verano seco y un invierno húmedo, lluvioso y frío (Nahrwold,2014).

4.4.1.2. Datos climáticos

Los datos fueron recopilados de dos estaciones: Para el estudio de las precipitaciones en los últimos 26 años, se estudiaron datos de la estación Melozal de la DGA y para el análisis de precipitaciones y temperatura en la cuenca se recopilaron datos de la estación J. Bouchon de la red Meteovid.

En los últimos 26 años, las precipitaciones tienen un valor promedio de 681 mm. Los años más lluviosos corresponden a 1992 con 1138 mm, 1997 con 991 mm y, finalmente, 2002 con una suma de 1089 mm. Los años más secos son 1998 con una suma de tan sólo 296 mm, seguido del 2016 con 376 mm. Se observa una disminución de las precipitaciones en los últimos 8 años, en los cuales no ocurren fenómenos de alta precipitación como en los años anteriores (Figura 4.38). Sin embargo, la reducción de las precipitaciones no es tan marcada como en el resto de las viñas.

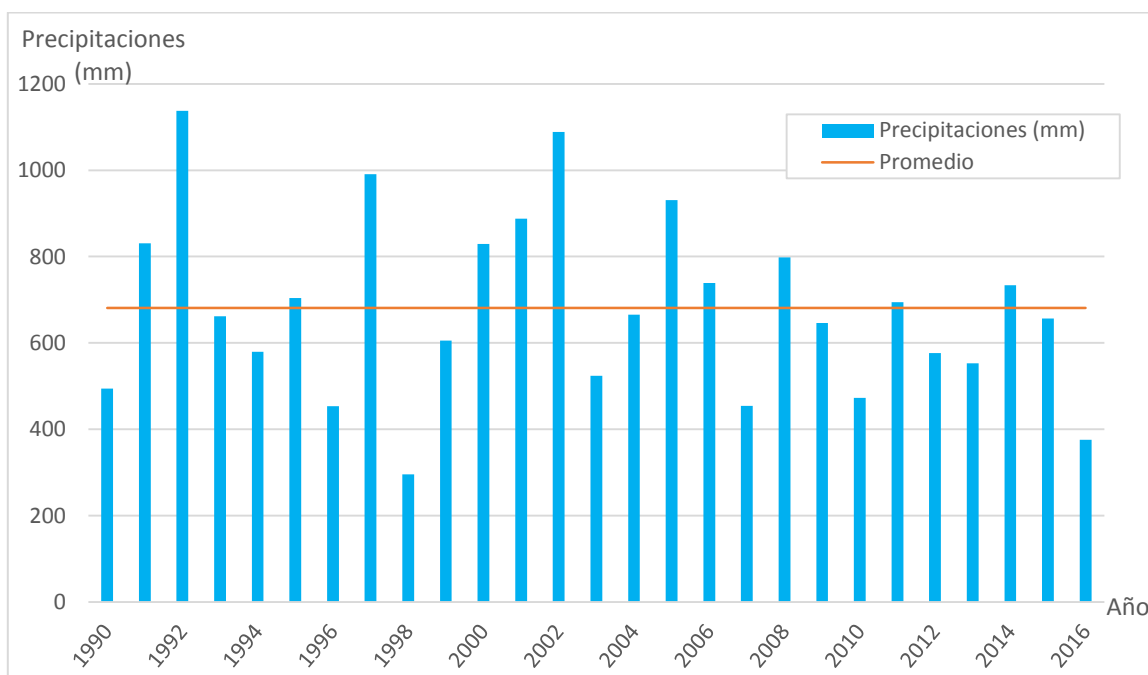


Figura 4.38: Gráfico de precipitaciones en los últimos 26 años, estación Melozal DGA.

En la Figura 4.39 se observa el climograma de la estación J.Bouchon durante los años de duración del proyecto. Se puede observar que las precipitaciones se concentran en los meses de invierno, aunque las lluvias no están restringidas solo a los meses invernales, alcanzando alrededor de los 600 mm anuales. Las temperaturas máximas se registran en los meses estivales de octubre a marzo con temperaturas promedio de 16°C, con mínimas de 0°C y máximas de hasta 37°C. En los meses invernales la temperatura promedio se encuentra entorno a los 10°C con máximas de 25°C y mínimas hasta -5°C.

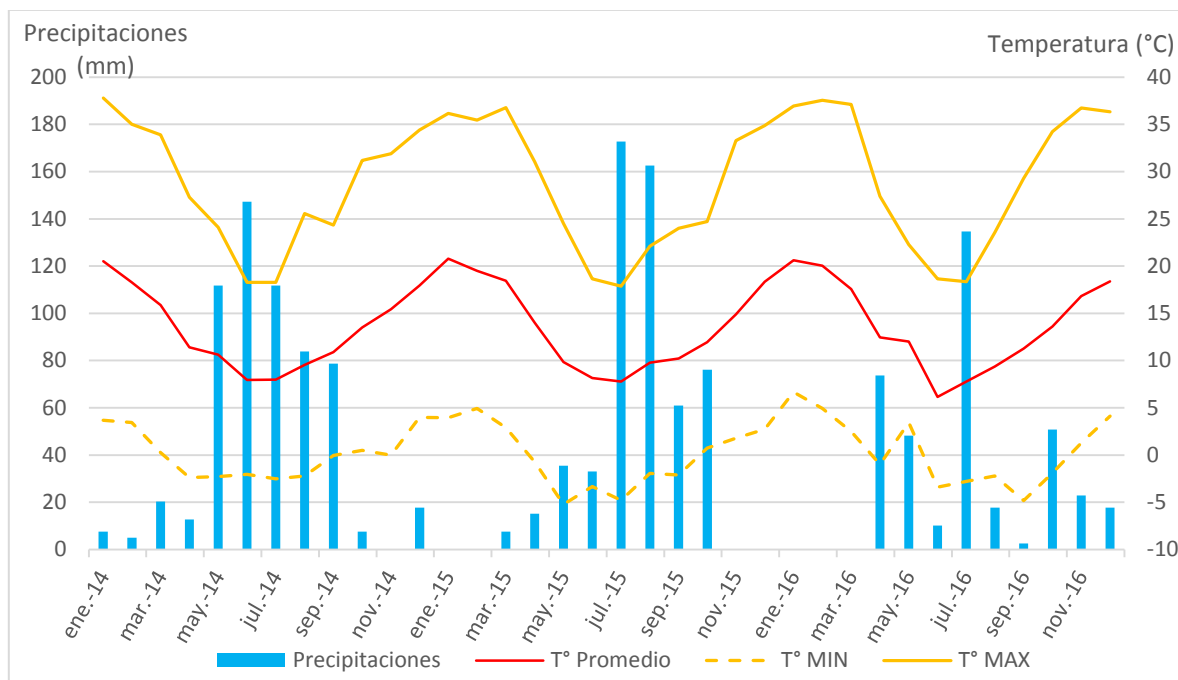


Figura 4.39: Climograma de la estación meteorológica, J.Bouchon

4.4.1.3. Cuenca hidrográfica

La cuenca del sector Melozal tiene un área de 135 km² (Figura 4.40) y corresponde a una llanura de inundación. Al oeste, su límite lo conforma la Cordillera de la Costa y al este el río Loncomilla.

A diferencia del resto de las viñas, la variación de pendientes es menor. La mayoría de las pendientes son bajas con valores entre 0°-10°, las que están ubicadas en los depósitos piroclásticos y fluviales del valle (colores verdes). Las pendientes más pronunciadas se encuentran en los altos topográficos, con valores de hasta 800 ms.n.m., alcanzando ángulos de hasta 45°, los que se forman en las rocas más competentes que son los intrusivos y Volcanitas Melozal.

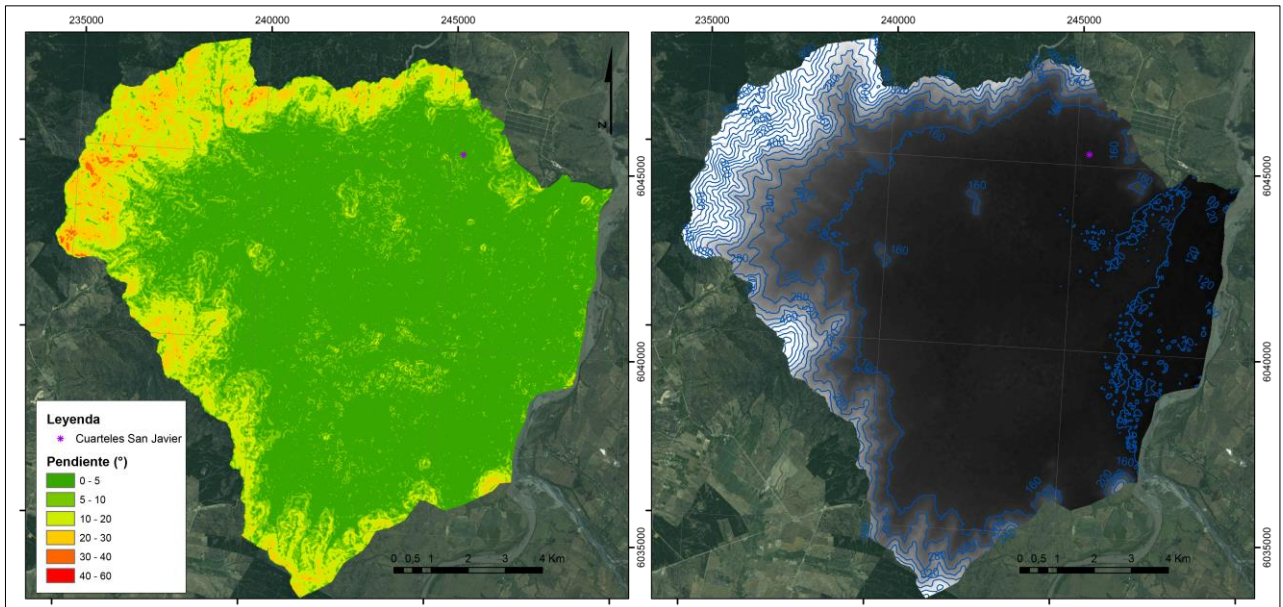


Figura 4.40: Mapa de pendientes y curvas de nivel de la Cuenca sector Melozal.

4.4.1.4. Hidrografía

El drenaje principal de la cuenca corresponde al río Loncomilla, límite oriental de la cuenca. Existen cuatro esteros principales que son afluentes del río, estos son el estero Grande, estero Paso de Queso, estero Las Toscas y el estero La Aguada (Figura 4.41). Debido a las altas precipitaciones y bajas pendientes, la cuenca se caracteriza por una densa red de drenaje, con esteros y canales perennes de morfología sinuosa, que fluyen hacia el noreste para desembocar en el río Loncomilla.

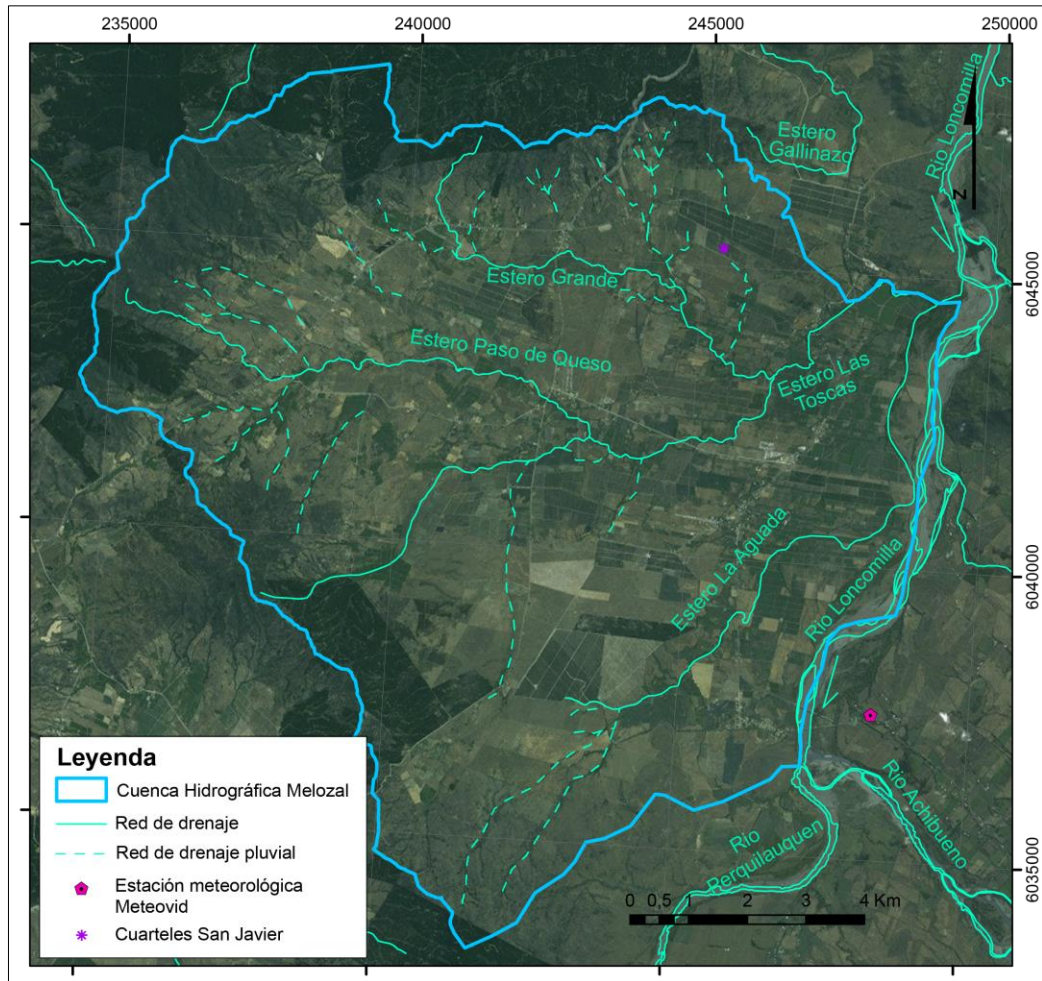


Figura 4.41: Distribución de la red de drenaje de la cuenca Melozal.

4.4.2. CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA

4.4.2.1. Unidades hidrogeológicas

Las unidades se agruparon en función de su potencial hidrogeológico, desde unidades con bajo potencial hasta unidades con alto potencial. Se definieron 5 unidades hidrogeológicas en la cuenca de Melozal:

- Unidad de Roca con una extensión de 36 km², corresponde a rocas volcánicas e intrusivos.
- Unidad depósitos de escombrera que tiene una extensión de 15,6 km².
- Unidad depósitos piroclásticos que es la que abarca la mayor superficie de la cuenca con una área de 73,2 km².
- Unidad depósitos fluviales secundarios, la cual tiene con una extensión de 10,8 km².

- Unidad depósitos fluviales con un área de 14,47 km².

Unidad de roca

La unidad de roca agrupa principalmente a las unidades de depósitos consolidados o roca descritos por Hauser (1995) en la Hoja Hidrogeológica Talca. Corresponden al Basamento granítico (Pzg y Pzga), Intrusivos Graníticos (Jig), la Formación Lo Valle y stocks aplíticos. Además se agrupa la Unidad Monzogranito Las Toscas definida por Contreras (2017). La unidad bordea principalmente los límites de la cuenca.

El Basamento granítico está compuesto principalmente por rocas graníticas de grano grueso. En algunas zonas se encuentra altamente meteorizado (Pzga), lo que da lugar al desarrollo de gruesos perfiles de suelo de hasta 15 m en las zonas de quebradas, por lo que se puede distinguir la roca fresca (Pzg). La sub unidad (Pzga) que posee mayor meteorización, tiende a formar acuíferos colgados, localizados en torno al eje de quebradas, donde se desarrollan pequeños manantiales estacionales. En el mapa de la Figura 4.42, se muestra en rojo las rocas altamente meteorizadas que tienden a formar pequeños acuíferos.

Intrusivos graníticos (Jig), corresponden a una serie de intrusivos aislados y con escasa distribución. Predominan las granodioritas y dioritas de color gris claro con texturas faneríticas. Tienen escasa meteorización, por lo tanto, potencial hidrogeológico nulo.

La Formación Lo Valle (KTlv) es una secuencia de rocas volcanoclásticas fundamentalmente constituida por lavas andesíticas y riolitas, ignimbritas y brechas, con escasas intercalaciones locales de tufitas y areniscas (Hauser, 1995). En la zona de estudio se caracteriza por intercalaciones de andesitas de anfíbol, andesitas brechosas, tobos de cristales, tobos de lapilli vitrocrystalinas y tobos líticas (Figura 4.43; Contreras, 2017). Se le asocian reducidas zonas acuíferas, relacionadas a rocas fracturadas y/o superficialmente alteradas. En la época pluvial dan origen a pequeñas vertientes con escaso caudal. El potencial hidrogeológico de la Formación Lo Valle es considerado nulo a bajo.

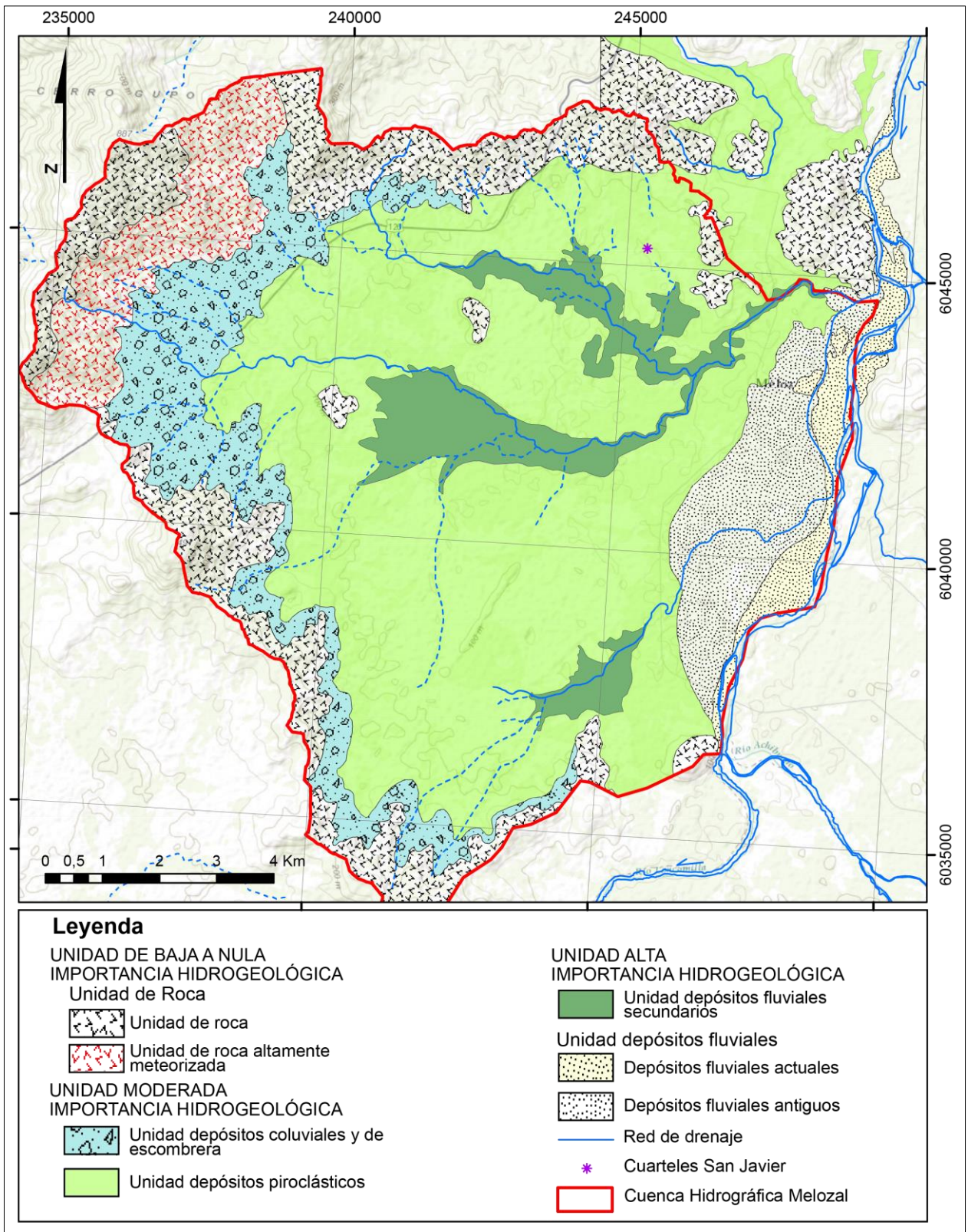


Figura 4.42: Caracterización hidrogeológica de la cuenca de Melozal.



Figura 4.43: Afloramiento de la Formación Lo Valle se observa una intercalación de lavas y tobas.

La Unidad de roca presenta bajo interés hidrogeológico, y forma una barrera lateral a los acuíferos dentro del valle. De acuerdo a la clasificación de Krásny (1997) los valores de permeabilidad asociado a la unidad varían entre 1×10^{-5} m/d en macizos rocosos, no alterados ni fracturados, hasta 0,01 m/d para rocas fracturadas.

Unidad depósitos coluviales y de escombrera

Esta unidad corresponde a depósitos no consolidados formados principalmente por la erosión de la Unidad de roca, que se asocian a depósitos coluviales. Su granulometría es una mezcla heterogénea de fragmentos rocosos de diversa forma, tamaño y composición, con escasa matriz fina, limo arcillosa y clastos angulosos (Hauser, 1995).

Esta unidad tiende a formar acuíferos de extensión local, asociados a las quebradas y a la época invernal. Sin embargo, tiene importancia hidrogeológica, ya que presenta una alta permeabilidad y constituye una zona favorable para la recarga subterránea. De acuerdo a Custodio y Llamas (1983), la permeabilidad de estos depósitos varía de 0 a 10^2 m/d.

Unidad depósitos piroclásticos

La unidad fue definida como Abanico del curso medio del río Perquilauquén (Qap) por Varela y Moreno (1982) y corresponde a una importante secuencia sedimentaria que consiste principalmente de cenizas de colores claros y de naturaleza ácida, con frecuentes intercalaciones de sedimentos finos (limos y arcillas) propios de ambiente lagunar. Tiene diversos grados de cementación creando superficialmente costras

delgadas impermeables, debido a la acción puzolánica (reacción química del cemento) de las cenizas, condicionando un mal drenaje superficial (Hauser, 1995).

En la zona de la viña, Contreras (2017) otorgó un origen piroclástico al depósito, generado a partir de actividad explosiva, sugiriendo un depósito de oleada piroclástica. Análisis de granulometría del depósito indican 2% de arcilla/limo, 45 % de arena fina, 53% de arena media y 1% de arena gruesa, lo que indica una permeabilidad media a alta. Sin embargo, la existencia de niveles de tobas impermeables, que presentan alteración a arcillas, impiden la infiltración y reducen la permeabilidad de la unidad. En la Figura 4.44, se observa un nivel blanco de toba con permeabilidad baja, lo que impide la infiltración de agua, produciendo que en invierno el terreno se encuentre inundado. En la Figura 4.45, se muestra el contacto de dos depósitos piroclásticos en la Unidad depósitos piroclásticos.



Figura 4.44: Fotografía de la Unidad depósito piroclástico, se observan niveles de tobas impermeables en la parte superior y un paleo suelo en tonos más rojizos.

Esta unidad tiene moderada a baja importancia hidrogeológica y de acuerdo a Custodio y Llamas (1983), la permeabilidad de estos depósitos varía de 0 a 10^{-4} m/día.

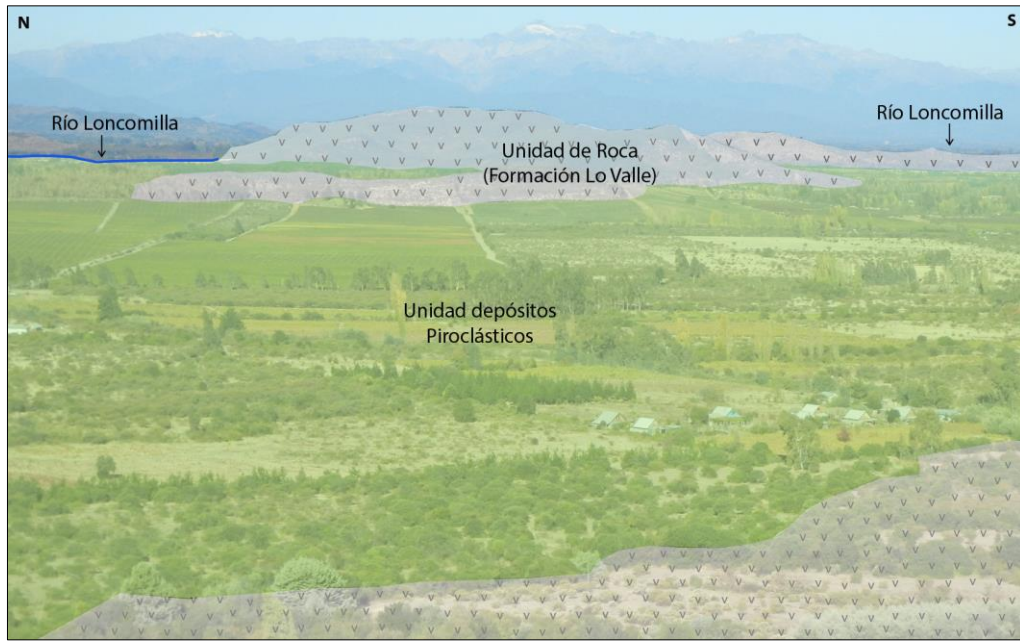


Figura 4.45: Fotografía mirando al este, se puede observar la disposición de la Unidad de Roca y la Unidad depósitos Piroclásticos

Unidad depósitos fluviales secundarios

Esta unidad está compuesta por sedimentos no consolidados a semiconsolidados que rellenan los cursos fluviales secundarios en el valle. La unidad está caracterizada por arenas y gravas arenosas, con lentes de material fino, cuyos clastos derivan de la erosión de las rocas intrusivas y volcánicas (Contreras, 2017).

Esta unidad tiene importancia hidrogeológica debido a su buena permeabilidad; según la clasificación de Custodio y Llamas (1983), la permeabilidad del depósito variaría entre 10^3 y 10^{-2} m/día. De acuerdo a Hauser (1995), la unidad tiene un potencial medio, en el caso de pozos o norias someras de menos de 20 m de profundidad.

Unidad depósitos fluviales

La Unidad depósitos fluviales agrupa dos tipos de depósitos, los depósitos fluviales antiguos y los depósitos fluviales actuales asociados al río Loncomilla (Figura 4.46).

Depósitos fluviales antiguos: Secuencia semi-consolidada que se compone por bancos de ripios, gravas y arenas, con abundantes estructuras lenticulares y estratificación diagonal, que tiene escasos niveles finos. Se estima una permeabilidad media a alta, con valores entre $1-10^5$ m/d (Custodio y Llamas, 1983), caracterizándose por una gran capacidad para almacenar y conducir agua (Hauser, 1995).

Depósitos fluviales actuales: Corresponde a una secuencia no consolidada, asociada a los depósitos actuales transportados por el río Loncomilla. Se componen principalmente por clastos que van desde 1 a 20 cm de diámetro, con la presencia de sedimentos finos que van desde tamaño limo/arcilla a gravas (Contreras, 2017).



Figura 4.46: Fotografía de depósitos fluviales del río Loncomilla.

Al tratarse de sedimentos no consolidados a semi-consolidados. La unidad presenta alta permeabilidad y, por lo tanto, alto potencial hidrogeológico. Estos depósitos tienen gran capacidad para almacenar y conducir agua, pero se encuentran restringidos al trazado del río Loncomilla, por lo que forman acuíferos de extensión local con características de libres a semiconfinados y con niveles estáticos relacionados al nivel del río.

De acuerdo a la clasificación de Custodio y Llamas (1983), la permeabilidad del depósito varía entre 10^3 y 10^{-2} m/día.

4.4.2.2. Geometría y propiedades del acuífero

Columnas

Dentro de la cuenca de la viña de San Javier, se recopilieron los datos de los derechos de agua subterránea concebidos por la DGA, al igual que datos de la Hoja Hidrogeológica de Talca (Hausser, 1995) y de algunos datos desde informes realizados por la DGA y expedientes (DGA, 2010). A partir de la bibliografía se determinó que existen 22 pozos en la cuenca con derechos de extracción subterránea concedidos. Sin embargo, en

terreno se pudo evidenciar una alta densidad de norias, las cuales no se encuentran registradas en la Figura 4.47, corresponden a los puntos de color amarillo.

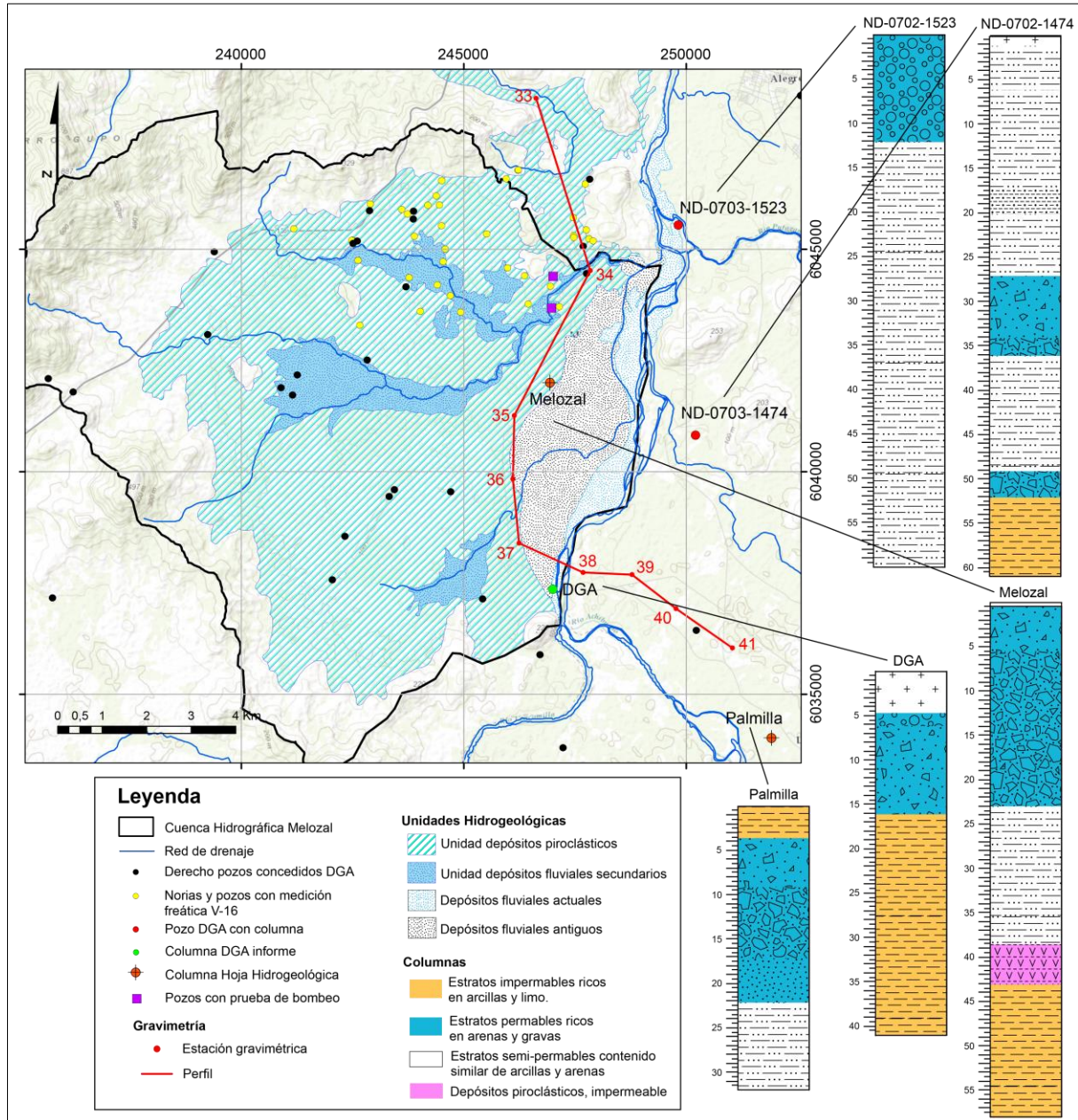


Figura 4.47: Mapa de pozos y columnas estratigráficas en la cuenca Melozal.

De los expedientes de la DGA, solo dos pozos ubicados en la cercanía del río Loncomilla, tenían descripción estratigráfica. Se recopilaron dos columnas en la Hoja de Talca y una columna en un informe de la DGA (2010). En la Figura 4.47 se observan los puntos en los cuales se realizaron las columnas.

Las descripciones estratigráficas se ubican en su mayoría en la Unidad depósitos fluviales antiguos y actuales, sólo un pozo se encuentra en el límite de la Unidad

depósitos piroclásticos y depósitos fluviales. Las profundidades de los sondajes van desde los 30 a los 60 m. A partir de las descripciones se observa que la secuencia corresponde a intercalaciones de estratos de mayor permeabilidad, ricos en grava, ripio y arena, típicos de depósitos fluviales, y otros con mayor contenido de arcillas lo que les da características de impermeables; estos últimos se ubican mayoritariamente en la parte inferior de los sondajes (Figura 4.47). Cabe destacar que en el pozo Melozal existe un nivel descrito como depósitos cineríticos (Hauser, 1995), que corresponde a un nivel impermeable producto de la alteración del material volcánico. Dado a estas características de la cuenca, se formarían pequeños acuíferos lenticulares asociados a niveles más porosos con límites demarcados por los depósitos cineríticos impermeables.

De acuerdo a los relatos de los dueños de los pozos, la mayoría comentaba sobre un nivel duro e impermeable llamado “Tosca” y descrita de color negro. La profundidad de esta “tosca” es variable y fluctúa entre los 2-13 metros. En base a las observaciones en terreno y los relatos, se puede definir la “tosca” como un nivel asociado a un depósito piroclástico como el que se observa en la Figura 4.44. Probablemente este nivel corresponde al límite inferior de un acuífero colgado superior, que coincide con el acuífero donde se realizaron las mediciones del nivel freático.

Por otra parte, de acuerdo al informe de la DGA (2010), en la cercanía de la Cordillera de la Costa, lugar donde se emplaza la cuenca, se produce un cambio de dirección del río producto de la barrera que produce la misma cordillera. El cambio de dirección del río a una dirección norte-sur, conlleva a una disminución de la fuerza del río lo que produce una acumulación de mayor material fino, formando lentes ricos en arcilla, lo que se observa en los sondajes.

Perfiles gravimétricos

En 2005 la DGA, realizó una campaña de perfiles gravimétricos en la Región del Maule. La traza de uno de los perfiles realizados, abarca el límite oriental de la cuenca, es decir el borde este que limita con el río Loncomilla. En la Figura 4.47, se muestra la ubicación del perfil y de las estaciones gravimétricas. En la Tabla 4.6, se exponen las profundidades del basamento obtenidos en cada estación.

Tabla 4.6: Datos de las estaciones gravimétricas.

Estación	Cota ms.n.m.	Bouguer	Profundidad Basamento (m)	Cota Basamento (m)	Distancia proyectada
33	130,6	130,63	0	130,63	0,00
34	92,83	92,83	405	-312,17	2948,99
35	98,59	98,59	436,59	-338,00	3123,03
36	96,06	96,06	478,22	-382,15	3804,87
37	102,75	102,75	529,35	-426,60	4642,41
38	96,9	96,90	618,34	-521,44	6218,59
39	97,77	97,77	601,9	-504,13	7198,06
40	99,54	99,54	581,16	-481,62	8433,78
41	105,63	105,63	647,46	-541,83	9976,49

En la Figura 4.48 se presenta el perfil que se interpretó a partir de 9 estaciones gravimétricas. Se observa que la cuenca alcanza una gran profundidad, con valor máximo de 647,5 m. El relleno de la cuenca sedimentaria, en la cual se alojaría el acuífero, es desconocido, debido a que el registro estratigráfico de los sondajes solo alcanzan los 60 m. Sin embargo, conociendo la geomorfología y geología superficial, se podría suponer que el relleno de la cuenca corresponde a material depositado por el río Loncomilla (principal aporte), debido a la pérdida de energía del río en la zona de estudio), también a material proveniente de los bordes de la cuenca, y probablemente a depósitos de otros eventos volcánicos (depósitos piroclásticos).

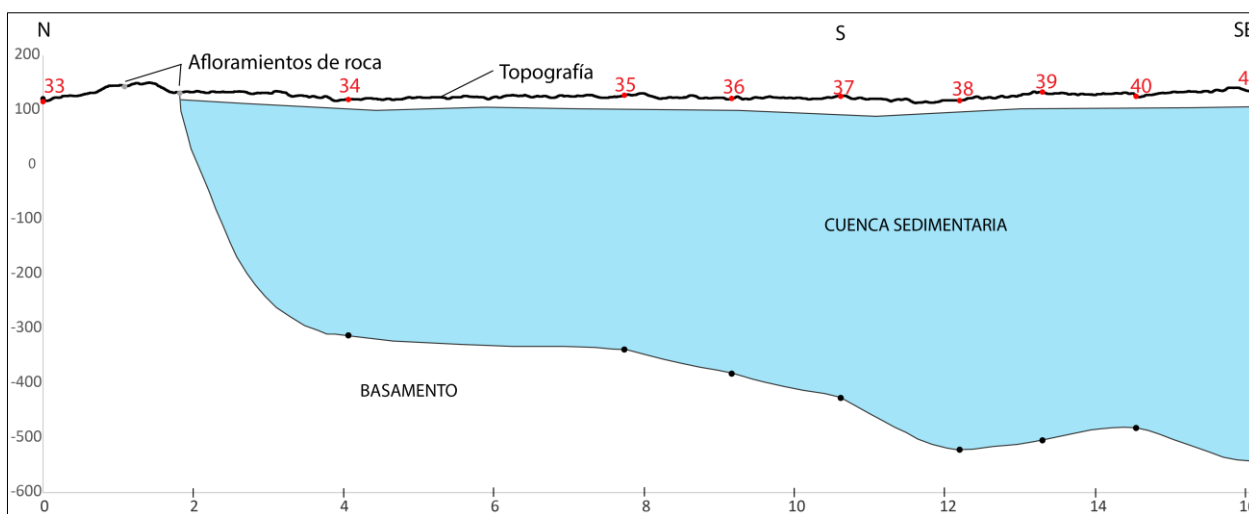


Figura 4.48: Modelos de cuenca a partir de la interpretación de los perfiles geofísicos.

A partir de los datos expuestos, se puede concluir que el acuífero de la cuenca Melozal tiene un alto potencial hidrogeológico. Esto se debe a la gran potencia de la cuenca sedimentaria y la presencia de estratos permeables con alto contenido de gravas, ripios y arcillas. La cuenca alojaría una secuencia de acuíferos lenticulares colgados asociados en su base a capas impermeables (probablemente de origen volcánico o material rico en arcilla aportado por el río). En terreno las mediciones del nivel freático se realizaron en su mayoría en norias por lo que el nivel medido correspondería a un acuífero somero, como ya fue mencionado.

Cabe destacar que la infiltración del agua de lluvia sería poca debido a capas superficiales impermeables que impiden la infiltración. Por lo anterior, en periodos de lluvia la tierra se inunda fácilmente y se produce escorrentía superficial, lo que se pudo evidenciar en terreno.

4.4.2.3. Parámetros elásticos

Los parámetros elásticos fueron obtenidos desde el informe de la DGA (2010), los cuales fueron calculados a partir de datos de pruebas de bombeo. En la Figura 4.47, en cuadritos morados se muestran los dos pozos en los cuales se calcularon datos de transmisividad y permeabilidad. Para la transmisividad, el cálculo se hizo a partir de pruebas de bombeo a gasto variable y mediante la relación Dupuit, donde se obtuvieron los valores que se encuentran en la Tabla 4.7. Luego a partir del valor de la transmisividad y el espesor del acuífero se determinó la permeabilidad.

Tabla 4.7: Parámetros elásticos obtenidos a partir de pruebas de bombeo.

Pozo	Ubicación	Espesor (m)	Transmisividad (m ² /día)	Permeabilidad (m/día)
203	Unidad depósitos piroclásticos	11	36	3.31
204	Límite entre Depósitos fluviales secundarios y Unidad depósitos piroclásticos	13	174	13.39

Cabe destacar que los valores más altos de los parámetros, están en el pozo que se encuentra en el límite entre las unidades de depósitos de piroclastos y depósitos fluviales. De todos modos dadas las características del acuífero (intercalación de niveles ricos en arcillas y otros niveles más permeables), los valores de los parámetros elásticos pueden variar, debido a que no existe un solo acuífero, sino que corresponde a un conjunto de

acuífero lenticulares, ubicados en distintas capas y, por lo tanto, con distintas características.

4.4.2.4. Piezometría y flujos subterráneos

Al igual que en las otras viñas, se recopilaron datos de las campañas I15 y V16. En la primera campaña, se realizaron mediciones en 19 pozos y durante el V16 se estudiaron 37 pozos.

La Tabla 4.8, muestra los valores estadísticos de ambas campañas, los datos de las mediciones se encuentran en la tabla de **Anexo 2.4**. Al igual que en las otras viñas, se observa un descenso de la cota freática en verano debido a la extracción de mayores volúmenes de agua para el riego durante esta estación. Cabe destacar que en zona de San Javier, la mayoría del agua que se utiliza para regar proviene de red de drenaje superficial, pero como fue mencionado antes, debido al nivel freático somero del acuífero, existe interacción entre la red de drenaje secundaria en la cuenca y el acuífero. Por otro lado, la ausencia de lluvias en verano también influye en el descenso de las aguas subterráneas, ya que junto al río son los factores más importantes de recarga al acuífero.

Tabla 4.8: Datos de las mediciones freáticas para ambas campañas.

Temporada		Invierno 2015	Verano 2016
Mediciones		19	37
Nivel freático (mbs)	Promedio	4,2	4,9
	Min	0,2	0,9
	Max	12,65	12,7

En la Figura 4.49, se presentan las isopiezas que se realizaron a partir de la medición de los niveles freáticos. El valor promedio del nivel freático corresponde a 4,3 mbs, lo que equivale a una cota freática de 110 ms.n.m.

El flujo hidráulico principal tiene una dirección N-S el cual se dirige desde los límites de la cuenca en la Unidad de roca hacia el valle en la Unidad depósitos piroclásticos. Dentro del mismo valle existen afloramientos de la Unidad de Roca, los que provocan isopiezas concéntricas alrededor de estos mismos donde el agua fluye desde ellos hacia el valle. Se producen también isopiezas concéntricas alrededor de algunos pozos de extracción.

El flujo subterráneo también tiene una componente O-E, donde el agua fluye desde la cuenca hacia el río.

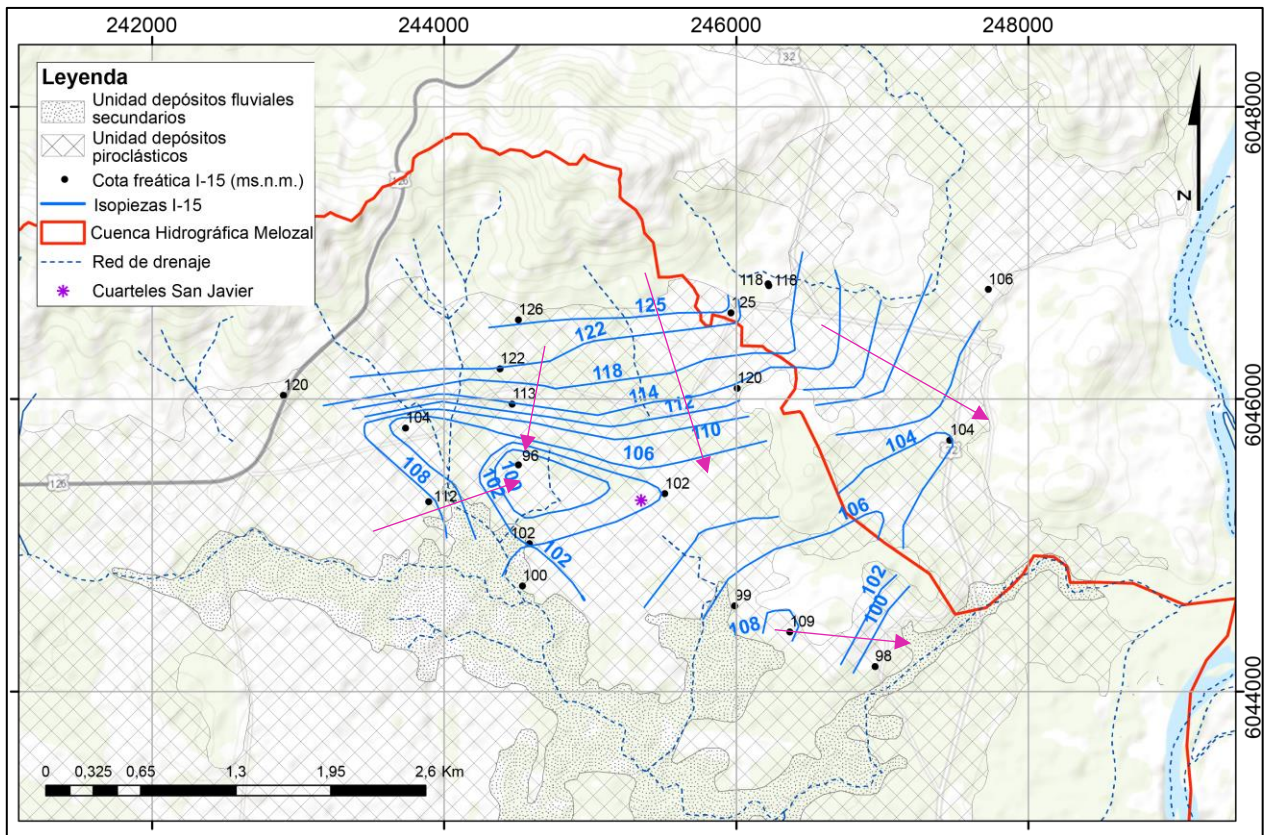


Figura 4.49: Mapa de isopiezas de la cota freática I15, las flechas rosadas indican la dirección y sentido del flujo subterráneo.

En la Figura 4.50 se presentan las isopiezas de la campaña Verano 2016. En cuanto al flujo subterráneo se observa algo similar al invierno. Sin embargo, se reconoce una mayor cantidad de isopiezas concéntricas en torno a pozos de extracción. Las diferencias más notorias corresponden a los cambios del nivel freático, debido al cambio de estación donde la diferencia promedio entre invierno y verano es de 0,7 m y las diferencias extremas (mínimo y máximo en invierno y mínimo y máximo en verano) son de 0,7 mbs y 0,1 mbs respectivamente. Otra diferencia de gran importancia es el cambio del flujo subterráneo, donde en invierno había un componente de oeste a este, en verano se revierte el sentido y el flujo es de este a oeste, es decir desde el río Loncomilla hacia el valle. Esto indicaría que durante el invierno el acuífero descarga al río, mientras que en verano el río recarga al acuífero.

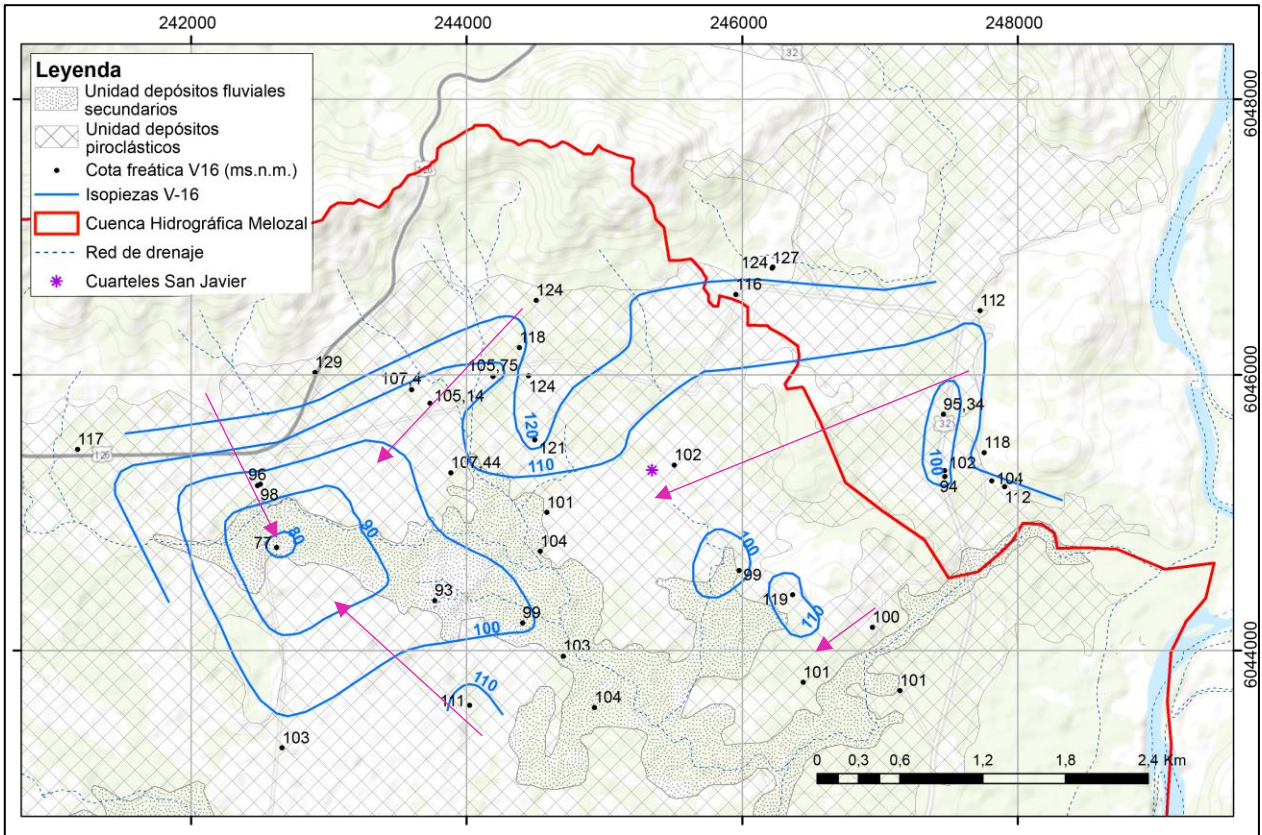


Figura 4.50: Mapa de isopiezas de la cota freática V16, las flechas rosadas indican la dirección y sentido del flujo subterráneo.

5. CONTROL DE CALIDAD

Para evaluar el nivel de confianza que presenta la base de datos se realiza un control de calidad de los análisis de laboratorio y de muestreo mediante el análisis de duplicados de terreno y laboratorio.

Para realizar el control de calidad los datos fueron separados por laboratorio, es decir, por un parte los cationes y elementos trazas analizados por Bureau Veritas y por otra parte los aniones medidos en el laboratorio del SERNAGEOMIN. Luego los datos fueron separados por viña y se realizó en cada viña un control de calidad.

Además se realizó un análisis de electroneutralidad de las muestras con los resultados de los análisis de ambos laboratorios, considerando cationes y aniones mayores.

5.1. CONTROL DE CALIDAD BUREAU VERITAS

Para el caso del laboratorio de Bureau Veritas se evaluó la precisión, es decir la reproducibilidad de los datos, mediante el estudio de duplicados de terreno y de laboratorio.

El control de calidad (QA/QC) se realiza determinando el promedio relativo del error total y analítico, según el cálculo del coeficiente de variación al cuadrado (CV^2) de Stanley & Lawie (2007)

$$CV^2 = 2 \frac{(x_1 - x_2)^2}{(x_1 + x_2)^2}$$

y del porcentaje del coeficiente de variación (CV%) (Stanley & Lawie 2007).

$$CV\% = 100 * \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(2 \frac{(x_{1i} - x_{2i})^2}{(x_{1i} + x_{2i})^2} \right)}$$

Donde n corresponde al número de pares duplicados y (x_1 y x_2) son corresponden a la muestra original y a su par duplicado.

Se considera que elementos con errores totales mayores a 25%, y errores analíticos mayores a 20% entregan información de baja calidad.

5.1.1. Límite de detección

El tratamiento de los datos de Bureau Veritas comienza con la eliminación de todos los elementos cuyo análisis presento más de un 30 % de los resultados bajo el límite de detección. Para el resto de los elementos, los valores bajo el límite de detección se aproximaron a la mitad del valor de dicho límite. Generalmente se eliminan elementos con más 20% de muestras bajo límite de detección, sin embargo, se consideró un valor más alto, ya que dentro del control de calidad se consideran las muestras de agua lluvia donde casi todos los elementos se encuentran bajo el límite de detección.

La Tabla 5.1 muestra los elementos que cumplen con el control de calidad después de eliminar los elementos que tienen un 30 % de las muestras bajo límite de detección. Se han hecho algunas excepciones con algunos elementos que solo se encuentran en el agua de lluvia o de vertiente, donde se han aceptado estos elementos con porcentajes muchos menores. A continuación se especifican los elementos que fueron permitidos en cada viña.

En el caso de la viña de Casablanca se consideraron el escandio y el wolframio con un porcentaje de 67%, el primero debido a que solo se observa en verano y el segundo debido a que solo está presente en el agua subterránea. También se consideró el cobalto y plomo presente solamente en agua de lluvia. Finalmente para la viña de Casablanca se analizan 24 elementos.

En la viña de San Antonio se hace la excepción con el níquel debido a que se encuentra presente en las aguas de lluvia y de tranque, pero no en las aguas subterráneas y hierro que se encuentra en el agua de tranque, dejando un total de 26 elementos a analizar.

Para la viña de Santa Cruz se aceptaron elementos como el cobalto, níquel, hierro, plomo y zirconio que están presentes solo en agua de vertiente y/o agua de lluvia. En la viña se analizan un total de 27 elementos.

Finalmente en la viña de San Javier, los elementos que se consideran son el cerio, cobalto, cesio, hierro, níquel, plomo y selenio, ya que se encuentran presente solo en algunos de los tipos de agua, quedando un total de 29 elementos trazas a analizar.

La viña Casablanca tiene un total de 24 elementos, San Antonio 26, Santa Cruz 27 y finalmente San Javier 29.

Tabla 5.1: Porcentaje de muestras sobre límite de detección en cada elemento. En rojo los elementos que tienen menos de 70% de muestras sobre el límite, pero que no fueron eliminados. Los espacios en blanco corresponden a los elementos que no cumplieron el control de calidad (más de 30% bajo límite de detección).

Viña	% de muestras sobre límite de detección			
	Casablanca	San Antonio	Santa Cruz	San Javier
Al	92	100	100	100
As		78	91	83
B	83	78	82	75
Ba	100	100	100	100
Br	83	78	91	83
Ca	100	100	100	100
Ce	75	89	73	58
Co	25	78	36	67
Cr	75	100	91	75
Cs				67
Cu	100	100	100	100
Fe		11	9	33
K	83	100	100	100
La		67	73	
Li	92	67	91	83
Mg	92	100	91	83
Mn	100	100	100	100
Mo	83	78	91	83
Na	100	100	100	100
Nd		78	45	83
Ni		56	27	33
P	100	100	100	100
Pb	17		9	17
Rb	100	100	100	100
S	83	78	73	83
Sb				75
Sc	67			
Se		67		50
Si	92	100	100	100
Sn	92	100		58
Sr	100	100	100	100
U	83	78	91	83
V	83	89	91	83
W	67			
Y	75	89		83
Zn	100	100	100	100
Zr			9	

5.1.2. Cálculo del error analítico

El error analítico permite estudiar la calidad de los procedimientos realizados en el laboratorio y la precisión de los equipos utilizados en el laboratorio, este error se calcula con los resultados de los duplicados analíticos. El laboratorio realizó dos duplicados uno para cada campaña. En **Anexo 3.1** se presentan los cálculos de CV% para cada elemento.

De acuerdo al QA/QC los elementos que muestran error analítico mayor al 20% son Cu, Ce, La, Nd, Sb, W. Esto indica que la precisión en estos elementos no es de buena calidad por lo que conclusiones a partir de los resultados de estos elementos debe ser tomadas con cautela.

5.1.3. Cálculo de error total

El error total se mide a través de los duplicados de terreno, estas muestras reflejan tanto el error analítico como el error asociado al muestreo de terreno. Se realizaron 3 duplicados de terreno, dos a aguas subterráneas y uno a una muestra de agua de lluvia. En **Anexo 3.2** se presentan los cálculos de CV% para cada elemento.

En el análisis del error total, se calcularon dos valores de CV%, el primero considerando solo los duplicados correspondientes a las aguas subterráneas donde los elementos que tienen un error total mayor al 25% son La, Nd y S. El segundo cálculo del CV% se hizo considerando también la muestra de agua de lluvia y su duplicado, el cual entregó una mayor cantidad de elementos sobre 25%, estos corresponden a Al, Ca, Co, Cr, La, Nd, Ni, S, Sb, Sr e Y.

La diferencia entre el error total considerando el agua de lluvia ($\bar{x}_{CV\%}= 19,0$) y el de error total de solo las muestras de agua subterránea ($\bar{x}_{CV\%}= 6,2$), indica que la metodología del muestreo de agua de lluvia es poco confiable y por lo tanto los datos químicos de estas muestras deben ser utilizados solo de manera referencial, sobre todo en elementos como el Al, Ca, Co, Cr, La, Nd, Ni, S, Sb, Sr e Y.

5.2. SERNAGEOMIN

El Laboratorio SERNAGEOMIN no realiza duplicados de laboratorio, análisis de muestras estándar ni muestras blanco, por lo tanto, solo se analizaron duplicados de terreno, es decir solo se analizó el error total de las muestras.

Durante las dos campañas de terreno, Invierno 2015 y Verano 2016, se recolectaron un total de 44 muestras, se realizaron 3 duplicados de terreno y se envió una muestra blanco.

5.2.1. Límite de detección

El tratamiento de los datos de SERNAGEOMIN comienza con la eliminación de todos los elementos cuyo análisis presento más de un 30 % de los resultados bajo el límite de

detección. Los resultados muestran que el único elemento que tiene un porcentaje mayor al 30% de muestras bajo límite de detección es el nitrato, con un valor de 39,6%. A pesar del alto porcentaje bajo límite de detección del nitrato se considera en el estudio debido a dos razones. La primera corresponde a que el límite de detección de dicho elemento es muy alto 3 ppm, lo que explicaría su alto número de muestras bajo el límite de detección. La segunda razón es que de las 20 muestras bajo el límite de detección, 7 corresponden a las muestras de agua de lluvia las cuales se caracterizan por tener bajas concentraciones de elementos. Si no se consideran las muestras de agua lluvia el valor de muestras bajo el límite es de 32,5%.

5.2.2. Cálculo del error total

El error total se mide a través de los duplicados de terreno, estas muestras reflejan tanto el error analítico como el error asociado al muestreo de terreno. Se realizaron 3 duplicados de terreno, que corresponden a muestras de aguas subterráneas. Se consideran poco confiable variables que tienen un CV% mayor al 25%. En **Anexo 3.3** se presenta el cálculo del error de terreno. Para los aniones estudiados en el laboratorio del SERNAGEOMIN todos los elementos tienen errores totales menores al 12% por lo que todos los elementos son considerados confiable.

5.3. ANÁLISIS DE ELECTRONEUTRALIDAD

Para verificar la calidad de los resultados se efectuó un análisis de la electroneutralidad de las muestras, es decir, que en rigor las cargas positivas de los cationes deben compensar a las cargas negativas de los aniones, considerando los elementos mayores en el agua.

$$\sum \text{meq/l (+)} = \sum \text{meq/l (-)}$$

Se calcula un error asociado al análisis químico donde las concentraciones de los elementos se expresan en meq/L (Custodio & Llamas, 1983)

$$\text{Error} = \frac{\sum \text{meq/l (cationes)} - \sum \text{meq/l (aniones)}}{\sum \text{meq/l (cationes)} + \sum \text{meq/l (aniones)}} * 100$$

De acuerdo a Custodio y Llamas (1976), dependiendo de la conductividad del agua se admiten distintos valores del error. Para agua más diluida se acepta un error mayor caso

contrario para aguas más concentradas. La Tabla 5.2 muestra los valores para distintas conductividades.

Tabla 5.2: Tabla de errores admisibles (Custodio y Llamas, 1976)

Conductividad (us/cm)	50	200	500	>2000
Error Admisible (%)	30	10	8	4

5.3.1. Agua subterránea, riego y tranque

Para las muestras de agua subterránea, tranque y riego, se consideraron los errores asociados en la Tabla 5.2. El balance iónico indicó que solo en la viña de San Javier la muestra GW-M1-V16 tiene un error de 16% cuando el máximo permitido debería ser de 8%. Al tener pocas muestras se considera igualmente utilizar los datos de esta muestra, sin embargo, se tiene especial atención en ella. Los errores asociados a cada muestra se encuentran en los **Anexo 3.4**, **Anexo 3.5**, **Anexo 3.6**, **Anexo 3.7**.

5.3.2. Agua lluvia

Las aguas de lluvia suelen tener concentraciones iónicas mucho menores a las del agua de río, mar o subterránea.

Al realizar el balance de cargas en las muestras de agua de lluvia se obtienen errores altos que van desde -45,6% hasta 77,9%. Esto se debe a que en la mayoría de los iones, las muestras se encuentran bajo el límite de detección, y al reemplazar el valor por la mitad del límite de detección se puede estar subestimando o sobre estimando la concentración de los iones. El caso más claro corresponde al nitrato que tiene un límite de 3 ppm. Carroll (1962) presentó un valor promedio en aguas de lluvia es de 0,4 ppm, para muestras de Europa del norte y el sur de Australia, lo que podría estar indicando una sobrestimación de nitrato, al considerar el valor de 1,5 ppm para nuestro estudio.

En la Tabla 5.3, se presentan los errores analíticos calculados para el agua de lluvia, en **Anexo 3.8** se muestran los cálculos.

Tabla 5.3: Errores calculados para agua de lluvia.

Cationes/muestras	ACME
RW-V1	-11,2
RW-V2	-45,6
RW-C1	77,9
RW-C2	7,5
RW-L	0,3
RW-M1	12,6
RW-M2	-10,2

Debido a la baja conductividad eléctrica de las muestras con valores menores a 90 ppm, el error asociado permitido es de hasta 30 %, por lo que solo las muestras RW-V2 y RW-C1 no cumplen con la electroneutralidad. Revisando anotaciones de terreno se reconoció que durante la recolección de RW-V2 en las botellas de muestreo se formaban burbujas, además, se observa que la muestra tiene alta conductividad eléctrica debido a un alto contenido de Zn con respecto a todas las muestras de lluvia. Por otro lado, en la muestra RW-C1 se identificaron en el colector un contenido de algas verdes que flotaban al interior, lo que pudo haber producido algún tipo de precipitación y por lo tanto afectar a la muestra. Por esto las muestras RW-V2 y RW-C1, son eliminadas.

6. HIDROQUÍMICA DE LAS VIÑAS

En este capítulo, se presentan los resultados obtenidos a partir de los análisis químicos de los iones disueltos en el agua. Se analizaron los parámetros fisicoquímicos, elementos mayores, menores y trazas. Junto a la caracterización del tipo de agua se calcularon los índices de saturación en las muestras de agua y se analizaron de acuerdo a las normas chilenas de calidad de agua potable y de riego.

Las muestras de agua fueron tomadas durante dos campañas:

- Primera campaña en Invierno 2015, donde se colectaron muestras de agua lluvia y subterránea.
- Segunda campaña en Verano 2016, donde se tomaron muestras de agua de riego, tranque y agua subterránea.

Durante todas las campañas se midieron los parámetros fisicoquímicos con la ayuda de multiparámetros (pH, Eh, CE, T°) y se recolectaron muestras de agua para análisis de cationes, aniones y alcalinidad.

El código de nombre de las muestras considera el tipo de agua, la viña, el pozo del cual proviene y la campaña. Las muestras que corresponden a lluvia tienen código RW, agua de riego IW, agua subterránea GW y agua de tranque DW. La campaña I15 corresponde a Invierno 2015 y V16 a Verano 2016. En cuanto a los códigos de las viñas, se les asigno los siguientes: “V” para viña de Casablanca, “C” para viña de San Antonio, “L” para viña de Santa Cruz y “M” para viña de San Javier.

Por ejemplo, una muestra de agua subterránea de la viña Casablanca, colectada en el pozo n° 20 y durante la campaña de Invierno 2015, se asignó el siguiente código: GW-V20-I15.

6.1. CASABLANCA

6.1.1. Ubicación de los puntos de muestreo

En total se tomaron 12 muestras de agua en el área de la viña de Casablanca: Dos muestras de agua lluvia, 7 muestras de agua subterránea (2 en invierno y 5 verano), 2 muestras de riego y una muestra del tranque de agua. Los puntos de muestreo se

muestran en la Figura 6.1. En los pozos 12 y 8 se tomaron muestras en la campaña de invierno y verano. Cabe destacar que el agua de riego proviene del tranque, el cual se rellena con agua subterránea proveniente del pozo V12.

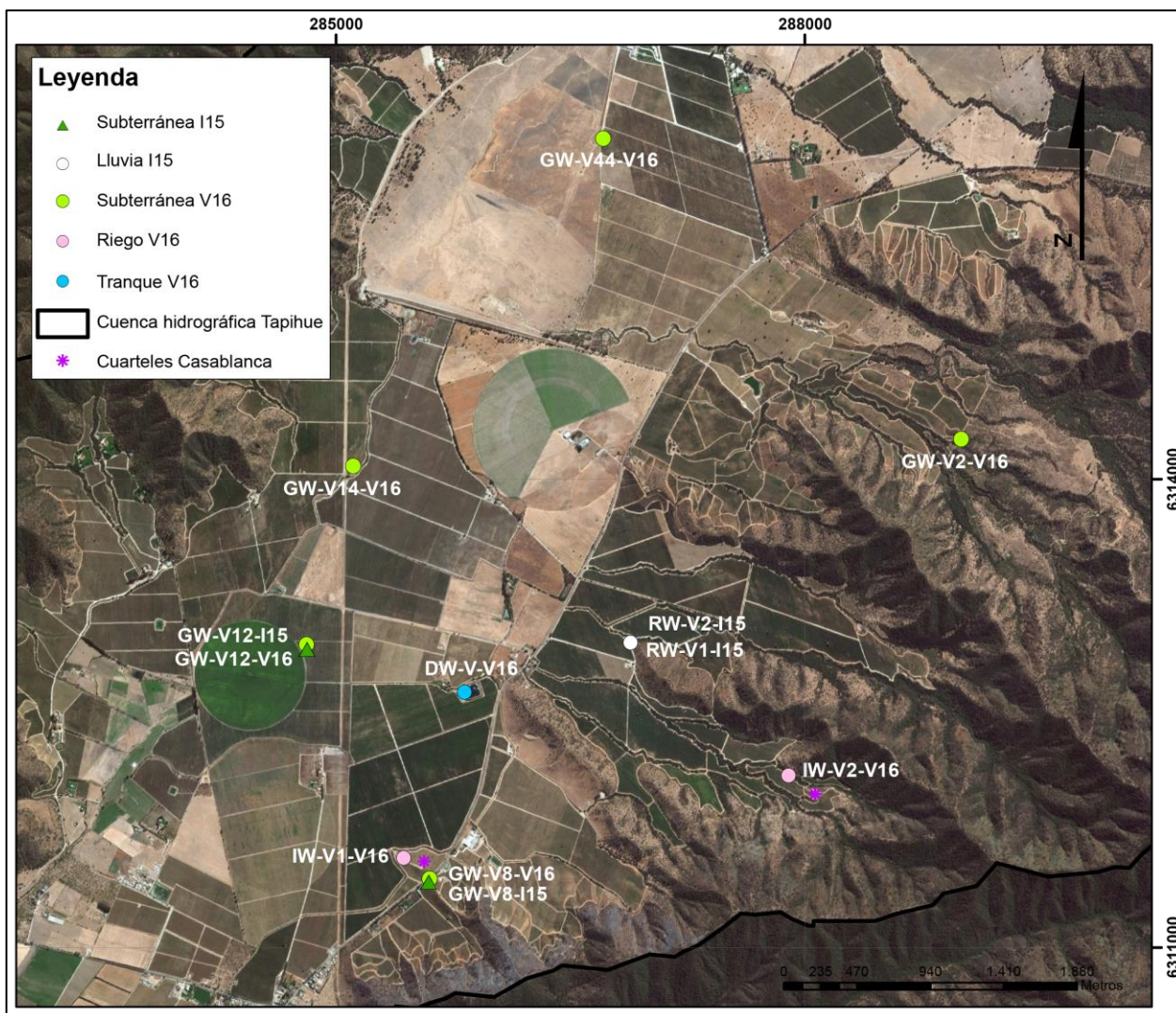


Figura 6.1: Puntos de muestreo en la cuenca de Tapihue.

6.1.2. Resultados químicos

La tabla con todos los resultados (fisicoquímica, elementos mayores, menores y trazas se presenta en los **Anexo 4.1** y **Anexo 4.2**

6.1.2.1. Correlación de datos

Para facilitar el análisis de las muestras se realizó una matriz de correlación entre los parámetros fisicoquímicos (temperatura, conductividad eléctrica, pH, Eh) y los elementos mayores y trazas. En esta matriz no se consideraron las muestras de agua lluvia debido

a que su composición no refleja los mismos procesos que las aguas subterráneas, por lo tanto la matriz se realizó en 10 muestras para 35 variables.

En la Tabla 6.1, se muestra una matriz de correlación simplificada con los elementos mayores, algunos menores (los que muestran mayores correlaciones), pH y conductividad eléctrica. En los **Anexo 4.9** se presenta la matriz completa.

Tabla 6.1: Matriz de correlación simplificada. En rojo se muestran los elementos que tienen coeficientes de correlación mayores a 0,8 y en verde mayores 0,5

	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Br	Cu	P	Si	Sr	Zn	CE	pH
HCO ₃ ⁻	1,0															
SO ₄ ²⁻	0,9	1,0														
Cl ⁻	-0,1	-0,1	1,0													
NO ₃ ⁻	-0,6	-0,5	0,4	1,0												
Ca ²⁺	0,9	0,9	0,1	-0,3	1,0											
Mg ²⁺	0,9	0,9	0,1	-0,4	1,0	1,0										
Na ⁺	0,2	0,2	0,3	-0,6	0,1	0,1	1,0									
K ⁺	0,2	0,2	0,1	-0,7	0,1	0,1	0,9	1,0								
Br	0,1	0,3	0,5	-0,1	0,3	0,2	0,5	0,5	1,0							
Cu	0,4	0,3	0,6	-0,1	0,5	0,5	0,5	0,5	0,3	1,0						
P	0,3	0,4	0,0	-0,3	0,4	0,3	0,3	0,6	0,3	0,6	1,0					
Si	0,2	0,4	0,0	0,3	0,4	0,3	-0,3	-0,1	0,2	0,2	0,6	1,0				
Sr	0,8	0,9	-0,1	-0,2	0,9	0,9	-0,1	0,0	0,2	0,3	0,5	0,7	1,0			
Zn	0,2	0,1	0,3	-0,3	0,2	0,1	0,4	0,6	0,3	0,6	0,8	0,1	0,1	1,0		
CE	0,8	0,6	-0,4	-0,7	0,6	0,6	0,2	0,2	-0,3	0,3	0,3	0,0	0,5	0,1	1,0	
pH	0,3	0,4	0,5	0,3	0,5	0,5	0,2	0,0	0,5	0,4	0,2	0,4	0,4	0,1	-0,2	1,0

La matriz muestra una fuerte correlación entre HCO₃⁻ y los aniones SO₄²⁻, Ca²⁺, Mg²⁺, y Sr; las que a su vez tienen buena correlación entre ellos. Además se observa una alta correlación entre el HCO₃⁻ y la CE. Otra correlación importante es la que se observa entre el K⁺ y Na⁺ y una correspondencia del P con el Cu y Zn. Finalmente el nitrato muestra correlación negativa con bicarbonato, sulfato, sodio, potasio y conductividad eléctrica.

6.1.2.2. Parámetros fisicoquímicos

Los parámetros fisicoquímicos consisten en la medición in-situ del pH, conductividad eléctrica, potencial redox y temperatura del agua. En la Tabla 6.2 se muestran los resultados de la fisicoquímica de las muestras.

Tabla 6.2: Resultados fisicoquímicos de las muestras de agua Viña Casablanca.

Tipo Agua	Campaña	Muestra	pH	T(°C)	CE(μS)	Eh (mV)
Lluvia	I15	RW-V1-I15	8,41	13,1	37	313
Subterránea	I15	GW-V8-I15	7,34	19,9	349	284
		GW-V12-I15	7,77	18,1	436	292
	V16	GW-V2-V16	8,29	20,0	285	283
		GW-V8-V16	8,56	19,8	284	288
		GW-V12-V16	8,95	20,1	353	270
		GW-V14-V16	8,22	20,8	365	288
		GW-V44-V16	8,56	19,9	269	268
Tranque Riego	V16	IW-V1-V16	8,87	21,1	371	282
		IW-V2-V16	8,93	21,8	365	263
		DW-V-V16	8,69	24,3	366	235

pH

La Figura 6.2 muestra la variación el pH en los distintos tipos de agua y por campaña.

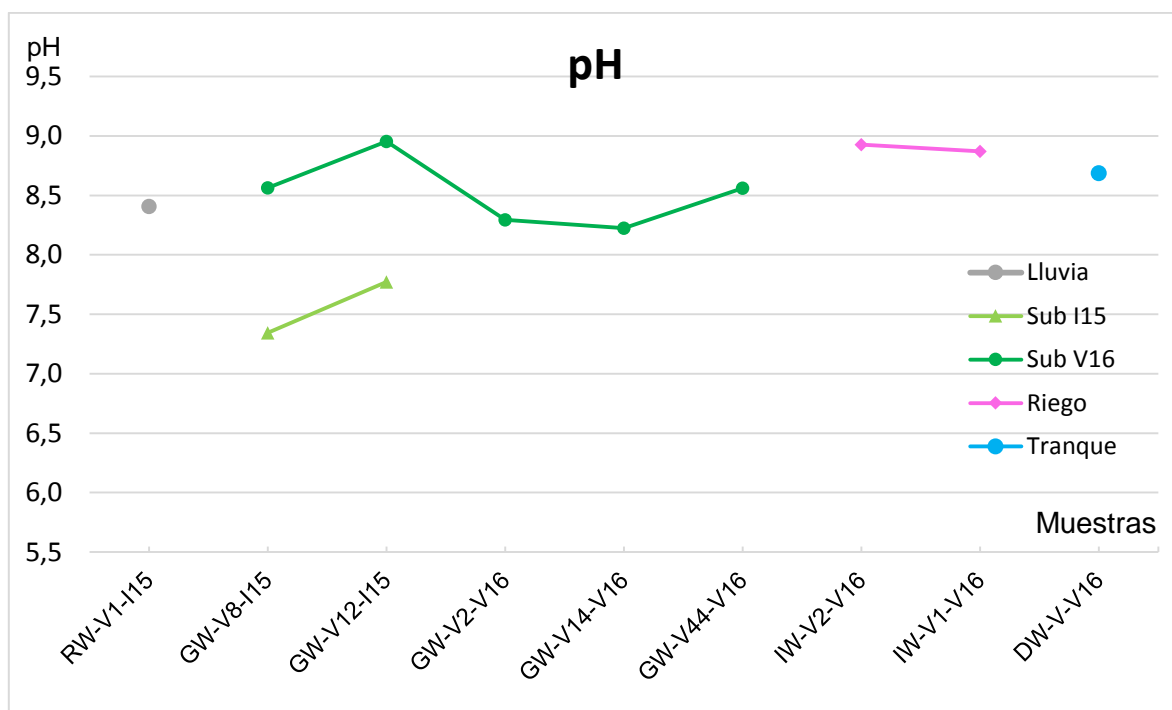


Figura 6.2: pH de las muestras de agua.

Se observa que el pH de las muestras tiene valores similares, independiente del tipo de agua y de la estación en la cual fue tomada la muestra. Los valores varían desde pH

neutros (7,34) hasta pH más alcalino de 8,95. En el caso de las aguas subterráneas se observa un aumento del pH en el verano. No existe mayor variación del pH entre las muestra de agua subterránea, tranque y riego, que fueron recolectadas en verano.

Conductividad eléctrica

La Figura 6.3 muestra los valores de la conductividad eléctrica para los distintos tipos de agua. La muestra de agua de lluvia tiene una baja conductividad eléctrica de 37 us/cm. En las aguas subterráneas, se observa que las conductividades están acotadas entre 269 y 436 uS/cm. Al contrario que con el pH, la conductividad eléctrica disminuye en verano. Las aguas de riego y tranque poseen conductividades un poco mayores a las de los pozos desde el cual es llenado el tranque. Cabe destacar que las conductividades en los pozos V2 y V44 son las menores, y que corresponden a los pozos que se ubican más cercanos a la zona de recarga.

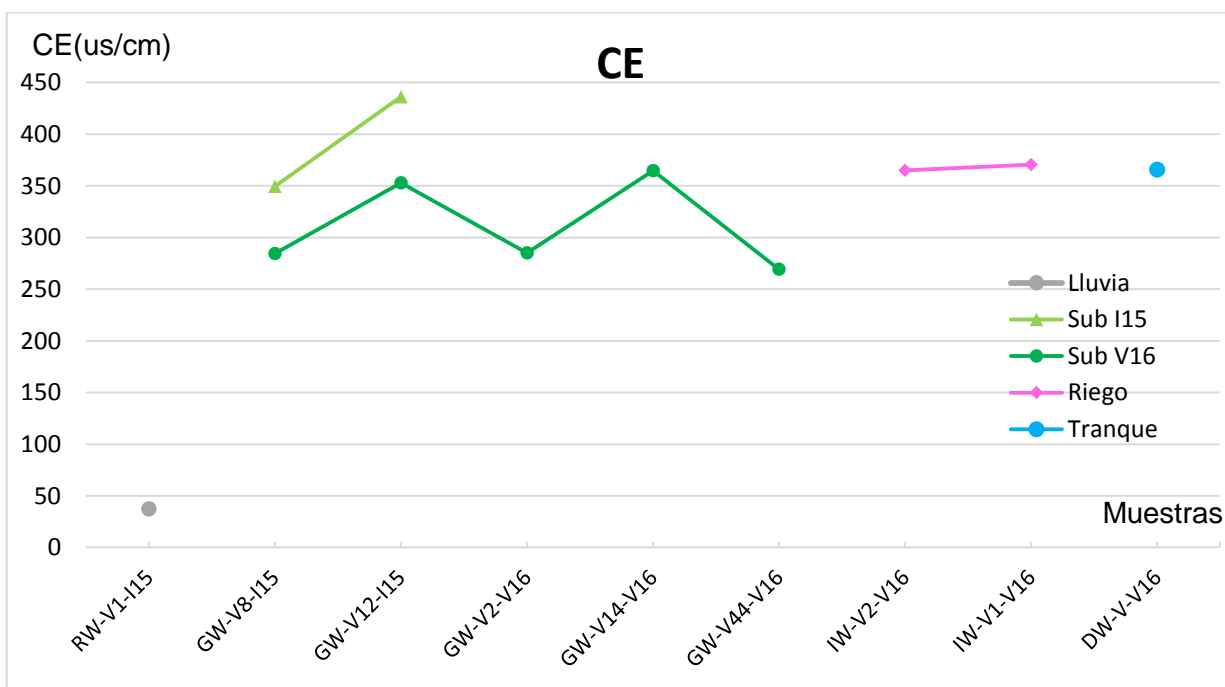


Figura 6.3: Gráficos de la conductividad eléctrica para las muestras.

Temperatura y Potencial redox

Las temperaturas de todas las aguas muestreadas no sobrepasan los 24,5°C, valor registrado en el tranque. Para las aguas subterráneas los valores varían entre los 18,8°C y los 20,1°C, valores que corresponden a temperaturas típicas de acuíferos en los primeros 200 m de profundidad (Escuder, 2009).

En general, los valores redox en las aguas naturales tienen valores entre -500 mV a 500 mV, donde el Eh negativo suele indicar aguas reductoras y un Eh positivo suele indicar aguas oxidantes (Escuder, 2009). Todas las muestras de Casablanca tienen Eh positivos, con valores que van desde los 235 mV en la muestra de agua de tranque a 313 mV en el agua de lluvia, lo que indica ambientes oxidantes cuyos principales agentes oxidantes corresponden al O_2 , Fe (III), SO_4^{2-} , NO_3^- .

La medición del potencial redox es compleja, para el registro es importante limitar al máximo el contacto del agua muestreada con la atmosfera, para evitar una incorporación del oxígeno del aire, proceso que exige un trabajo con cuidado durante la toma de muestra de agua a través de un bailer.

Sin embargo debido a las características hidrogeológicas de la viña y el nivel freático, se estima que todas las viñas deben tener potenciales redox oxidantes.

6.1.2.3. Tipo de aguas

Los elementos mayores en el agua corresponden a los aniones: Cl^- , HCO_3^- , SO_4^{2-} y NO_3^- y los cationes a: Na^+ , K^+ , Ca^{2+} y Mg^{2+} . En la Figura 6.4 se presenta el mapa con la ubicación geográfica de los puntos de muestreos y con sus respectivos diagramas de Stiff para cada muestra. Se observa que el diagrama STIFF es similar en la mayoría las muestras; se reconocen diferencias en cuanto a variaciones de la concentración en algunos elementos, lo que se refleja en diagramas de distinto tamaño.

Se observa que el anión predominante es el bicarbonato en todas las muestras mientras el catión predominante es principalmente el calcio aunque que con menor predominancia con respecto al sodio y potasio, como es el caso de pozo V8.

A partir del diagrama de Piper (Figura 6.5), los cationes en general se ubican en la facies Ca-Mg y Ca-Na y los aniones en la facie bicarbonatada. Según esto, todas las muestras son clasificadas como aguas bicarbonatadas cálcicas y/o magnésicas.

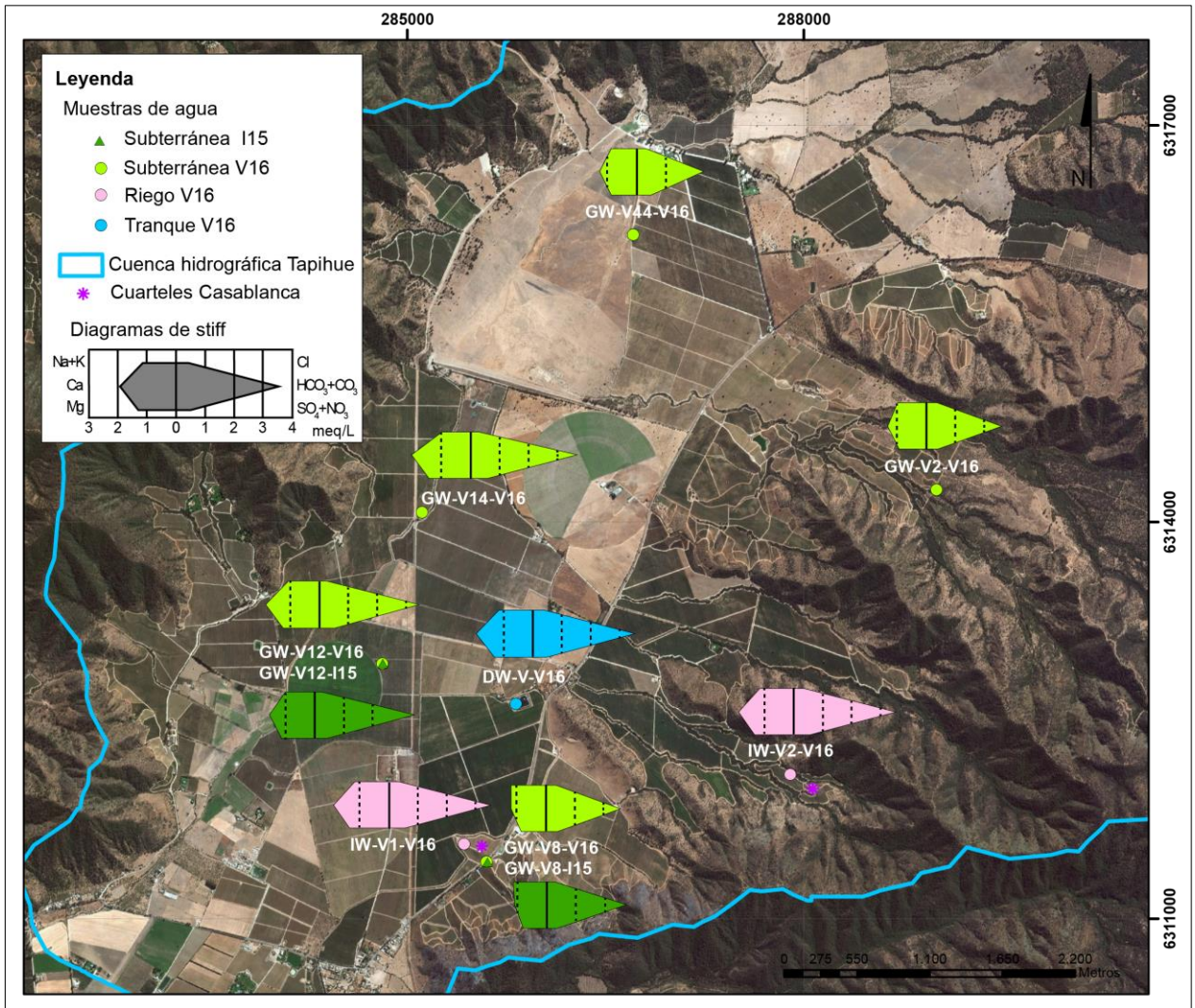


Figura 6.4: Mapa de ubicación de las muestras de agua subterránea, riego y tranque. En verde oscuro las muestras de agua subterránea Invierno 2015, en verde claro las muestras de agua subterránea Verano 2016, en rosado agua de riego y en celeste agua de tranque.

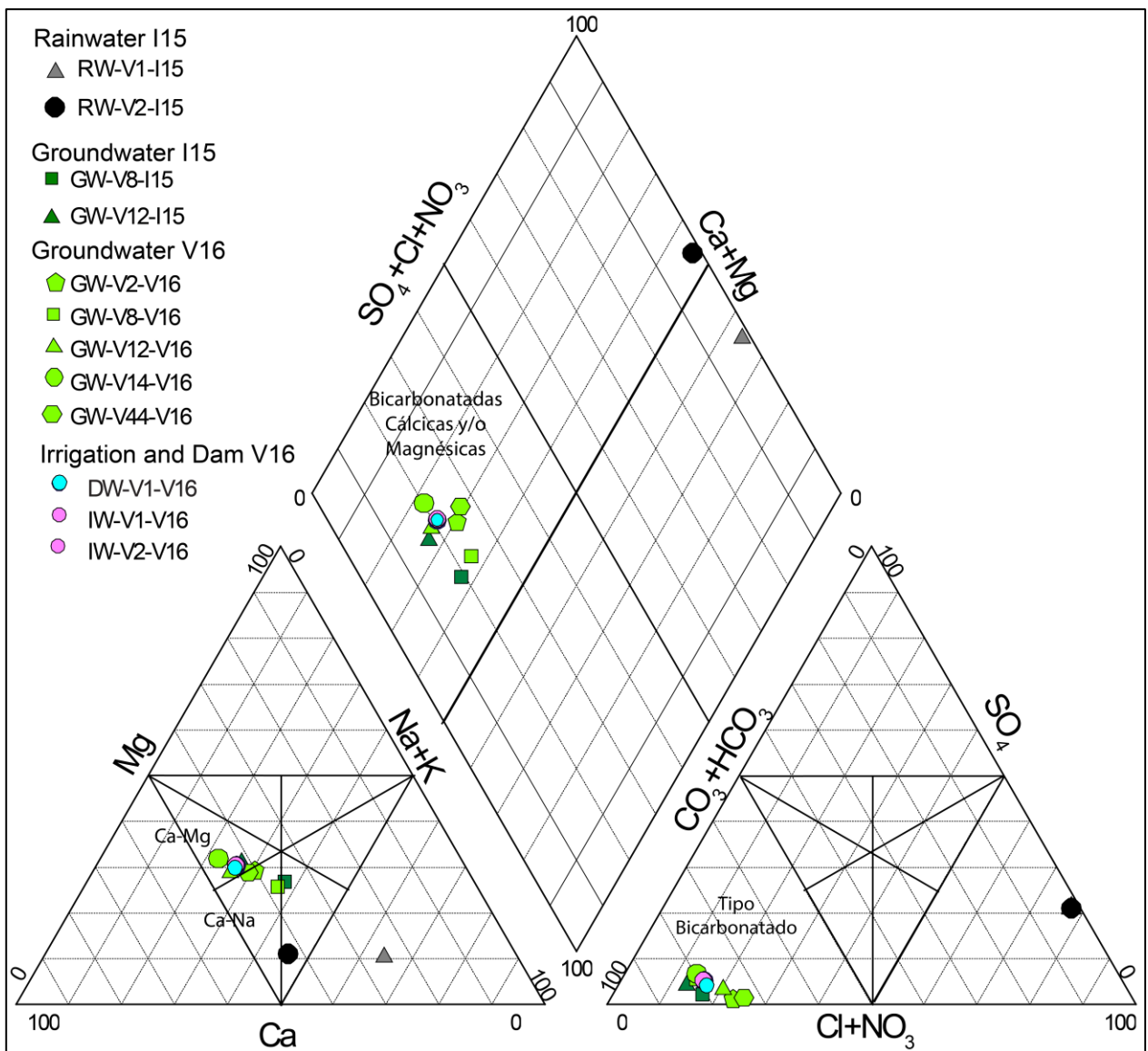


Figura 6.5: Diagrama Piper de las muestras.

En la Figura 6.6 se presenta el diagrama de Scholler-Berkaloff para las muestras de la zona de estudio: El diagrama revela una dominancia de los iones bicarbonato y calcio, similar a lo determinado en diagramas anteriores. Otras relaciones importantes que se observan son el aumento de la concentración de calcio, magnesio, cloro, sodio y potasio (leve), sulfato en verano (pozos V8-V12) y una alta variabilidad del ion sulfato.

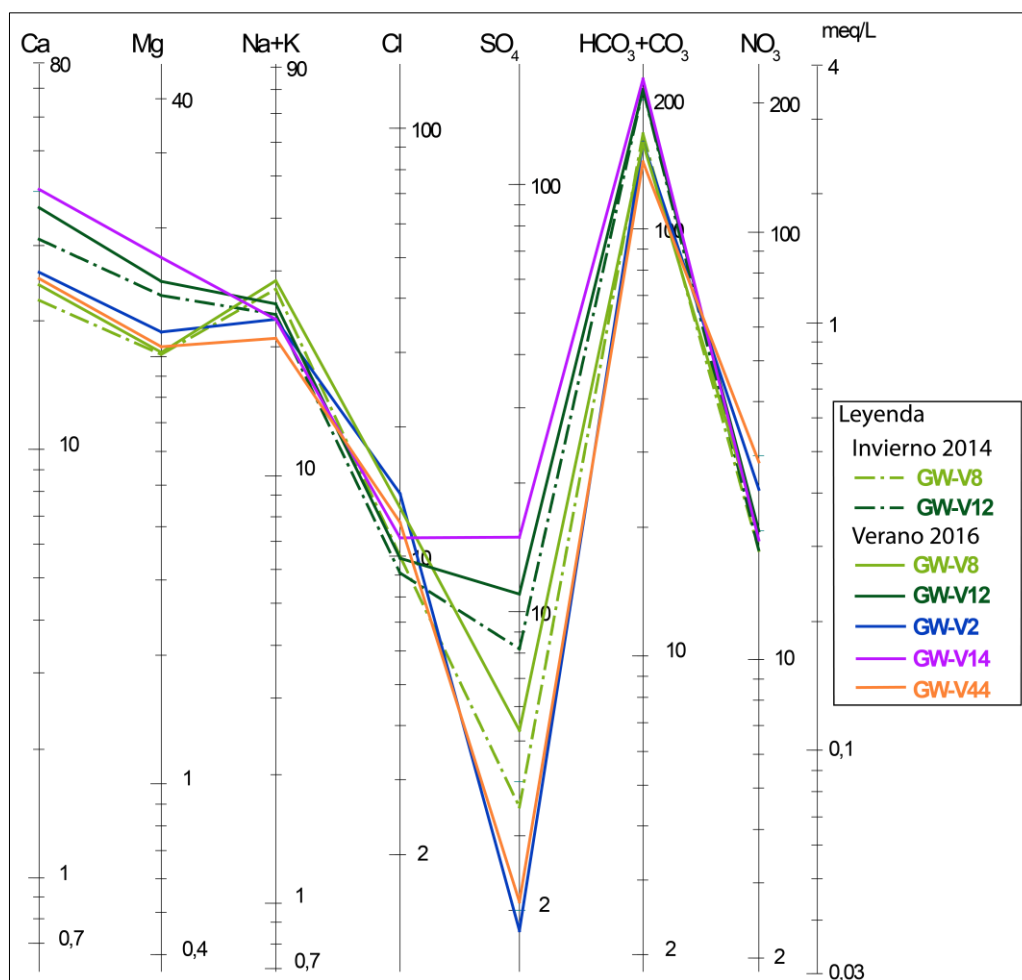


Figura 6.6: Diagrama Scholler-Berkalof, permite observar las disminuciones o aumentos de los compuestos en las distintas muestras.

6.1.3. Elementos mayores en aguas subterráneas

Una manera útil de visualizar la composición química de agua subterránea es a través de concentración relativa de los elementos en función de los “sólidos totales disueltos” (STD). Lo que corresponde a la suma de los compuestos presentes en las muestras (cationes y aniones) determinados en los análisis de laboratorio. En la Figura 6.7 se muestran los gráficos de los elementos mayores en función del STD.

Los gráficos permiten distinguir dos grupos de muestras: Un primer grupo con concentraciones de STD menores, alrededor de 250 ppm, y un segundo grupo con concentraciones de STD mayores de alrededor de 350 ppm. El grupo de menor concentración corresponde a los pozos V2, V44 y V8 que se ubican más cercanos a la zona de recarga (Figura 6.4 y Figura 6.7) mientras que el grupo de mayor concentración

corresponden los pozos ubicados en la zona de confluencia del flujo subterráneo. A continuación, se describen los resultados por elemento.

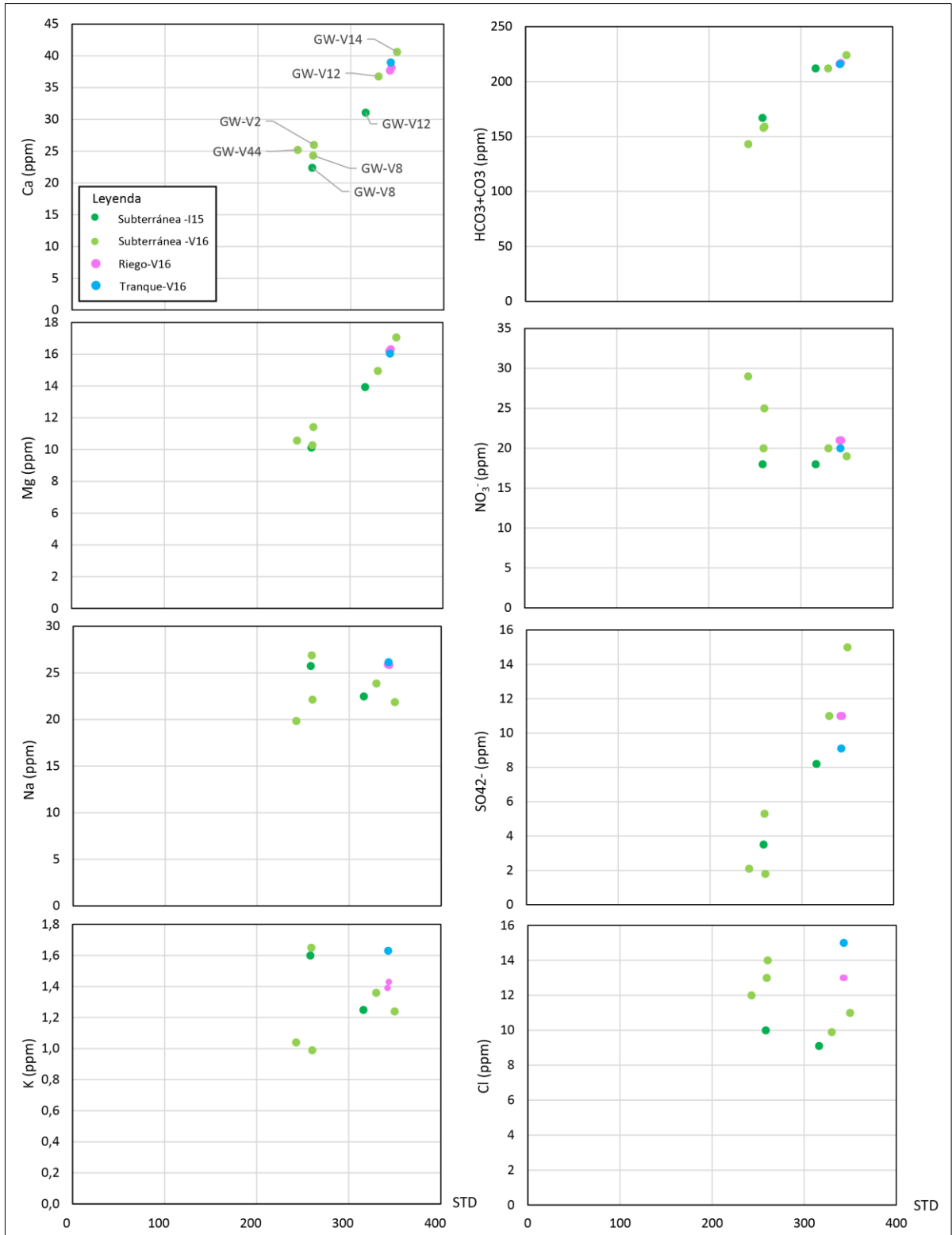


Figura 6.7: Concentraciones relativas de cationes y aniones en función del STD para las distintas muestras.

Bicarbonato: Las aguas de la cuenca están caracterizadas como “bicarbonatadas” por lo que este compuesto es de importancia para entender los procesos hidrogeoquímicos en la cuenca. Su concentración varía entre 143 y 224 ppm y cuenta con una buena correlación con el sulfato, calcio, magnesio y conductividad eléctrica. Además, se observa un aumento del HCO_3 en el sentido del flujo.

Calcio: El calcio es el catión dominante cuya concentración varía de 20 a 45 ppm, y su concentración aumenta con el STD. Se observa una buena correlación con el magnesio, bicarbonato, sulfato y estroncio.

Magnesio: Las concentraciones varían entre 10 y 18 ppm, tiene correlación positiva con el STD y a su vez con el bicarbonato, calcio, sulfato y estroncio.

Sodio y potasio: Las concentraciones de estos iones están más acotadas, varían entre 20 y 27 ppm para el sodio y entre 1 y 18 ppm en el caso de potasio. Ambos cationes tienen buena correlación entre ellos. La correlación del potasio con el fosfato es menor (0,57) y negativa con el nitrato (-0,66). Las aguas del pozo V8 son las con mayor concentración de potasio, lo que podría deberse a la cercanía del pozo con la mayor distribución de diques aplíticos, caracterizada por altas concentraciones en K y Na.

Nitratos: Las concentraciones fluctúan entre 15 y 30 ppm, cuyas concentraciones más altas corresponden a los pozos más cercanos a la zona de recarga. La concentración del nitrato en el resto de los pozos es relativamente constante. Se observa una correlación negativa con la conductividad eléctrica (-0,73), asociada probablemente a procesos de nitrificación.

Cloruros: La concentración del ion en las muestras varía entre 8 y 16 ppm. Las muestras tienen un rango más acotado de concentración, esto puede deberse a que el cloro es un ion conservativo. Los valores más bajos corresponden a las muestras de invierno. Los únicos elementos con los cuales tiene correlación positiva es con Cu (0,64) y menor con Br (0,54). Las muestras de agua de riego y de tranque son las que poseen las mayores concentraciones de cloruro. Posiblemente se deba a los procesos de evaporación del tranque.

Sulfatos: Las concentraciones del anión en las muestras de agua varían entre 2 y 16 ppm. Es el elemento con mayor variabilidad y se correlaciona positivamente con la

conductividad eléctrica. Se observa que la concentración del sulfato aumenta relativamente rápido con el aumento del STD. Las muestras en el centro del valle son las que tienen mayor concentración del anión.

Sílice: Las concentraciones del sílice fluctúan entre 20 y 30 ppm. No se observa buena correlación con el STD, ya que muestras con valores de STD similares poseen concentraciones de sílice distintas. A partir de la matriz de correlación se observa que tiene una correlación positiva con estroncio (0,68), lo que podría indicar una fuente común de los iones tal vez la hidrolisis de plagioclasas.

6.1.4. Elementos menores y trazas

En la Figura 6.8, se muestra el gráfico de las concentraciones de todos los elementos menores y trazas presentes en las aguas subterráneas, lluvia, irrigación y tranque. En las muestras, los elementos fosforo, estroncio y zinc están presentes como elementos menores. Particularmente, se miden altas concentraciones de zinc en las muestras de lluvia y tranque.

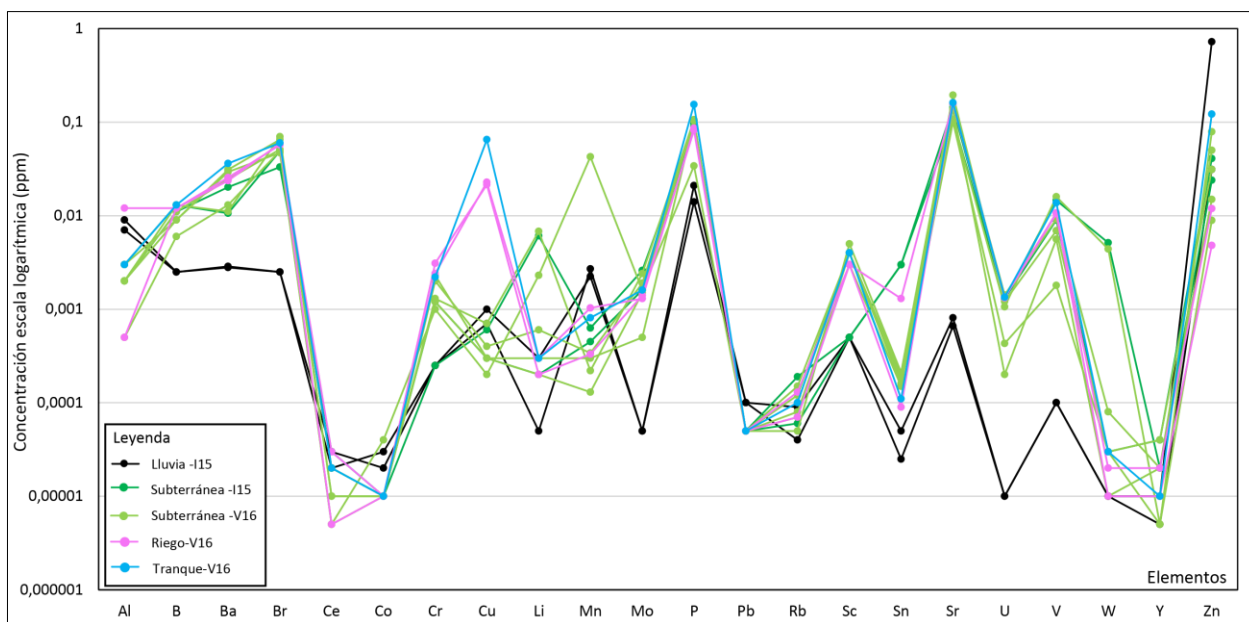


Figura 6.8 : Gráfico de los elementos traza en las muestras de agua subterránea, lluvia, riego y tranque.

El agua lluvia contiene en general concentraciones más bajas de elementos químicos que las aguas subterráneas, riego y tranque, como es de esperarse. Sin embargo en los elementos Al, Ce, Co, Cu, Mn y Zn el agua de lluvia está enriquecida con respecto a las aguas subterráneas.

Las muestras de agua del tranque e irrigación generalmente están enriquecidas en casi todos los elementos y esto se observa particularmente alto en el caso del cobre.

En general, las muestras de agua subterránea siguen un patrón similar; las mayores diferencias se observan en el Cr, Cu, Li, Mn y Mo, donde se observa una mayor variabilidad en la concentración de los elementos.

En la Figura 6.9, se grafica la variación de los elementos trazas, en pozos donde se tomaron muestras en invierno y verano. A grandes rasgos se observa un aumento de Br, Cr, Sc y Zn en verano, además del aumento del SO_4^{2-} , visto anteriormente en el diagrama de Schöeller (Figura 6.6). En contraste se observa una disminución de Ce, Mn, Sn e Y en el verano.

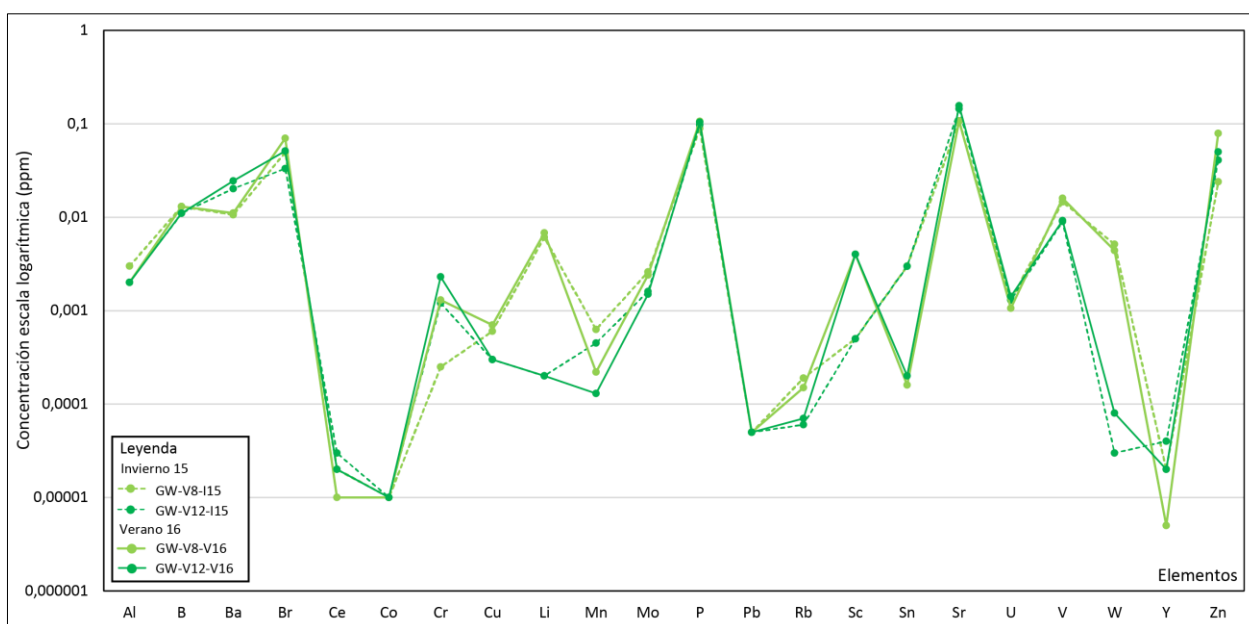


Figura 6.9: Variación de los elementos trazas en los pozos donde se tomaron muestras en verano e invierno.

6.1.5. Índices de saturación

El cálculo del índice de saturación mineral (IS) se realizó mediante el software GWB, el cual calcula el IS para una batería de minerales. El IS se define como

$$SI = \log\left(\frac{IAP}{K_{sp}}\right)$$

Donde IAP es el producto de la actividad iónica y K_{sp} es la constante del producto de las solubilidades. Para el análisis de los índices de saturación mineral se consideraron solamente los minerales que cumplían las siguientes condiciones: minerales que se

encuentran en las rocas y en las muestras de suelo y minerales que tienen un alto índice de saturación, mayor a 1.

Los resultados de todos los minerales analizados se encuentran en los **Anexo 4.13**. En el gráfico de la Figura 6.10 se grafican los IS de las muestra, se observa que todas las muestras están subsaturadas con respecto a anortita, yeso, halita y epidota. Los minerales en equilibrio corresponden a la calcita, cuarzo y albita; finalmente, los minerales sobresaturados en todas las muestras son el feldespato potásico y fosfatos como whitlockita e hidroxiapatito.

Cabe destacar que algunos minerales muestran diferentes índices de saturación mineral entre las muestras de las campañas de verano e invierno. En específico los minerales illita y caolinita están sobresaturados durante el invierno, pero en verano se encuentran en equilibrio. Lo contrario se observa para las esmectitas ricas en Mg y la sepiolita (filosilicato), los cuales están subsaturados o en equilibrio durante invierno, en cambio durante el verano, se encuentran sobresaturados. Esta diferencia puede relacionarse al aumento del magnesio en el agua subterránea durante el verano (Figura 6.6), el cual podría favorecer la formación de arcillas ricas en Mg, por sobre la illita y caolinita.

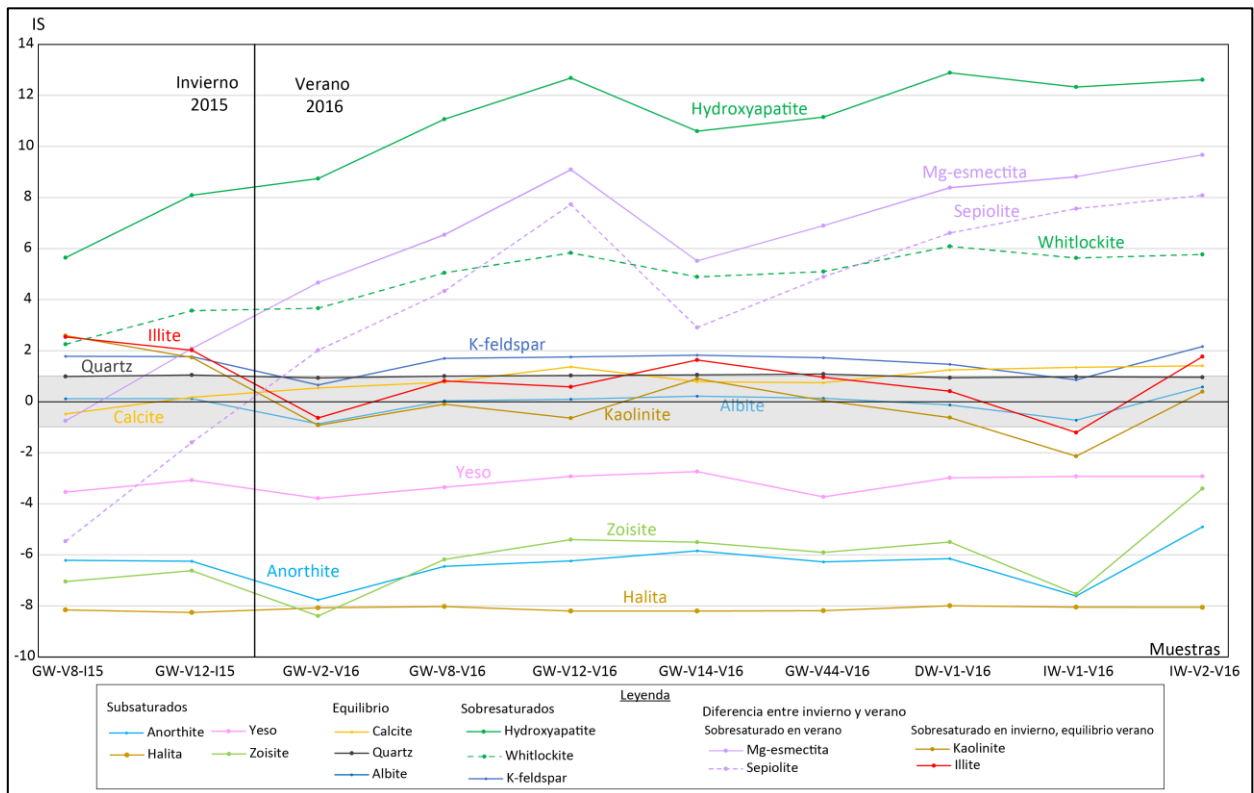


Figura 6.10: Gráfico del índice de saturación mineral en las muestras de agua de la viña de Casablanca.

6.1.6. Norma de calidad de agua viña de Casablanca

6.1.6.1. Agua potable

La norma de calidad de agua potable chilena NCH 409/1, limita la concentración de algunos elementos químicos, así como las condiciones fisicoquímicas del agua para el que sean aptas para el consumo humano.

Se compararon las concentraciones de los elementos, STD y pH con la norma de consumo de agua potable. De acuerdo a la norma, todas las muestras de agua cumplen con la norma de elementos químicos (sulfato, cloruros, nitratos, Mg, As, Cr, Cu, Fe, Mn, Pb, Se, V, Zn). Los sólidos disueltos del agua para consumo humano deben ser menores a 1500 mg/L, en la viña de Casablanca la muestra con mayor STD tiene un valor de 350 mg/L por lo que todas las muestras cumplen con la norma. De acuerdo a la indicación sobre el pH, este debe estar comprendido entre 6,5 y 8,5. Las muestras de agua tienen pH comprendidos entre 7,34 y 8,95, por lo tanto, solo 3 muestras están en norma y corresponden a las muestras de agua subterránea del invierno (GW-V8-I15 y GW-V12-V16) y solo un pozo en verano (GW-V14 -V16).

Finalmente, el análisis entregó que solo 3 muestras cumplen con la norma de agua potable, la cuales corresponden a las dos muestras de agua subterránea de invierno pertenecientes a los pozos 8 y 12 y a la muestra del pozo 14 de la campaña de verano.

6.1.6.2. Agua riego

También se realizó una comparación de las muestras con la norma de agua para riego NCh1333, la cual fija valores de pH, CE, sodio porcentual, RAS y concentraciones máximas de elementos.

Según la norma NCh 1333 de agua de riego en Chile, las aguas para riego deben tener un pH comprendido entre 5,5 y 9. El pH de todas las muestras de la zona de estudio se encuentran dentro la norma, con un promedio de 8,38, un máximo de 8,95 y mínimo de 7,34. Cabe destacar que el valor máximo determinado corresponde a la muestra del pozo 12, el cual pertenece a la viña, asimismo el agua de riego de la viña (IW-V1-V16 y IW-V2-V16) también tiene valores altos de pH 8,93 y 8,87, por lo que es recomendable realizar periódicamente mediciones de pH al agua para controlar no sobrepasar el límite de la norma.

Con respecto a la normativa de la conductividad eléctrica, las aguas se clasifican en 4 categorías de riesgo de acuerdo a la clasificación de la norma:

- C1 Bajo (0-250 uS/cm),
- C2 medio (250- 750 uS/cm),
- C3 alto (750-2250 uS/cm) y
- C4 muy alto (mayor a 2250 uS/cm).

Todas las muestras de agua se encuentran en la categoría de riesgo medio.

El sodio porcentual es la relación entre la concentración del ion sodio y la suma de las concentraciones de iones Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} y K^+ expresadas en meq/L, de acuerdo a la siguiente expresión:

$$\text{Na} (\%) = \frac{\text{Na}}{\text{Na} + \text{Ca} + \text{Mg} + \text{K}} * 100 \quad (5)$$

La irrigación con aguas ricas en sodio causa el intercambio catiónico con Ca y Mg, reduciendo la permeabilidad del suelo resultando en un suelo de drenaje pobre (Collins and Jenkins, 1996).

La norma chilena NCH1333 establece que el sodio porcentual debe ser menor al 35 %, en las muestras analizadas, los valores determinados varían entre 21,5 y 36%. El pozo V8 supera el límite permitido en la medición de verano e invierno.

Para prevenir la degradación que produce el sodio, se calcula el índice de la relación de Absorción de sodio (RAS), que representa el riesgo por del sodio o alkalis en el riego en términos del radio de absorción del sodio. Esta se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$\text{R.A.S} = \frac{|\text{Na}|}{\sqrt{\frac{1}{2} * (|\text{Ca}| + |\text{Mg}|)}}$$

El valor del RAS se clasifica en 4 clases:

- s1 (RAS<10)
- s2 (RAS entre 10-18)
- s3 (RAS entre 18-26)
- s4 (RAS>26)

En el área de estudio, todas las muestras se definen con un riesgo bajo (0-10) de acumulación de sodio.

En cuanto a la concentración de elementos, todas las muestras se encuentran en norma para todos los elementos. El cobre es el que se encuentra más cercano a la norma pero aun así, bajo el límite.

En resumen todas las muestras cumplen con la norma de riego a excepción de pozo V8, debido a un sodio porcentual sobrepasando la norma.

6.2. SAN ANTONIO

6.2.1. Ubicación de los puntos de muestreo

En la viña San Antonio se tomaron 9 muestras de agua, de las cuales 2 corresponden de agua lluvia, 6 de agua subterránea (2 pozos recolectados durante invierno y 4 durante verano) y una de agua del tranque. No se tomaron muestras de agua de riego debido a que el sistema de irrigación estaba averiado. En la Figura 6.11, se muestra la ubicación de los puntos de colección de las muestras de agua. Cabe destacar que los pozos C2 y C8 fueron muestreados en la campañas de invierno y verano y que el tranque es alimentado con aguas de los pozos C26 y C8.

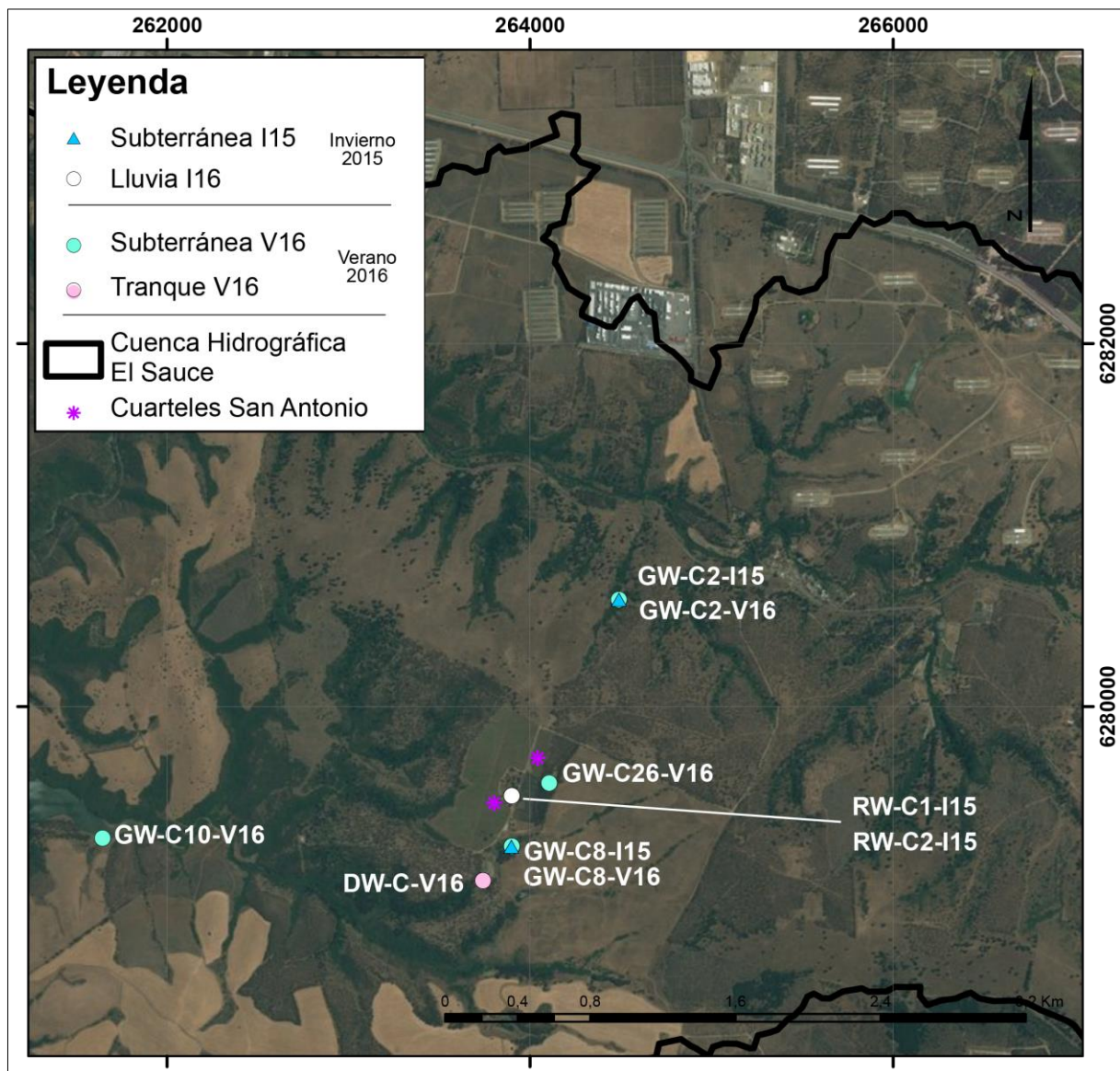


Figura 6.11: Ubicación de los puntos de medición fisicoquímica del agua.

6.2.2. Resultados químicos

La tabla con todos los resultados de fisicoquímica tomados en terreno y los datos entregados por el laboratorio que corresponden a elementos mayores, menores y trazas se encuentran en los **Anexo 4.3** y **Anexo 4.4**.

6.2.2.1. Correlación de datos

Se realizó una matriz de correlación considerando solo las muestras de agua subterránea y tranque (7 muestras), utilizando 40 variables entre elementos químicos y parámetros fisicoquímicos.

En la Tabla 6.3 se presenta la matriz de correlación simplificada considerando los elementos y parámetros fisicoquímicos que muestran mayores correlaciones. La matriz completa se encuentra en los **Anexo 4.10**.

Tabla 6.3: Matriz de correlación simplificada viña de San Antonio. En rojo se muestran los compuestos que tienen coeficientes de correlación mayores 0,9 y en verde mayores a 0,8.

	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Br	Cu	P	Si	Sr	Zn	CE	pH
HCO ₃ ⁻	1,00															
SO ₄ ²⁻	0,86	1,00														
Cl ⁻	0,78	0,94	1,00													
NO ₃ ⁻	0,83	0,54	0,42	1,00												
Ca ²⁺	0,89	0,96	0,97	0,57	1,00											
Mg ²⁺	0,93	0,94	0,90	0,71	0,93	1,00										
Na ⁺	0,95	0,93	0,92	0,73	0,98	0,97	1,00									
K ⁺	0,44	0,09	0,20	0,57	0,32	0,21	0,40	1,00								
Br	0,83	0,82	0,90	0,61	0,90	0,93	0,93	0,34	1,00							
Cu	-0,02	-0,09	-0,24	0,28	-0,15	-0,19	-0,10	0,29	-0,38	1,00						
P	0,77	0,98	0,93	0,45	0,94	0,87	0,88	0,06	0,75	-0,06	1,00					
Si	0,93	0,86	0,69	0,77	0,80	0,90	0,86	0,14	0,72	-0,06	0,78	1,00				
Sr	0,87	0,91	0,97	0,60	0,98	0,94	0,97	0,38	0,96	-0,18	0,87	0,74	1,00			
Zn	-0,61	-0,58	-0,40	-0,28	-0,53	-0,48	-0,50	0,03	-0,30	0,20	-0,55	-0,73	-0,36	1,00		
CE	0,91	0,94	0,94	0,66	0,97	0,98	0,98	0,27	0,95	-0,24	0,90	0,87	0,96	-0,52	1,00	
pH	-0,85	-0,72	-0,59	-0,53	-0,71	-0,75	-0,73	-0,14	-0,62	0,28	-0,61	-0,88	-0,62	0,88	-0,73	1,00

A partir de la matriz se observa que, en general, todos los elementos mayores tienen correlaciones altas entre ellos mismos, a excepción del NO₃⁻ y K⁺. Además los elementos mayores (HCO₃⁻, SO₄²⁻, Cl⁻, Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺) presentan buenas correlaciones con la conductividad eléctrica y con elementos menores como el bromo, fosfato, sílice y estroncio. Por otra parte se observa una baja correlación de Zn y sobre todo el Cu con el resto de los elementos

6.2.2.2. Parámetros fisicoquímicos

Al igual que en la viña de Casablanca se midieron los parámetros fisicoquímicos de las muestras de agua. En la Tabla 6.4 se presentan los resultados de las mediciones fisicoquímicas, cabe destacar que durante la campaña de invierno, en el pozo 10, se tomaron solamente datos fisicoquímicos del agua pero no se colectó una muestra para un análisis químico.

Tabla 6.4: Resultados fisicoquímicos de las muestras de agua de la viña de San Antonio.

Tipo	Campaña	Muestra	pH	T(°C)	CE(μS)	Eh
Lluvia	I15	RW-C2-I15	7,91	13,0	25	210
Subterránea	I15	GW-C2-I15	7,73	14,8	1115	217
		GW-C8-I15	7,57	13,3	742	219
		GW-C10-I16	7,13	7,5	1261	297
	V16	GW-C2-V16	7,65	17,7	1170	193
		GW-C8-V16	7,57	19,5	879	247
		GW-C10-V16	7,70	23,1	1078	297
		GW-C26-V16	7,96	22	455	259
Tranque	V16	DW-C-V16	10,04	21,4	286	136

pH

La Figura 6.12, gráfica los resultados del pH de ambas campañas. En general, se observa que el agua de tranque muestra un pH más alto (10,0) que las aguas subterráneas a pesar que el tranque se rellena con agua subterránea desde los pozos 26 y 8.

Las muestras de agua lluvia tienen un pH de 7,9. El tranque presenta un valor alto de pH, este se caracteriza por la presencia de una alta cantidad de materia orgánica, lo que junto a procesos de evaporación y precipitación, podría provocar un aumento del pH del agua. Las aguas subterráneas son neutras con un promedio de 7,6, un valor mínimo de 7,1 y un valor máximo de 8 (posiblemente debido a regulación del pH por carbonatos). No se observa gran variación de las aguas subterráneas entre invierno y verano.

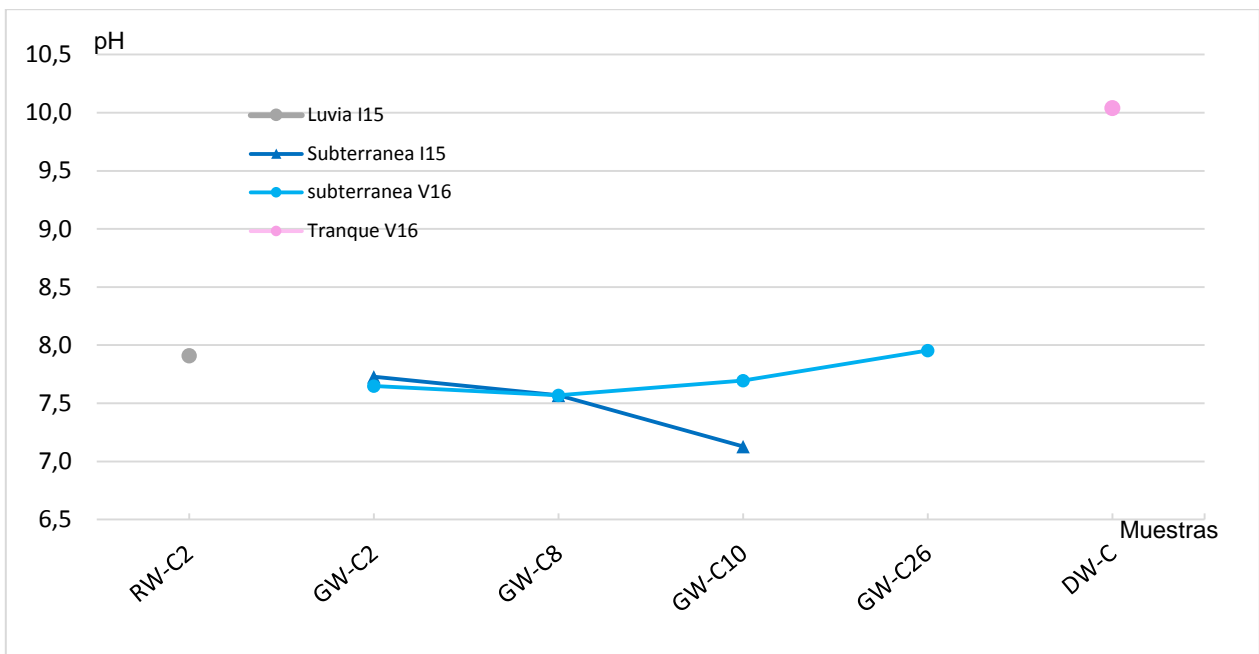


Figura 6.12: pH de las muestras de agua viña de San Antonio.

Conductividad eléctrica

La Figura 6.13 presenta los valores de la conductividad eléctrica (CE) para las aguas de la viña de San Antonio.

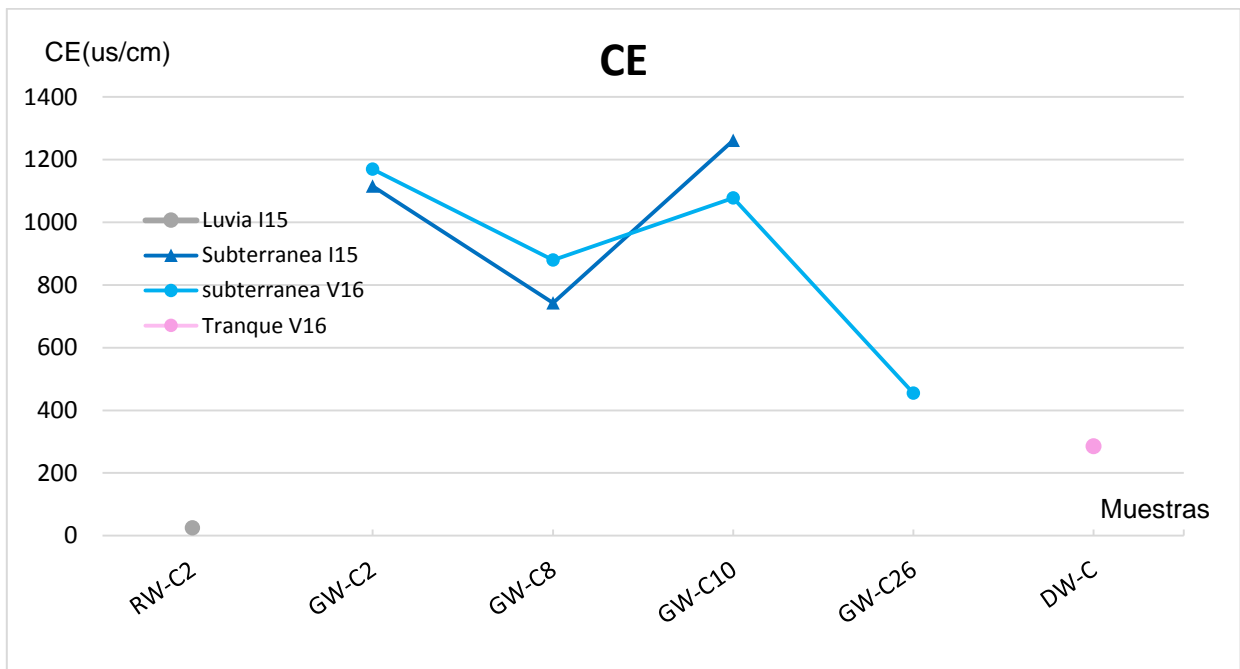


Figura 6.13: Gráfico de la conductividad eléctrica de las muestras de agua viña de San Antonio.

Como es de esperarse, el agua de lluvia presenta el menor valor de conductividad eléctrica. En el agua subterránea, a diferencia del pH, se observa una mayor variabilidad

en los valores de CE. Existe un leve aumento durante el verano para los pozos 2 y 8, sin embargo, en el pozo 10 ocurre lo contrario, donde la CE es mayor en invierno. El pozo 26 es el que presenta el menor valor de conductividad eléctrica. Las aguas del tranque muestran una menor CE que las aguas subterráneas, que se puede explicar por procesos de precipitación dentro del tranque.

Temperatura y potencial redox

Las temperaturas de las aguas no sobrepasan los 23°C. La temperatura más baja corresponde al muestreo del pozo C10 en invierno, el cual tiene una temperatura de 7,5°C. La razón de esta temperatura tan baja es que el muestreo se realizó temprano en la mañana.

Todas las muestras de la viña de San Antonio tienen Eh positivos lo que indica ambientes oxidantes, con un valor máximo de 297 mV en la muestra de invierno y verano del pozo C10, el valor mínimo corresponde al agua del tranque (136 mV), la cual podría tener condiciones más reductoras debido a que el agua se encuentra estancada.

6.2.2.3. Tipo de aguas

En la Figura 6.14 se muestra el mapa con la ubicación de las muestras junto a su respectivo diagrama Stiff.

Se observa que los diagramas indican una mayor variabilidad que en la viña Casablanca, en cuanto a cambios de STD y al tipo de agua. El anión predominante en todas las muestras corresponde al bicarbonato, a excepción del pozo C10, donde el cloruro es el anión principal. Para los cationes, el ion predominante corresponde al sodio en la totalidad de las muestras. Se distinguen dos grupos en cuanto a STD de las muestras: El pozo 26 y el agua de tranque tienen concentraciones de compuestos bastante menores que el resto de las muestras (366 y 215 ppm respectivamente).

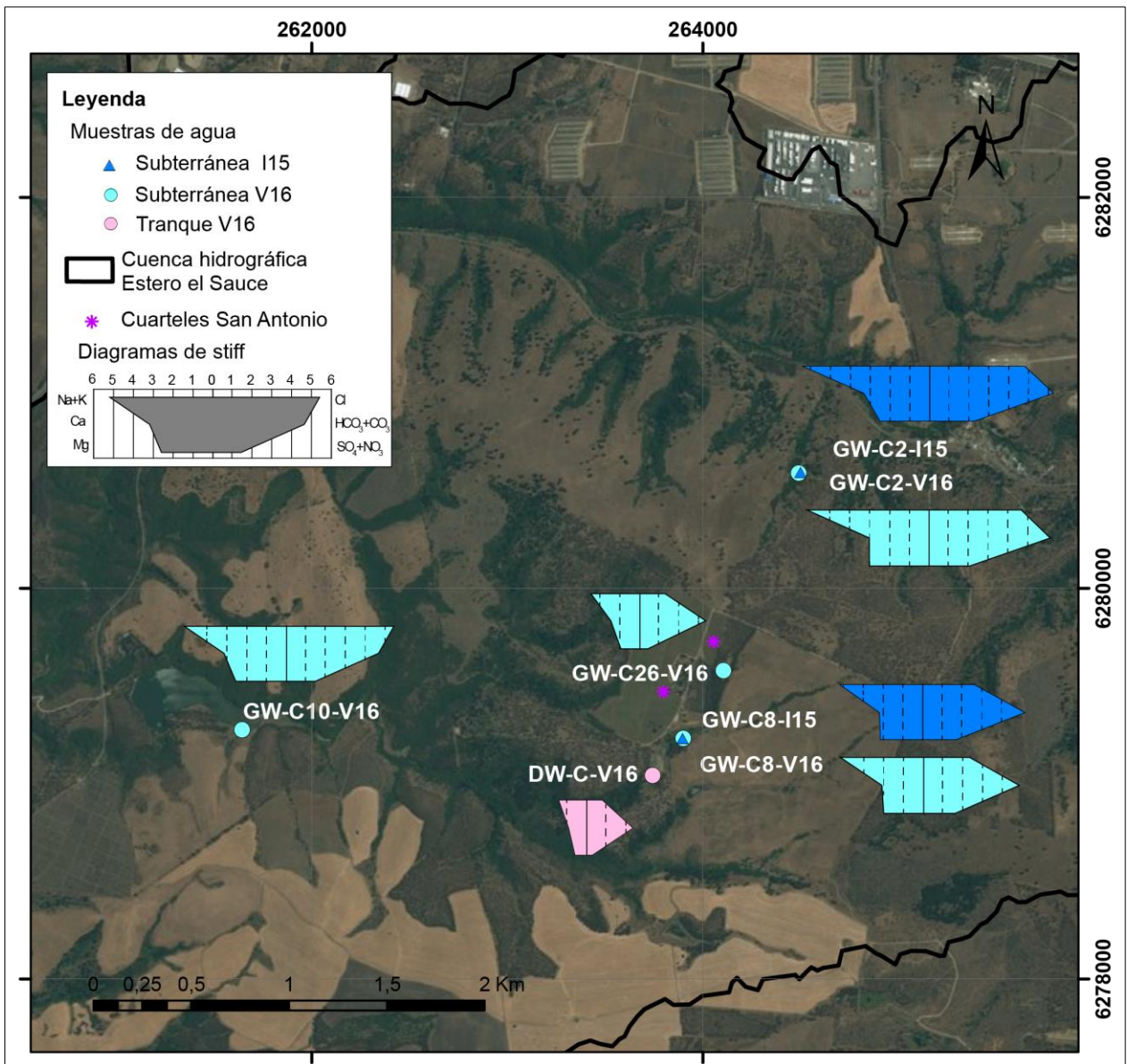


Figura 6.14: Mapa de ubicación de las muestras de agua subterránea y tranque. En azul oscuro las muestras de agua subterránea de I15, en calipso las aguas subterráneas de V16 y en rosado la muestra de agua de tranque.

De acuerdo a la clasificación de Piper (Figura 6.15), las muestras se clasifican como aguas bicarbonatadas sódicas-cálcicas y cloruradas sódicas-cálcicas.

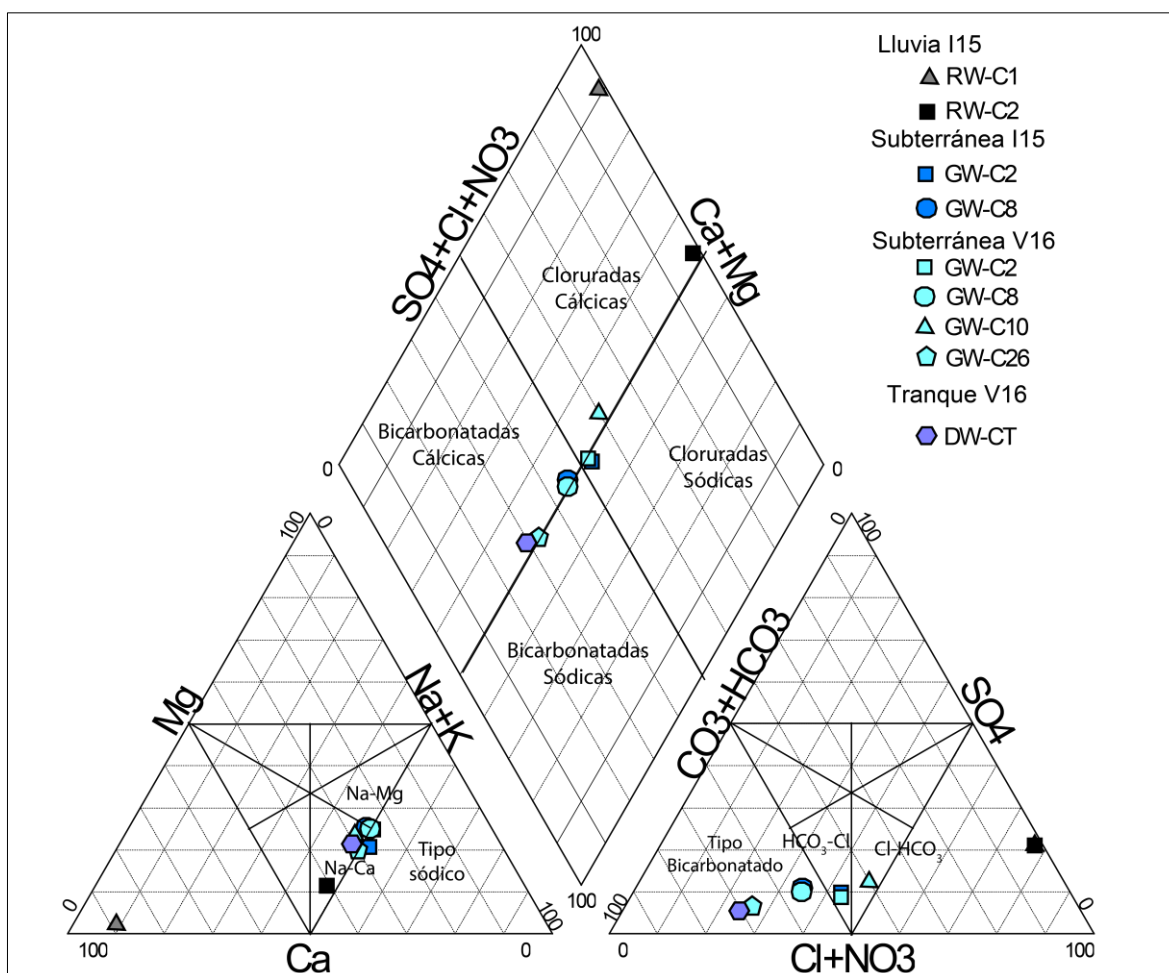


Figura 6.15: Diagrama Piper de las muestras de la viña de San Antonio.

Para distinguir los cambios composicionales entre las muestras y determinar las variaciones temporales, se utiliza el diagrama de Schoeller-Berkaloff de la Figura 6.16. Se observa que en general todas las muestras siguen un patrón similar: el Na^+ , seguido del Ca^{2+} , son los cationes dominantes, mientras el cloruro y bicarbonato corresponden a los aniones predominantes

Si bien el patrón es similar, la concentración de los iones es distinta en el caso del agua del tranque y del pozo C26, que presentan concentraciones menores en todos los iones frente al resto de los pozos. Los pozos C2 y C8, tanto en invierno como en verano, muestran un alto contenido de NO_3^- , en comparación al resto de las muestras. Entre ambas campañas, se observa en los pozos C2 y C8 una pequeña disminución en la concentración de Ca y de los aniones Cl y SO_4^{2-} . En cambio, el magnesio es el único catión que muestra un pequeño aumento en su concentración.

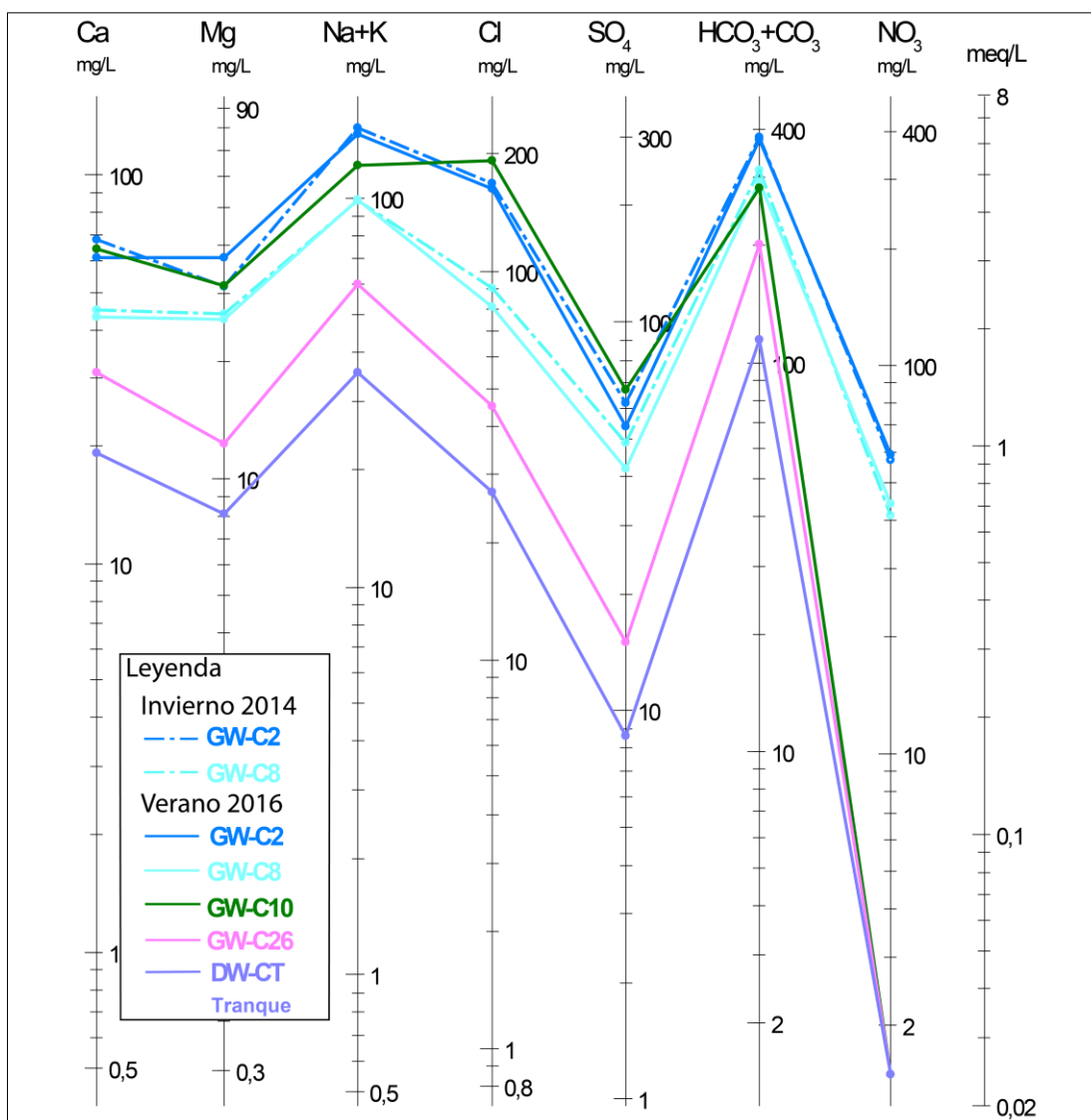


Figura 6.16: Diagrama Scholler-Berkaloff para la viña de San Antonio.

6.2.3. Elementos mayores

En los gráficos de la Figura 6.17 se muestran las concentraciones relativas de los aniones y cationes mayores con respecto al total de sólidos disueltos (STD).

Se observa que en general todos los elementos presentan correlación positiva con el aumento del STD, principalmente en sodio, magnesio y bicarbonato. Lo únicos elementos que no se correlacionan con el STD son el potasio y el nitrato. A continuación, se describe el comportamiento de cada elemento.

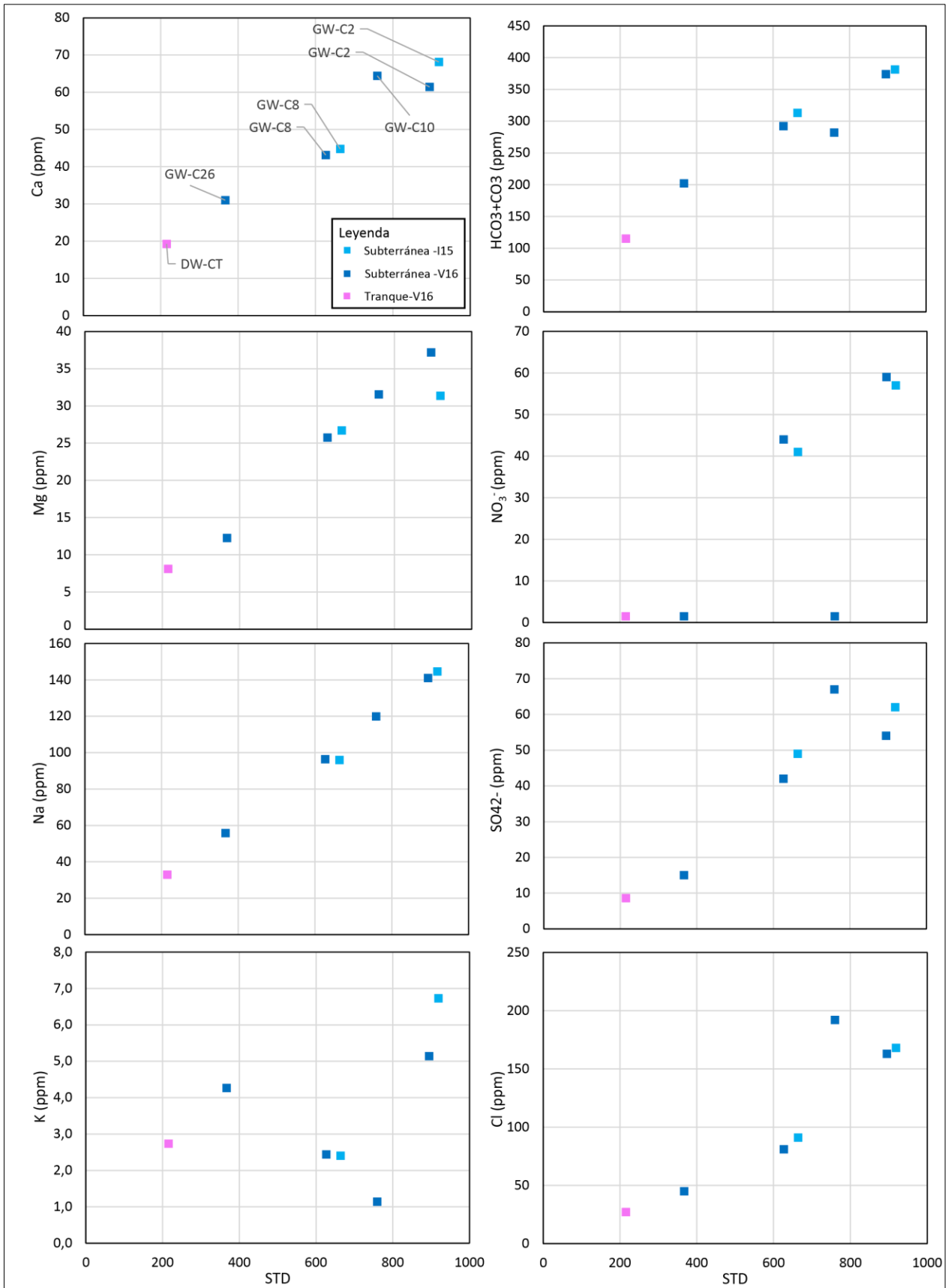


Figura 6.17: Concentración de elementos mayores con respecto al STD.

Bicarbonato: Las aguas subterráneas de San Antonio son clasificadas en su mayoría como bicarbonatadas. La concentración del anión tiene su valor más bajo en la muestra del tranque con 90 ppm y su valor más alto es de 381 ppm en la muestra del pozo C2. Tiene una alta correlación (mayor a 0,9) con el sodio, magnesio, selenio y sílice, mientras la correlación con sulfato, nitrato, bromo es buena (entre 0,9 y 0,8).

Sodio: El sodio es el catión dominante con concentraciones desde 32 a 145 ppm y posee correlaciones buenas con calcio, magnesio, selenio y sílice. Y en los aniones con bicarbonato, sulfato, cloro y bromo. Además muestra una alta correlación con los STD como se puede observar el gráfico de la Figura 6.17.

Cloruro: El cloruro es el segundo anión con mayor predominancia. Las concentraciones varían entre 192 ppm y 27 ppm. Se observa una buena correlación con el sulfato, calcio, magnesio, sodio, bromo y fosfato.

Calcio y magnesio: Ambos iones tienen un comportamiento similar, indicando buenas correlaciones con todos los iones mayores, además con sílice, bromo y fosfato, entre los más importantes. Excepciones de la correlación se observan con el nitrato y potasio. Las concentraciones de calcio fluctúan entre 19,3 y 68,2 ppm, mientras que las concentraciones del magnesio varían entre 8,1 y 37,2 ppm.

Sulfato: Presenta concentraciones entre 8,6 y 67 ppm y se caracteriza por una buena correlación con cloruro, calcio, magnesio y sodio (Tabla 6.3). En los pozos C8 y C2, que cuentan con muestra en ambas campañas, se observa una disminución de su concentración en el verano.

Potasio: El potasio se encuentra en menores concentraciones que el resto de los iones (máximo de 6,7 ppm, registrado en el pozo C2) y no muestra ninguna correlación importante con otros iones mayoritarios; la más significativa es con el nitrato (0,57). En cuanto a los elementos trazas muestra correlaciones importantes con el molibdeno (0,84) y con el uranio (0,83).

Nitratos: Se encuentran presentes en bajas concentraciones, sin embargo, en los pozos C2 y C8 tiene mayores concentraciones de hasta 59 ppm. El anión se correlaciona bien con el litio, sílice, selenio y bicarbonato.

Sílice: La concentración máxima de sílice es de 22 ppm. Se observa una correlación moderada con el STD, en tanto se correlaciona muy bien con el bicarbonato y magnesio (0,9).

6.2.4. Elementos menores y trazas

En la viña de San Antonio, se analizaron las muestras para un total de 25 elementos menores y trazas (los que pasaron el control de calidad). En el gráfico de la Figura 6.18 se presenta el diagrama spider de los elementos trazas y menores analizados. Los elementos bromo, fosforo y estroncio están presentes en el agua como elementos menores, mientras los elementos manganeso y hierro se presentan como elementos menores solo en la muestra C10 y en la muestra de tranque, respectivamente.

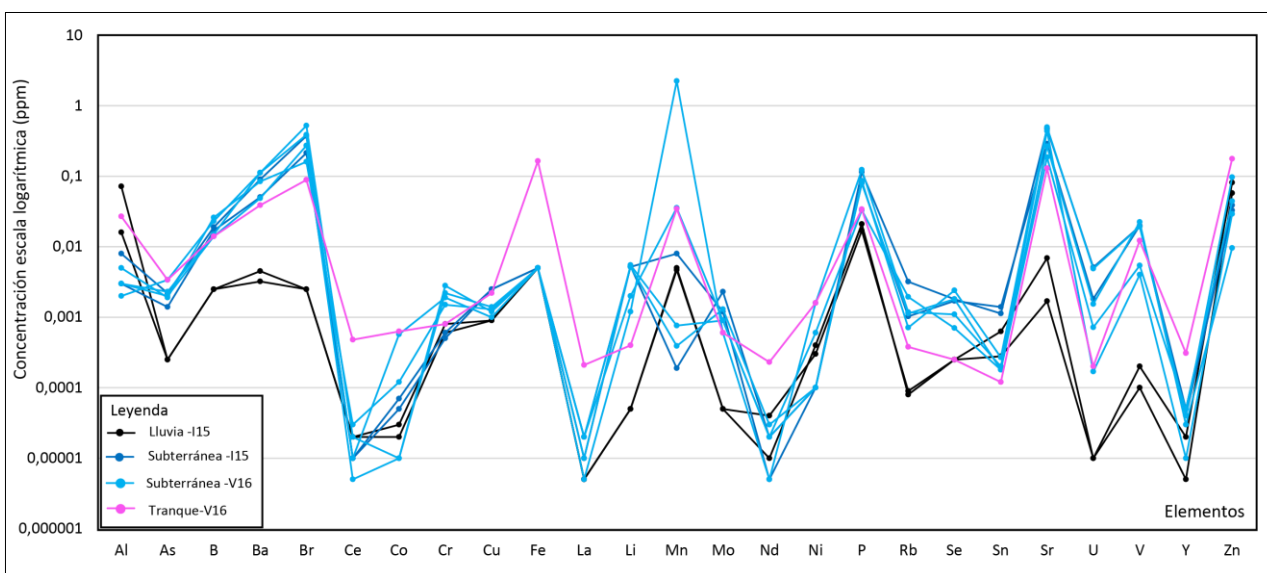


Figura 6.18: Gráfico de elementos traza en las muestras de agua subterránea, lluvia y tranque.

Las muestras de agua de lluvia poseen generalmente concentraciones menores que las muestras de agua subterránea y de tranque, a pesar de ello las muestras de agua de lluvia están enriquecidas con respecto al agua subterránea y de tranque en aluminio, manganeso, y zinc.

Las muestras de agua subterránea, siguen un patrón similar entre ellas. No obstante, se observa mayor variabilidad de la concentración en los elementos cobalto, manganeso, neodimio y selenio.

El agua de tranque, en general, se encuentra enriquecida con respecto al resto de las muestras lo que se puede asociar a los procesos de evaporación en el tranque y en

consecuencia a la concentración de algunos elementos trazas en el agua. El hierro y el zinc son los elementos de mayor concentración. Cabe señalar que el hierro se encuentra bajo límite de detección en todas las muestras a excepción de la de tranque.

Los cambios estacionales de la concentración de los elementos trazas y menores pueden observarse en la Figura 6.19. Los pozos no siguen un patrón similar como lo fue el caso de la viña de Casablanca, los cambios más significativos (de ambos pozos) entre la campaña de invierno y verano corresponden a una disminución del cobalto, cobre y estaño y a un aumento de cromo, durante el verano.

En específico el pozo C8 muestra una disminución importante de Mn, de casi un orden de magnitud, y un aumento de arsénico y neodimio de invierno a verano. El pozo C2 presenta una disminución de aluminio y rubidio y un aumento de cesio, manganeso y estroncio.

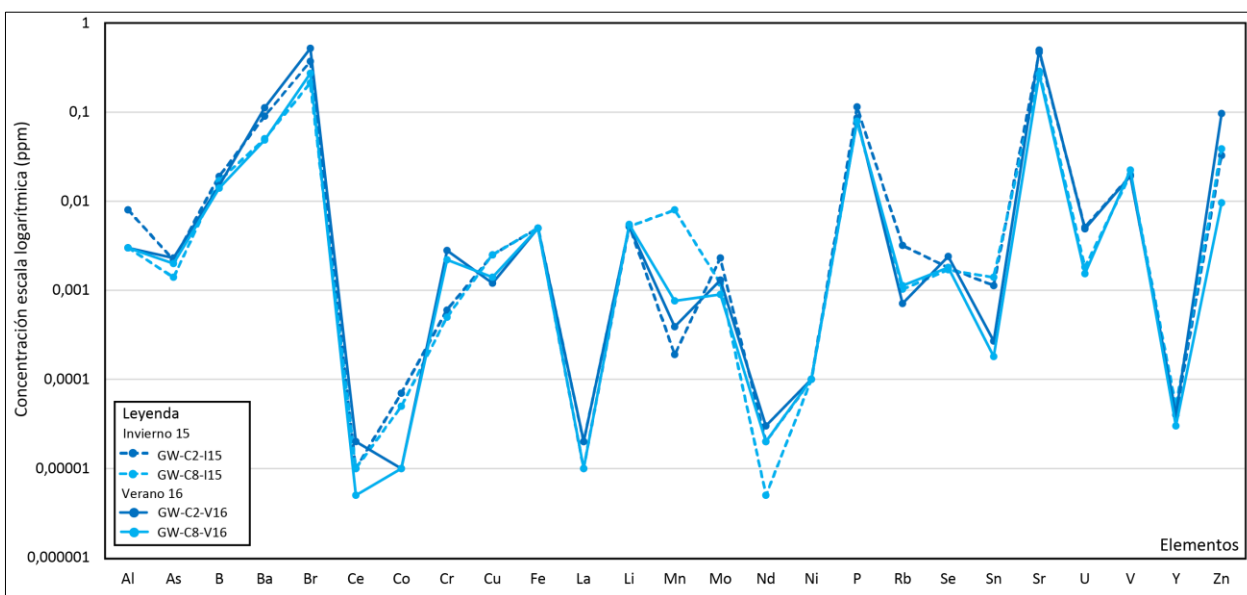


Figura 6.19: Gráfico de elementos trazas en los pozos donde se tomaron muestras en invierno y verano.

6.2.5. Índices de saturación

A partir del cálculo de los índices de saturación mineral para la zona de estudio, se determinó que varios de los minerales presentes en el material parental y en las rocas, se encuentran subsaturados en todas las muestras: anortita, biotita (annita), anfíbol (tremolita), halita, yeso, clorita (ripidolit- 7A) y epidota (zoisita). Por lo que se estima que la meteorización e hidrólisis de estos minerales sería la fuente de los iones en el agua.

En los **Anexo 4.14** se presentan los valores del IS para todas las muestras de la viña de San Antonio.

En la Figura 6.20, se muestran dos gráficos con el cálculo de índice de saturación. El gráfico A, indica que las muestras están en equilibrio con cuarzo, calcita y albite. Los minerales que se encuentran sobresaturados corresponden a óxidos de hierro, como hematita y magnetita, hidroxidos y, al igual que en la viña de Casablanca, fosfatos como whitlockita y hidroxiapatito.

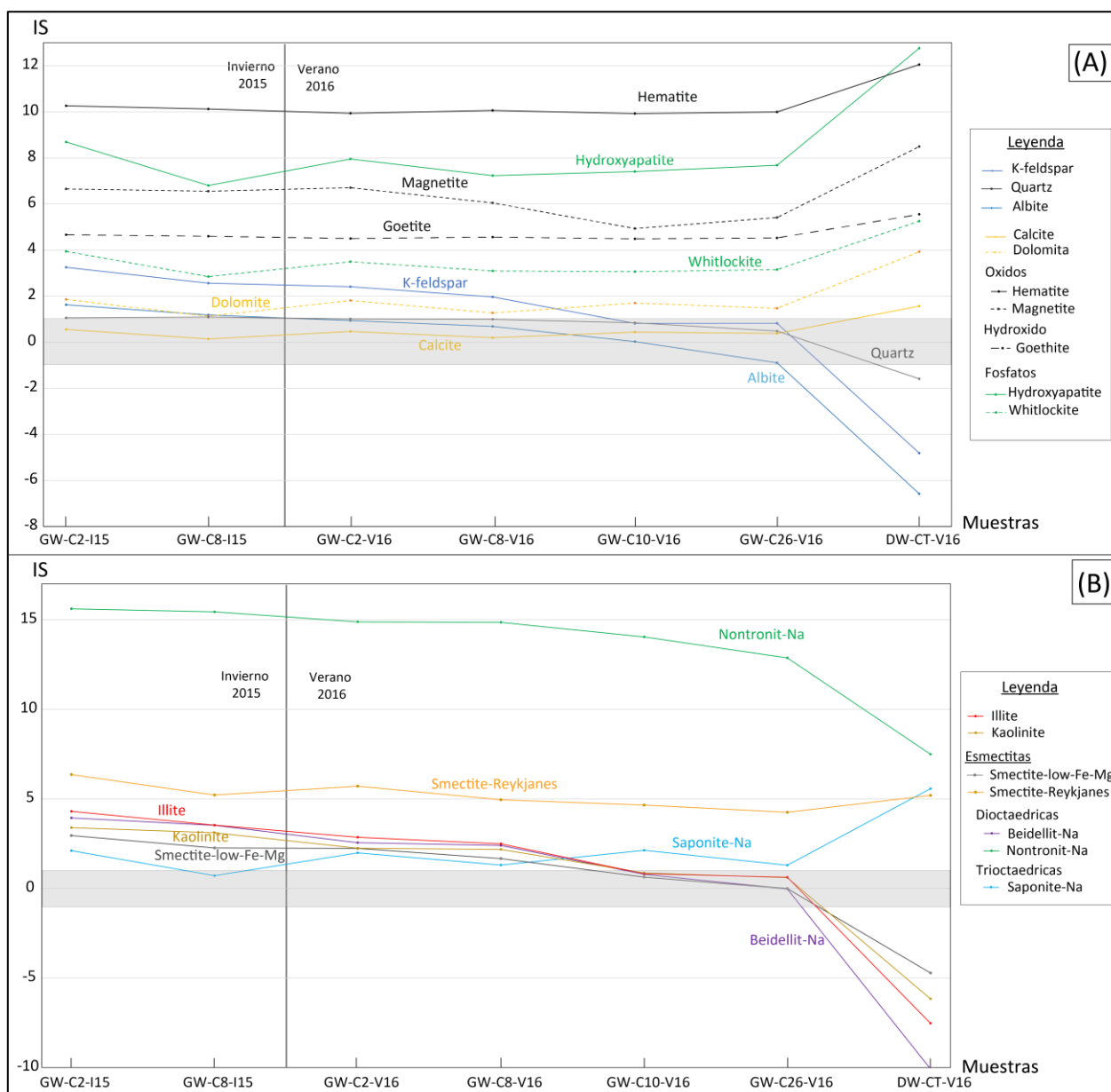


Figura 6.20: Cálculo de índice de saturación de la viña de San Antonio.

Cabe señalar que, en el control de calidad, se consideró el hierro aunque estuviese bajo límite de detección en todas las muestras a excepción del tranque. La ausencia de hierro en las muestras se explica por su baja solubilidad, por lo que tiende a precipitar.

En el gráfico B de la Figura 6.20 se observan los resultados del cálculo del índice de saturación del grupo de las arcillas. Ya fue mencionado que la clorita se encuentra subsaturada en todas las muestras, en cambio el resto de las arcillas están sobresaturadas en todas las muestras, a excepción de la muestra del agua de tranque donde la illita, caolinita y algunos tipos de esmectita están subsaturados.

6.2.6. Norma de calidad de agua viña de San Antonio

Al igual que en la viña de Casablanca se analizaron y compararon los resultados de los análisis con las normas de agua potable y agua de riego chilenas (NCh 409/1 y NCh 1333).

6.2.6.1. Norma NCh 409/1: Agua potable

Tres muestras no cumplen con el estándar de la norma de agua potable. Estas son ambas muestras del pozo C2 (invierno y verano), el pozo C10 y el agua de tranque. El pozo C2 se encuentra sobre norma en nitrato, el pozo C10 está sobre la norma en manganeso y, por último, el agua de tranque se encuentra sobre la norma debido a su alto pH.

6.2.6.2. Norma NCh 1333: Agua riego

Para la norma del agua de riego, ninguna muestra cumple con la norma esto debido a que el sodio porcentual es mayor al 35%.

En específico la muestra de tranque además no cumple la norma de pH ya que tiene un pH superior de 10,0. Por otro lado, en cuanto a la concentración de los elementos químicos, el pozo C10 contiene concentraciones sobre norma en el Mn y el pozo C2 tiene concentraciones muy cercanas al límite en Cl.

El cálculo del RAS clasifica las muestras de San Antonio como aguas de bajo riesgo y por conductividad eléctrica quedan en las categorías de riesgo medio a alto.

6.3. SANTA CRUZ

6.3.1. Ubicación de los puntos de muestreo

En el área de la viña de Santa Cruz, se tomaron un total de 11 muestras de agua: 1 muestra de lluvia, 1 muestra de agua de vertiente, 7 muestras de agua subterránea, 1 muestra de agua del tranque y 1 muestra de agua de riego. La Figura 6.21 presenta la ubicación de los puntos de muestreo. Es importante recalcar que el agua del tranque proviene de los pozos L1 y L2. Para realizar comparaciones estacionales (invierno-verano) se consideraran las muestras de invierno y verano en el pozo L9 y los pozos L1 (I15) y L2 (V16), debido a la cercanía y tratamiento de los pozos (ambos de la viña), ya que no se pudo muestrear el pozo L1 en verano debido a que la bomba estaba dañada.

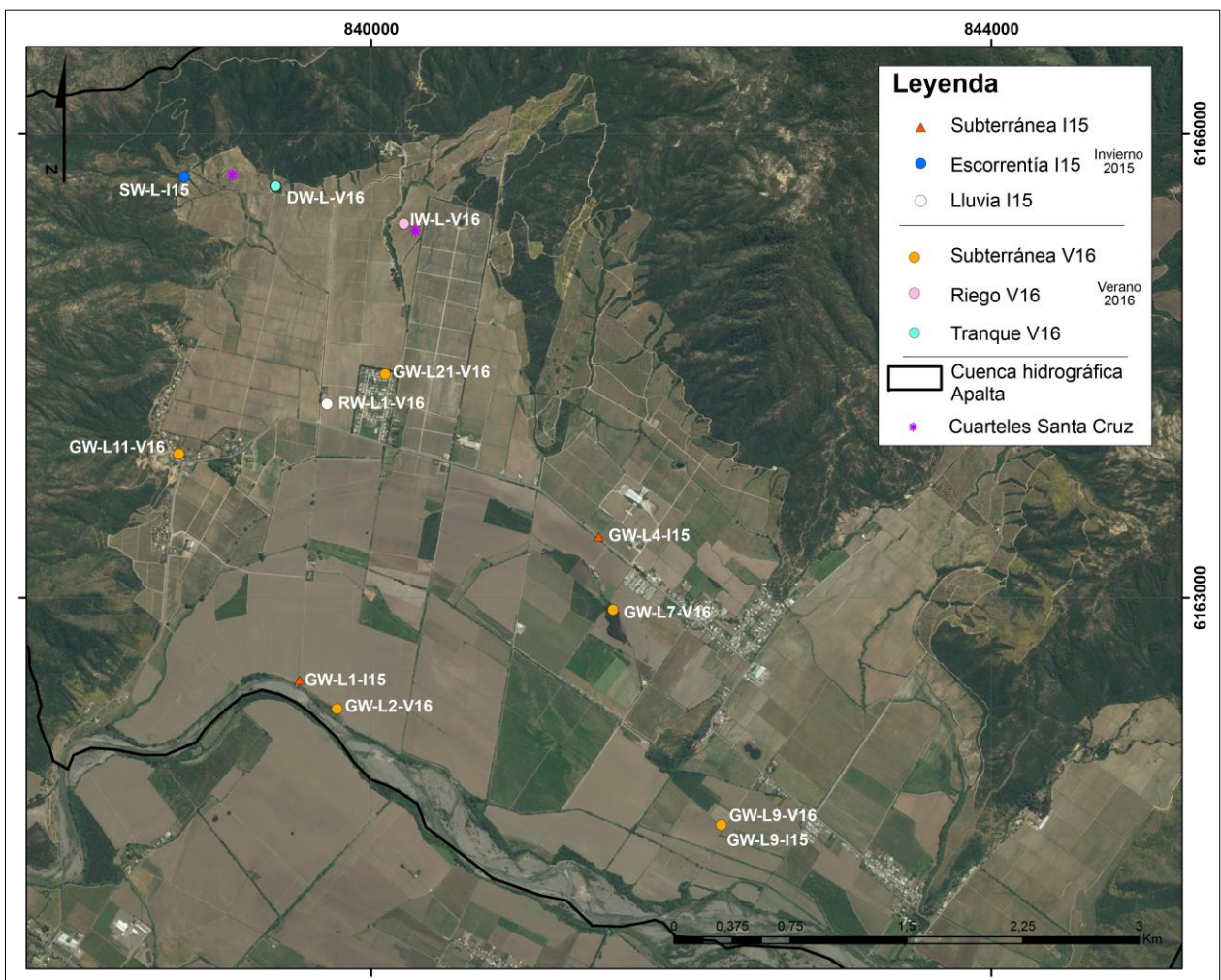


Figura 6.21: Ubicación geográfica de los puntos de medición química y fisicoquímica del agua.

6.3.2. Resultados químicos

La tabla con los resultados de las mediciones fisicoquímicas de terreno y los análisis químicos en laboratorio (elementos mayores, menores y trazas) se presentan en los **Anexo 4.5** y **Anexo 4.6**.

6.3.2.1. Correlación de datos

La Tabla 6.5 corresponde a la matriz de correlación simplificada de los elementos químicos analizados en laboratorio y los parámetros fisicoquímicos. Para la realización de la matriz se consideraron todas las muestras a excepción de la muestra de agua lluvia, por lo tanto, se realizó en 10 muestras para 37 variables. La matriz completa se presenta en los **Anexo 4.11**.

Tabla 6.5: Matriz de correlación simplificada de algunos elementos en la viña de Santa Cruz. En rojo variables con coeficientes mayores 0,9 y en verde mayores a 0,8.

	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	B	Ba	Br	Mn	Si	Sr	CE	pH
HCO ₃ ⁻	1															
SO ₄ ²⁻	0,40	1,00														
Cl ⁻	0,84	0,55	1,00													
NO ₃ ⁻	0,82	0,49	0,99	1,00												
Ca ²⁺	0,61	0,97	0,70	0,65	1,00											
Mg ²⁺	0,93	0,68	0,90	0,86	0,83	1,00										
Na ⁺	0,93	0,33	0,94	0,94	0,54	0,89	1,00									
K ⁺	-0,05	0,22	-0,38	-0,43	0,21	0,00	-0,34	1,00								
B	-0,02	0,86	0,06	0,00	0,74	0,27	-0,16	0,51	1,00							
Ba	0,72	0,30	0,89	0,92	0,48	0,71	0,88	-0,43	-0,17	1,00						
Br	0,69	0,24	0,85	0,89	0,43	0,67	0,82	-0,36	-0,20	0,89	1,00					
Mn	0,84	0,20	0,79	0,76	0,41	0,77	0,88	-0,19	-0,22	0,83	0,67	1,00				
Si	0,30	-0,34	-0,17	-0,20	-0,24	0,06	0,13	0,30	-0,32	-0,09	-0,28	0,31	1,00			
Sr	0,90	0,71	0,94	0,91	0,85	0,98	0,90	-0,10	0,28	0,79	0,71	0,77	-0,02	1,00		
CE	0,68	0,78	0,88	0,82	0,84	0,87	0,74	-0,19	0,40	0,64	0,57	0,62	-0,25	0,89	1,00	
pH	0,00	-0,11	-0,11	-0,15	-0,14	0,03	-0,03	0,12	-0,05	-0,34	-0,33	-0,05	0,21	-0,09	0,06	1,00

Las correlaciones que se aprecian son: fuerte correlación del bicarbonato con el sodio, magnesio y estroncio así como también entre sulfato y calcio. En los aniones se observa que el cloro tiene buena correlación con nitrato, magnesio y sodio. Considerando los parámetros fisicoquímicos, se determina que la conductividad eléctrica muestra una buena correlación con el cloro, nitrato, calcio, magnesio y estroncio.

6.3.2.2. Parámetros fisicoquímicos

Los resultados de las mediciones fisicoquímicas de las muestras de agua se presentan a continuación en la Tabla 6.6. Cabe señalar que en el pozo L9 se realizaron mediciones fisicoquímicas en invierno pero no se tomó muestra para análisis químico.

Tabla 6.6: Resultados fisicoquímicos de las muestra de agua de la viña de Santa Cruz.

Tipo	Campaña	Muestra	pH	T(°C)	CE(μS)	Eh
Lluvia	I15	RW-L1-I15	7,70	16,3	91	249
Escorrentía	I15	SW-L-I15	8,50	10,8	369	216
Subterránea	I15	GW-L1-I15	7,47	13,2	308	216
		GW-L4-I15	7,56	12,9	147	207
		GW-L9-I16	7,99	12,3	487	657
	V16	GW-L2-V16	8,3	16,25	308	244
		GW-L7-V16	7,23	14,4	295	281
		GW-L9-V16	7,2	16,8	534	262
		GW-L11-V16	6,84	21,2	185	288
GW-L21-V16	7,82	18	777	273		
Riego	V16	IW-L-V16	8,14	19,8	313	243
Tranque	V16	DW-L-V16	9,06	23,1	327	253

pH

El pH de las muestras de agua fluctúa entre 6,84 y 9,06. El valor más alto del pH corresponde a la muestra de agua del tranque. En cambio, la muestra del pozo L11 tiene el pH más ácido. El promedio del agua subterránea tiene un valor de 7,5 similar al valor del pH de la muestra de agua de lluvia. Por otro lado, el agua de vertiente tiene un pH más alto con un valor de 8,5. A diferencia de las viñas ya estudiadas, el rango del pH que presentan las muestras de aguas subterráneas es mayor.

En la Figura 6.22, se observan los cambios estacionales del pH en las muestras de agua, las variaciones (invierno-verano) del agua subterránea en las muestras L1 y L9 no siguen un patrón en específico. En los pozo L1 y L2 se produce un aumento del pH hacia el verano, en cambio en el pozo L9 existe una disminución.

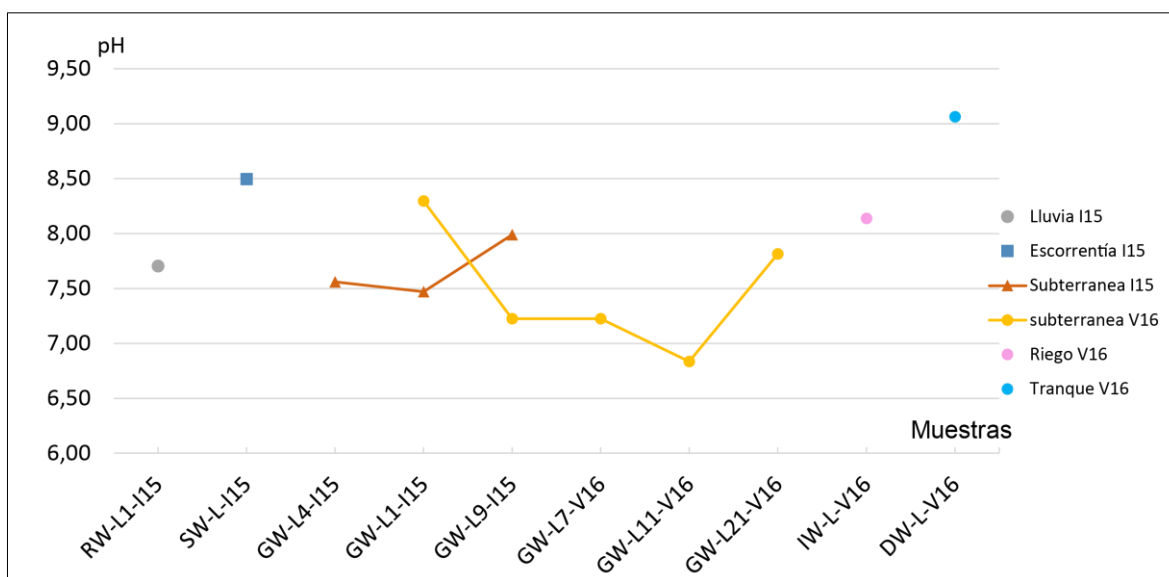


Figura 6.22: Gráfico de los cambio de pH en las muestras de agua.

Conductividad eléctrica

En la Figura 6.23 se presentan los valores de la conductividad eléctrica de las aguas de la viña de Santa Cruz. Como es de esperarse, la muestra de agua de lluvia posee la menor conductividad eléctrica.

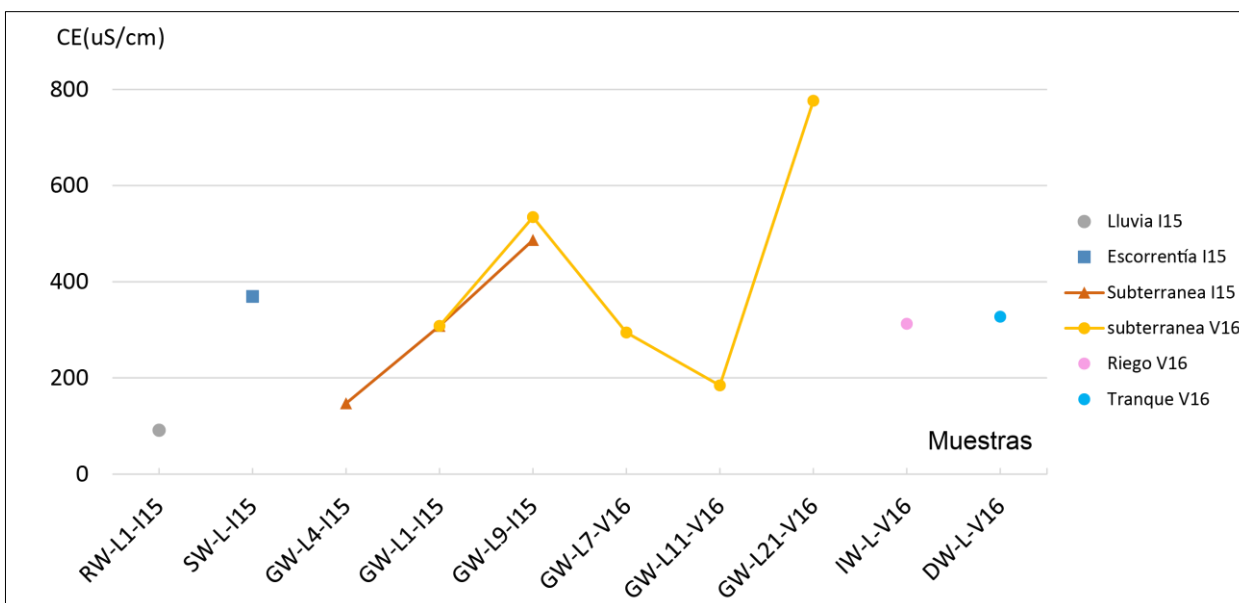


Figura 6.23: Gráfico de la conductividad eléctrica de las muestras de la viña de Santa Cruz.

La CE de las muestras de agua de riego y tranque muestran valores similares, los que a su vez son análogos con los valores del agua del pozo L1 y L2, que corresponden a los pozos con los que se alimenta el tranque. La conductividad eléctrica de la muestra del pozo L21, destaca debido a su alta conductividad eléctrica, la cual es bastante mayor que

el promedio de las aguas subterráneas. Por último, se observa el agua de escorrentía tiene una CE de 369 us/cm, mayor a los valores de agua de lluvia y en el rango de CE de las aguas subterráneas.

Temperatura y potencial redox

Las temperaturas de las aguas no sobrepasan los 23,1°C valor que corresponde al agua del tranque.

Todas las muestras, al igual que en las otras viñas, tienen Eh positivos, lo que indica ambientes oxidantes. Se observa que el pozo L9 tiene un valor excesivamente alto (656 mV) con respecto a los otros pozos con valores de aproximadamente 250 mV.

6.3.2.3. Tipo de agua

Los diagramas de Stiff se presentan junto a la ubicación del pozo y/o punto de muestreo en la Figura 6.24. Se desprende de ellos que, a diferencia de las viñas ya estudiadas, los diagramas poseen formas disímiles, estos varían tanto en forma como en tamaño, es decir en concentración e iones predominantes. Sin embargo, existen similitudes entre algunas muestras. En la mayoría de las muestras, el bicarbonato es el anión predominante a excepción de la muestra del pozo L9, que tiene al sulfato con anión principal. En los cationes se observa que el calcio es el catión predominante, aunque en algunas muestras (L9, L4 y L7) la concentración de Na y K sobrepasan la concentración del calcio, volviéndose predominantes.

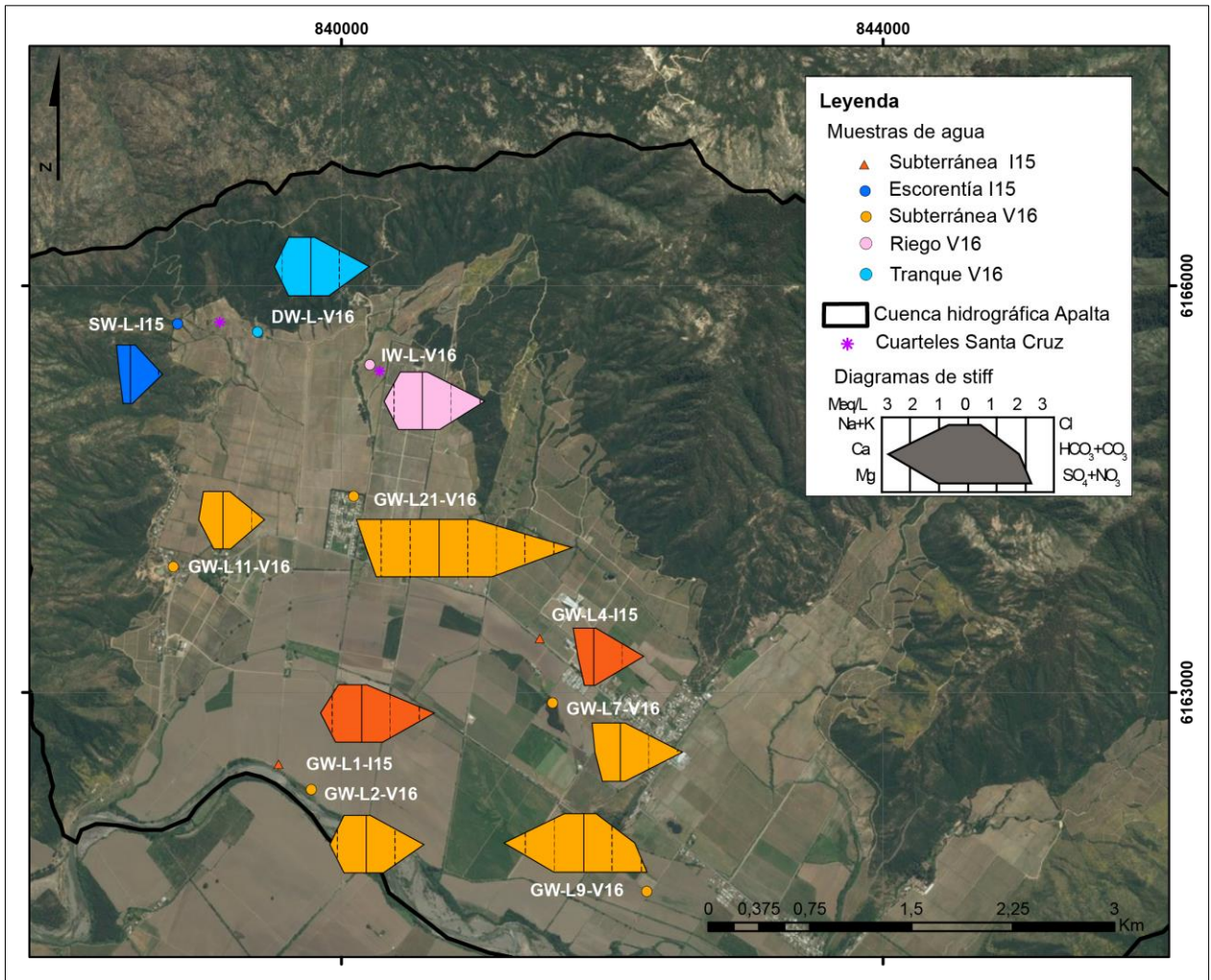


Figura 6.24: Mapa de ubicación de las muestras de agua subterránea, escorrentía, riego y tranque junto al diagrama de Stiff correspondiente.

De acuerdo al diagrama de clasificación de Piper (Figura 6.25) las muestras se ubican en el campo de las aguas bicarbonatadas cálcicas y/o magnésicas sódicas, y la muestra del pozo L9 se clasifica como sulfatada cálcica.

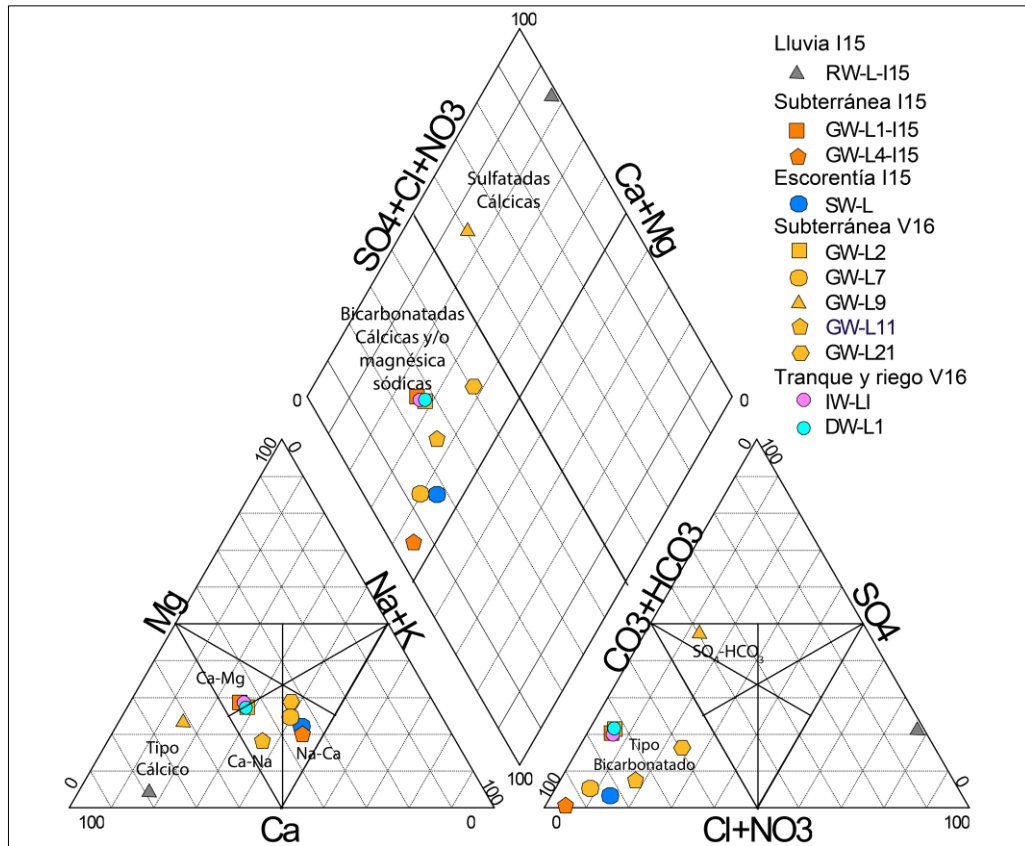


Figura 6.25: Diagrama de piper de las muestras de agua de la viña Santa Cruz.

A partir del diagrama de Schoeller-Berkalof (Figura 6.26), se nota que las muestras no tienen un patrón regular, como es en el caso de las viñas ya estudiadas. En general, el comportamiento de las muestras, en los cationes, tienen un patrón similar entre muestras a excepción de los pozos L9 y L21, por el contrario el comportamiento de los aniones se observa con mayor variabilidad, sobre todo en los aniones cloruro, sulfato y nitrato.

Como fue mencionado anteriormente la muestra del pozo L21, presenta un valor de conductividad eléctrica muy alto en comparación al resto de las muestras, lo que se ve reflejado en el diagrama de Schoeller-Berkalof, en el cual la muestra presenta mayor concentración en casi todos los elementos. La muestra L21, proviene de una noria que se ubica dentro de una villa, por lo que se estima que el agua pueda estar contaminada por desechos proveniente desde las casas del sector.

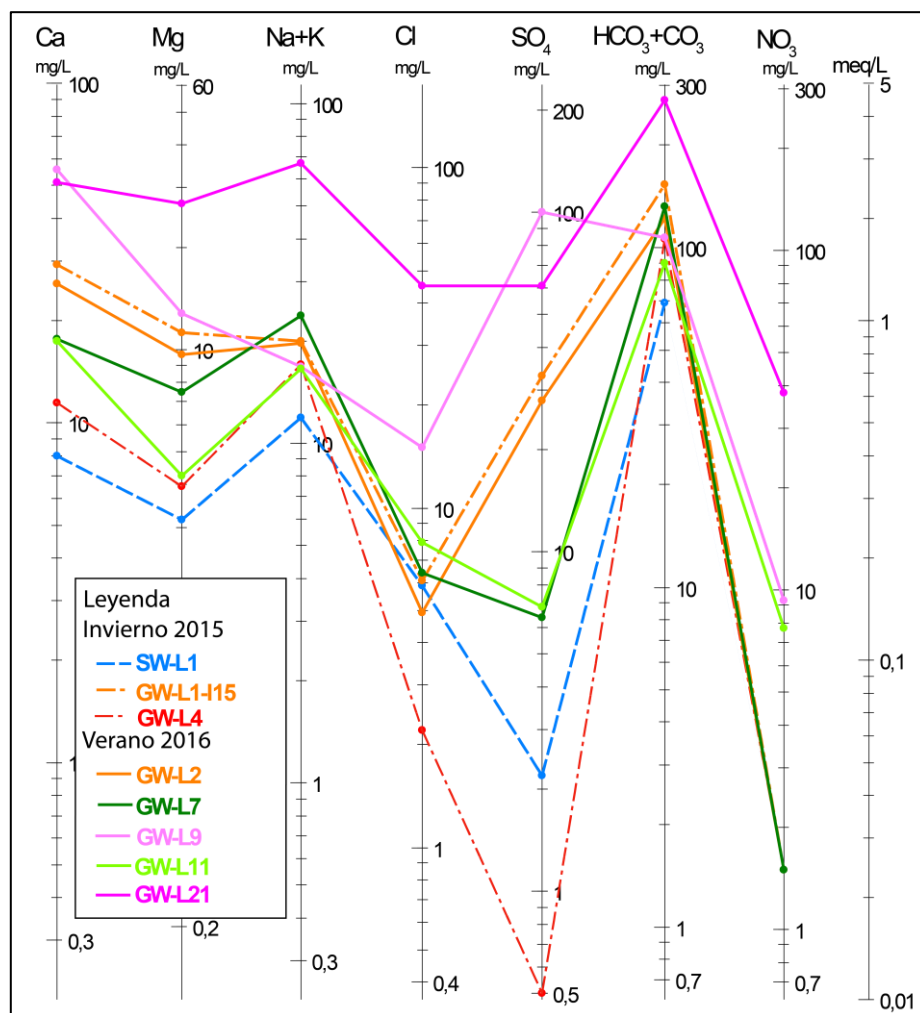


Figura 6.26: Diagrama Scholler-Berkalof, muestra el patrón de la concentración de elementos mayores.

6.3.3. Elementos mayores

En los gráficos de la Figura 6.27 se muestran las concentraciones relativas de los aniones y cationes con respecto al total de sólidos disueltos. En general, no se observan correlaciones buenas de los elementos con el STD, a diferencia de las viñas ya estudiadas.

Bicarbonato: Corresponde al anión mayoritario en las muestras, su concentración fluctúa entre 69 y 262 ppm. La concentración del ion tiende a aumentar con STD y presenta buena correlación con magnesio (0.93), sodio (0.93), cloro (0.84), nitrato (0.82) y estroncio (0.90).

Sulfato: Las concentraciones del ion van desde los 0,5 a 100 ppm, y tiene alta variabilidad en las muestras llegando a ser predominante sobre el bicarbonato en la muestra GW-L21. El anión presenta alta correlación con Ca (0,97) y con boro (0.83).

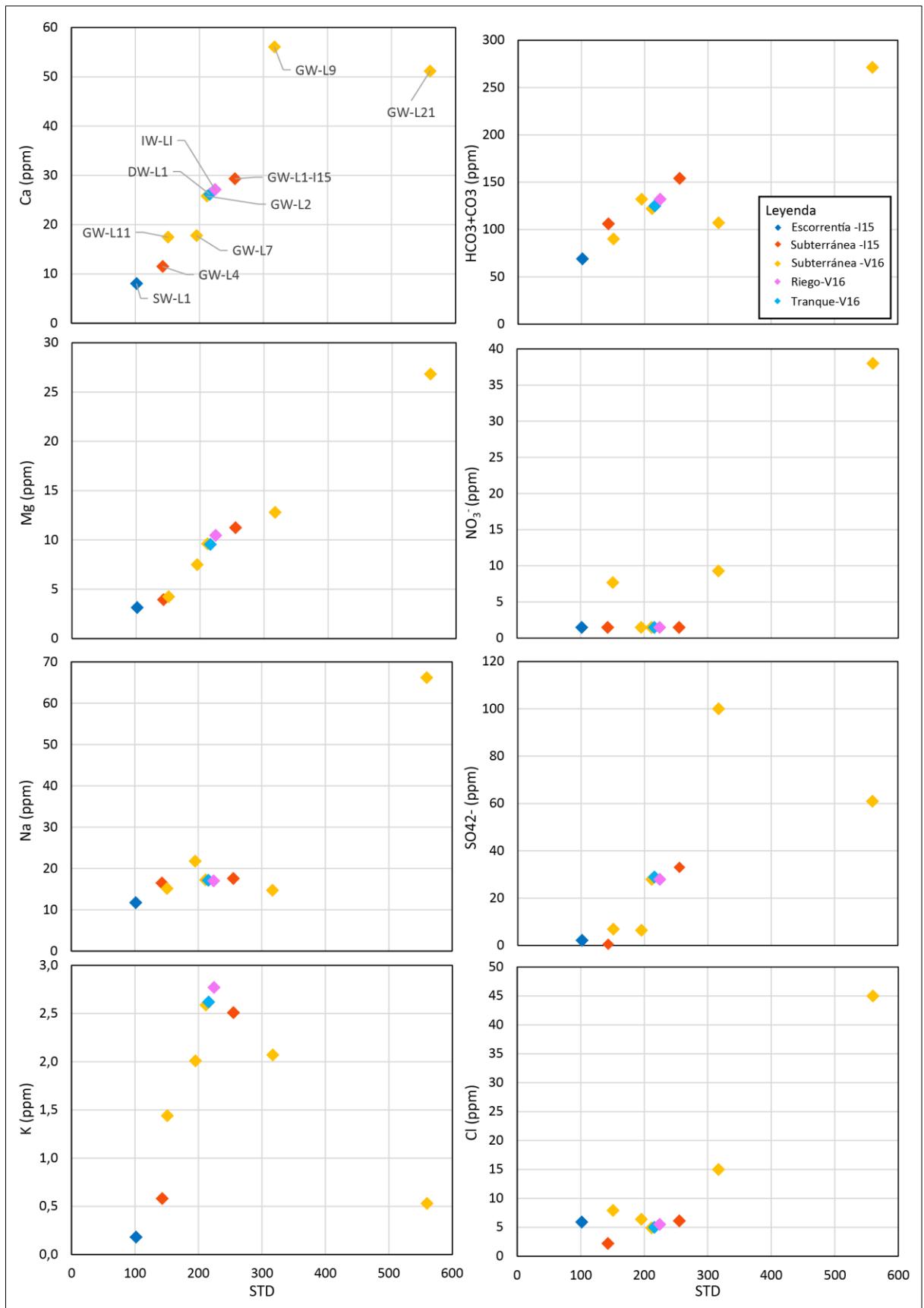


Figura 6.27: Concentración de elementos mayores con respecto al STD en la viña de Santa Cruz.

Cloruro: El anión se presenta en concentraciones que van desde 2,2 a 45 ppm. El valor mínimo corresponde a la muestra del pozo de GW-L4-I15 y el máximo corresponde a la muestra del pozo GW-L21-V16. El cloruro posee alta correlación (mayor a 0,9) con el nitrato, magnesio, sodio, cobalto y estroncio. Su valor se mantiene más bien constante con el aumento del STD (Figura 6.27).

Nitrato: El nitrato se presenta en bajas concentraciones en varios pozos (1,5 ppm). No obstante, tres pozos muestran concentraciones mayores, la muestra del pozo L11, posee una concentración de 7,7 ppm y la muestra del pozo GW-L21-V16 un valor máximo de 38 ppm. Se observan altas correlaciones con cloruro, sodio, bario, cobalto y estroncio.

Calcio: Se presenta en las muestras con concentraciones que van desde los 11,5 a 56 ppm. Se observa que el anión posee alta variabilidad en su concentración y solo muestra correlación alta con el sulfato (0,97).

Magnesio: Las concentraciones del magnesio en las muestras de agua varían entre 4 y 26,8 ppm. Su abundancia muestra alta correlación con los elementos bicarbonato, cloruro y estroncio, al igual que con el STD.

Sodio: La concentración del sodio presenta un valor mínimo de 14,8 ppm y un máximo de 66,2 ppm. Como se aprecia en la Figura 6.27, su valor se mantiene más bien constante y acotado con el aumento del STD, a excepción de la muestra del pozo L21 la cual posee el valor máximo de sodio en todas las muestras. El sodio presenta buena correlación con bicarbonato, cloruro y nitrato.

Potasio: Se encuentra en concentraciones mucho menores a los otros cationes, con concentraciones que fluctúan entre 0,5 y 2,8 ppm. Se observa en la Figura 6.27, que a diferencia del resto de los elementos mayoritarios, la concentración del potasio no se correlaciona linealmente con el aumento del STD.

Sílice: Las concentraciones de la sílice varían entre 13,8 y 35 ppm. El anión no muestra correlación importante con ninguno de los aniones y cationes mayores, ni con las mediciones fisicoquímicas. Sin embargo, presenta una alta correlación con el elemento traza, molibdeno (0,91).

6.3.4. Elementos menores y trazas

En la viña de Santa Cruz, un total de 25 elementos menores y trazas pasaron el control de calidad. En el gráfico de la Figura 6.28 se presenta el diagrama de spider con las concentraciones de los elementos menores y trazas estudiados en las muestras de agua. Se observa que los elementos boro, manganeso, fosfato, estroncio y zinc se encuentran como elementos menores, es decir, con concentraciones mayores a 0,1 ppm en algunas muestras de agua subterránea, riego y tranque.

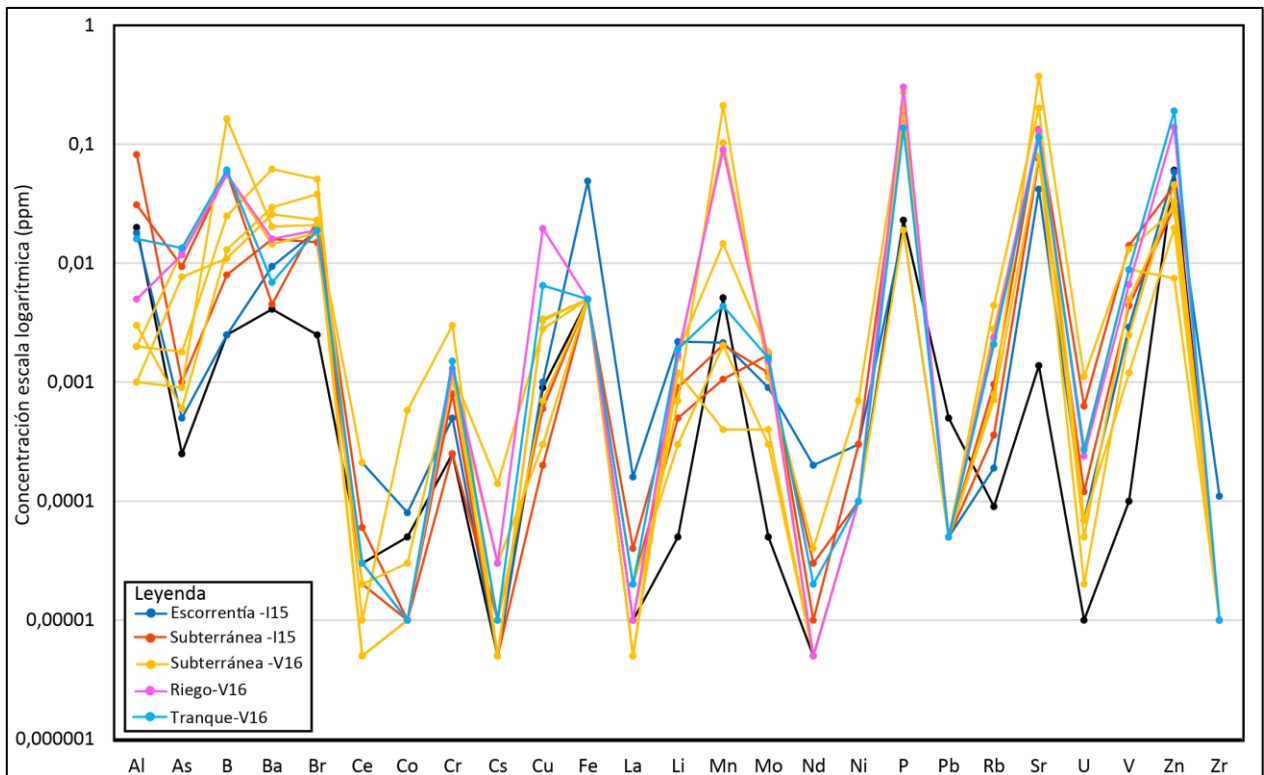


Figura 6.28: Gráfico de elementos menores y trazas en las muestras de la viña de Santa Cruz.

El agua de lluvia presenta concentraciones más bajas en elementos menores y trazas que las muestras de agua subterránea, escorrentía, riego y tranque. A diferencia de la viña de Casablanca y de San Antonio, el agua de lluvia no posee concentraciones mayores en Al y Zn. Lo que podría revelar una contaminación específica del área de las viñas de San Antonio y Casablanca.

En general, las muestras de agua subterránea presentan un patrón similar en la composición del agua. Los elementos que muestran mayor variabilidad en su concentración corresponden al arsénico, bario, cobalto, cobre, manganeso, rubidio, uranio y vanadio.

Las muestras del tranque y de riego tienen una composición similar, y se caracterizan por una alta concentración en arsénico, cobre, fosforo y zinc.

Los cambios estacionales de la composición química en los pozos donde se realizaron medidas en ambas campañas se presentan en el gráfico de la Figura 6.29, como en la viña de Santa Cruz no se tomaron muestras en un mismo pozo para ambas campañas, se despliegan en naranja las muestras de invierno y en amarillo las muestras recolectadas en verano. Dado a la cercanía de los pozos L1 y L2 como se puede ver en la Figura 6.24, se presenta en línea punteada naranja el pozo L1 (invierno) y en línea punteada amarilla el pozo L2 (verano), los cuales se ubican cercanos y tienen el mismo tratamiento como ya fue mencionado.

Se observa que existe una disminución entre invierno y verano en el aluminio, bario, cesio y cobalto y un aumento de bario y manganeso.

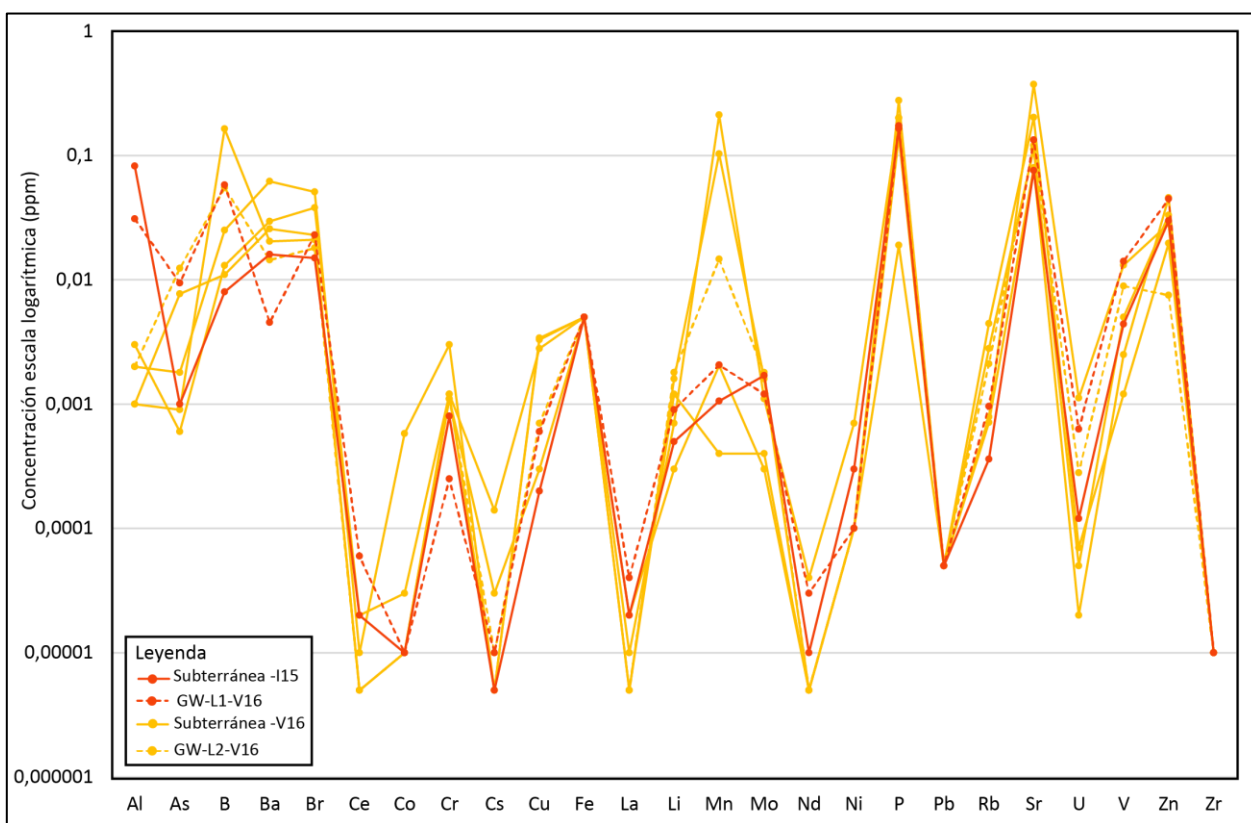


Figura 6.29: Variación de los elementos traza en los pozos donde se tomaron muestras en ambas campañas.

6.3.5. Índices de saturación

Al igual que en el resto de las viñas se calcularon los índices de saturación mineral para cada una de las muestras, los resultados totales se muestra en los **Anexo 4.15**. En la Figura 6.30 se muestran los minerales sobresaturado y en equilibrio.

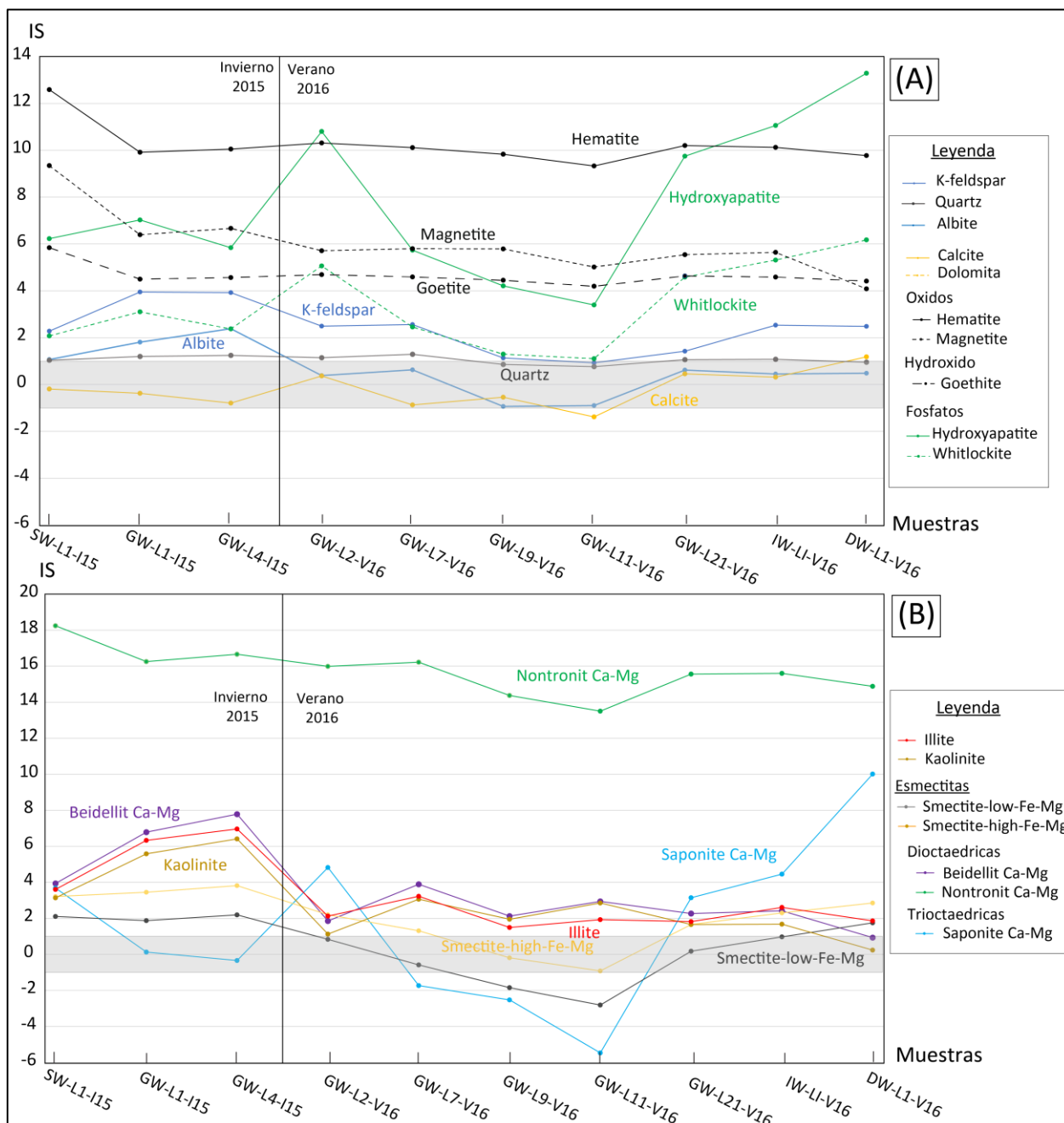


Figura 6.30: Gráficos del cálculo del índice de saturación para las muestras de la viña de Santa Cruz.

A partir de los análisis se determinó que minerales presentes en las rocas y suelo como: anortita, anfíbol (pargasite), biotita (annite), epidota (zoisite) y clorita (daphnite y ripidolit),

se encuentran subsaturados en casi todas las muestras. Lo que indicaría que la disolución y meteorización de estos minerales sería la fuente de los aniones.

En el gráfico A, se observa que las muestras de agua están en equilibrio con calcita y cuarzo. La albita se encuentra en equilibrio solo durante el verano ya que en el invierno se presenta sobresaturada. En cambio los óxidos e hidroxidos de hierro están sobresaturados en todas las muestras, en específico la hematita presenta un índice de saturación alto. El feldespato potásico igualmente se presenta sobresaturado aunque en las muestras de verano tiene valores cercanos al equilibrio.

En el gráfico B se muestran los resultados del cálculo del índice de saturación para el grupo de las arcillas. La caolinita e illita tienen IS que indican sobresaturación, cabe destacar que en las muestras de verano los valores son más altos que en invierno. En el grupo de las esmectitas, las dioctaédricas ricas en calcio y magnesio poseen IS mayores que el resto de la arcillas. El IS de esmectitas trioctaédricas (Saponite) muestra un comportamiento distinto en casi todas las muestras donde no se sigue un patrón por temporada como en otros minerales.

6.3.6. Norma de calidad de agua viña de Santa Cruz

Como en las viñas ya estudiadas, se analizaron y compararon los resultados de los análisis de las muestras con respecto a las normas chilenas para agua riego (NCh 1333) y potable (NCh 409/1).

6.3.6.1. Norma NCh 409/1: Agua potable

De total de las muestras de agua, 6 de 10 no cumplen la norma de agua potable. Estas competen a las muestras del pozo L1, L2 y a las muestras de agua de tranque y agua de riego, las cuales se encuentran sobre norma en arsénico. Las muestras de los pozos L21 y L7 sobrepasan el límite de manganeso y, por último, el agua de tranque también está sobre la norma para el pH.

6.3.6.2. Norma NCh 1333: Agua riego

Con respecto a la norma del agua de riego, solo dos muestras GW-L9-V16 y GW-L2-V16 cumplen con la norma.

En específico la muestra GW-L21-V16 se encuentra sobre el límite en el elemento manganeso. El agua del tranque (DW-L1-V16), no cumple con la norma de pH.

En cuanto al valor de sodio porcentual, las muestras SW-L1-I15, GW-L4-I15, GW-L7-V16 y GW-L21-V16 tienen valores mayores al 35%, que es el que permite la norma chilena para el agua de riego.

El cálculo del RAS clasifica a las muestra de agua de la viña de Santa Cruz como aguas de bajo riesgo y, de acuerdo a las clasificación de conductividad eléctrica quedan en la categoría de riesgo bajo a excepción de la muestra GW-L21-V16 que queda en riesgo medio.

6.4. SAN JAVIER

6.4.1. Ubicación de los puntos de muestreo

En la viña de San Javier se tomaron un total de 12 muestras, de las cuales 2 corresponden a muestras de agua lluvia, 8 de agua subterránea (3 pozos durante la campaña de invierno y 5 durante la campaña de verano), una muestra de agua de riego y una de canal de irrigación. En la Figura 6.31, se presenta la ubicación de los puntos de recolección de muestras, cabe señalar que la viña de San Javier es la única que utiliza agua superficial de escorrentía para el riego de las parras y que en los pozos M1, M9 y M10 se tomaron muestras en la campaña de invierno y verano.

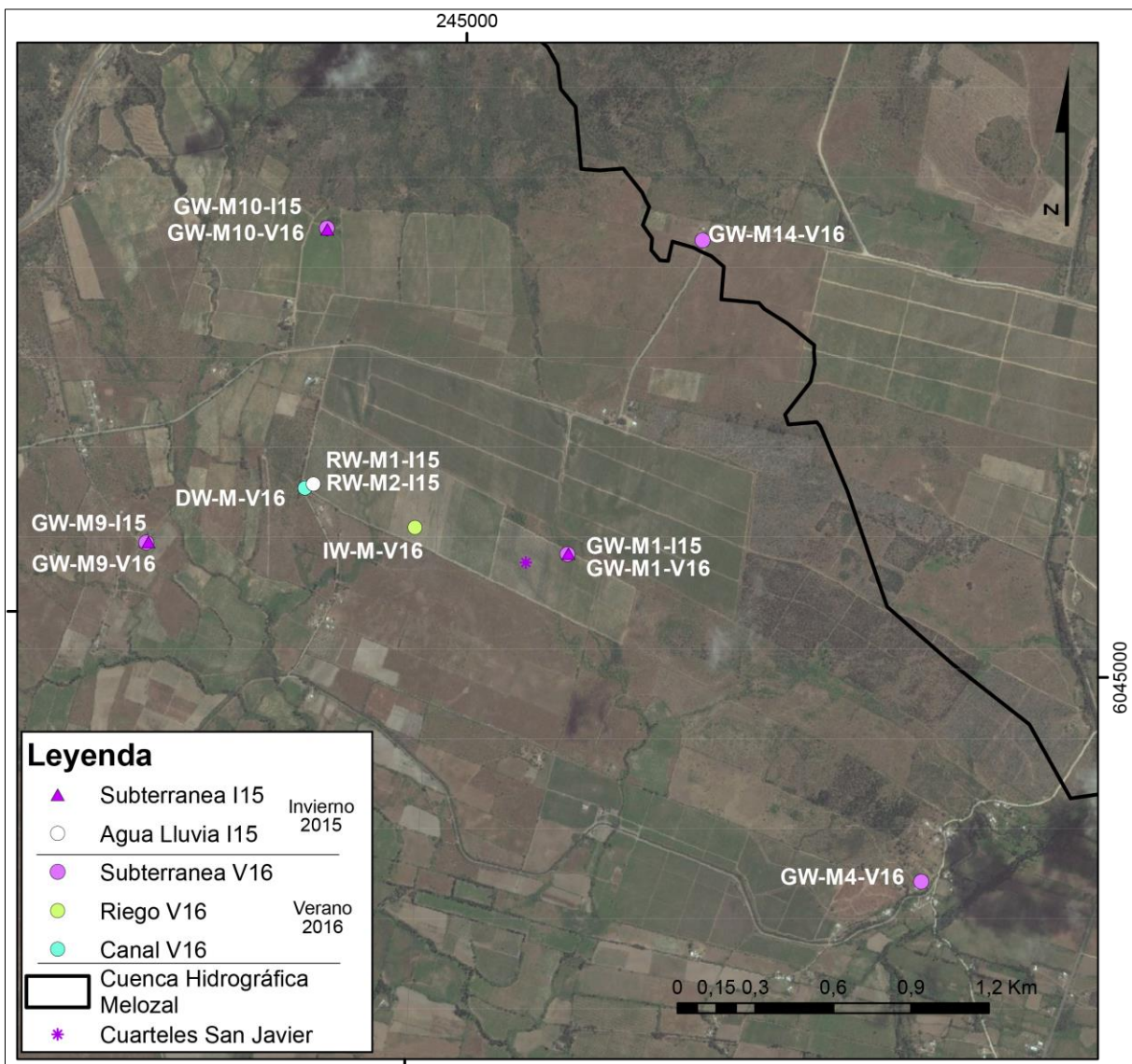


Figura 6.31: Ubicación de los puntos de mediciones físico-químicas de las distintas muestras de agua en la viña de San Javier.

6.4.2. Resultados químicos

La tabla con todos los resultados obtenidos a partir de las muestras de agua, es decir las mediciones fisicoquímicas y los análisis químicos de laboratorio se presentan en los **Anexo 4.7** y **Anexo 4.8**.

6.4.2.1. Correlación de datos

Al igual que en todas las viñas en estudio, se realizó una matriz de correlación considerando todas las muestras a excepción de las muestras de agua de lluvia, por lo tanto se utilizaron los datos de 10 muestras con 38 variables (elementos químicos y parámetros fisicoquímicos).

La matriz completa se encuentra en los **Anexo 4.12**. A continuación en la Tabla 6.7 se presenta una matriz de correlación simplificada considerando las variables que muestran altas correlaciones.

Tabla 6.7: Matriz de correlación simplificada de algunos elementos de las muestras de la viña de San Javier. En rojo coeficientes de correlación mayores a 0,9 y en verde mayores a 0,8.

	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Ba	P	Rb	Si	Sr	U	Y	CE	pH
HCO ₃ ⁻	1,00																
SO ₄ ²⁻	0,42	1,00															
Cl ⁻	-0,05	0,39	1,00														
NO ₃ ⁻	-0,15	0,50	0,96	1,00													
Ca ²⁺	0,84	0,69	0,10	0,05	1,00												
Mg ²⁺	0,71	0,63	0,50	0,38	0,85	1,00											
Na ⁺	0,43	0,61	0,77	0,69	0,59	0,77	1,00										
K ⁺	0,07	0,59	0,92	0,92	0,26	0,53	0,89	1,00									
Ba	0,34	0,42	0,83	0,70	0,46	0,75	0,96	0,85	1,00								
P	0,00	0,52	0,90	0,87	0,20	0,54	0,81	0,90	0,86	1,00							
Rb	-0,10	0,58	0,92	0,98	0,12	0,38	0,75	0,96	0,71	0,85	1,00						
Si	0,18	0,27	0,72	0,62	0,37	0,62	0,64	0,56	0,75	0,69	0,52	1,00					
Sr	0,69	0,53	0,47	0,33	0,83	0,92	0,86	0,57	0,81	0,49	0,39	0,53	1,00				
U	0,04	0,80	0,70	0,84	0,30	0,39	0,56	0,75	0,46	0,69	0,85	0,50	0,26	1,00			
Y	-0,30	0,45	0,83	0,93	-0,08	0,17	0,55	0,85	0,51	0,70	0,95	0,35	0,19	0,78	1,00		
CE	0,60	0,63	0,67	0,56	0,74	0,89	0,96	0,76	0,92	0,74	0,60	0,68	0,92	0,50	0,36	1,00	
pH	-0,33	-0,47	-0,49	-0,51	-0,41	-0,47	-0,38	-0,41	-0,36	-0,26	-0,48	-0,52	-0,37	-0,65	-0,43	-0,40	1,00

A diferencia del resto de las viñas no se aprecian correlación tan altas entre los elementos mayores, aunque se observan las siguientes correlaciones: correlación del bicarbonato con el calcio y magnesio, el sulfato presenta correlación con todos los cationes mayores

con valores que varían de 0,69 a 0,59. Finalmente se observa un grupo de correlación importante de los elementos Cl-NO₃-K-U-P-Y, los cuales presentan buenas correlaciones entre ellos.

6.4.2.2. Parámetros fisicoquímicos

Los resultados de las mediciones fisicoquímicas de las muestras de agua recolectadas en la viña de San Javier se presentan en la Tabla 6.8, las mediciones del potencial redox de la campaña de verano 2016 no se realizaron debido a que la sonda del equipo se dañó. En los pozos GW-M20-I15 y GW-M2-I15 solo se realizaron mediciones fisicoquímicas pero no se colectaron muestras para análisis químico.

Tabla 6.8: Resultados de las mediciones fisicoquímicas de las muestras de agua de la viña de San Javier.

Tipo	Campaña	Muestra	pH	T(°C)	CE(μS)	Eh
Lluvia	I15	RW-M1-I15	7,98	10,4	0	249
		RW-M2-I15	6,36	10,1	8	238
Subterránea	I15	GW-M20-I15	7,42	12,3	633	295
		GW-M2-I15	7,53	12,43	914	272
		GW-M1-I16	7,41	13,33	677	298
		GW-M9-I16	6,85	13,10	786	311
		GW-M10-I16	6,95	12,23	416	311
	V16	GW-M1-V16	7,73	19,95	693	-
		GW-M9-V16	7,73	19,45	682	-
		GW-M10-V16	7,83	18,8	449	-
		GW-M4-V16	7,13	19,25	429	-
		GW-M14-V16	7,76	23,4	605	-
Riego	V16	IW-M1-V16	7,98	20,95	259	-
Tranque	V16	DW-M-V16	7,91	18,5	180	-

pH

La Figura 6.32, grafica los resultados de pH en las campañas de terreno. Los valores del pH fluctúan entre 6,36 y 7,98, valores que corresponden respectivamente al agua de lluvia y al agua de riego. En general se observa que los valores de pH de las muestras de agua no fluctúan tanto como en las otras viñas.

En las muestras de agua de lluvia existe una diferencia de pH, aunque ambos colectores fueran ubicados muy cerca, los valores de la muestras son 8,0 y 6,4. Una hipótesis, al igual que en el resto de las viñas es que algún agroquímico o materia orgánica hayan caído dentro de los colectores, alterando el pH, probablemente en el colector M1 la materia orgánica haya aumentado el pH de la muestra como ya fue identificado en las muestras de agua de lluvia y tranque en San Antonio.

En las muestras de agua subterránea se percibe un aumento del pH durante el verano en los pozos que fueron muestreados en ambas campañas. Durante la campaña de invierno las muestras entregan un promedio de 7,23 mientras que en verano 7,61. En general, las aguas de todos los pozos tienen pH neutros a diferencia del resto de las viñas donde los pH eran más alcalinos. Las muestras de agua de tranque y riego tienen pH más elevado que el agua subterránea con valores de 7,9 y 8,0 respectivamente, esta diferencia probablemente se debe a que el origen del agua de riego y tranque sea de agua de escorrentía y no subterránea.

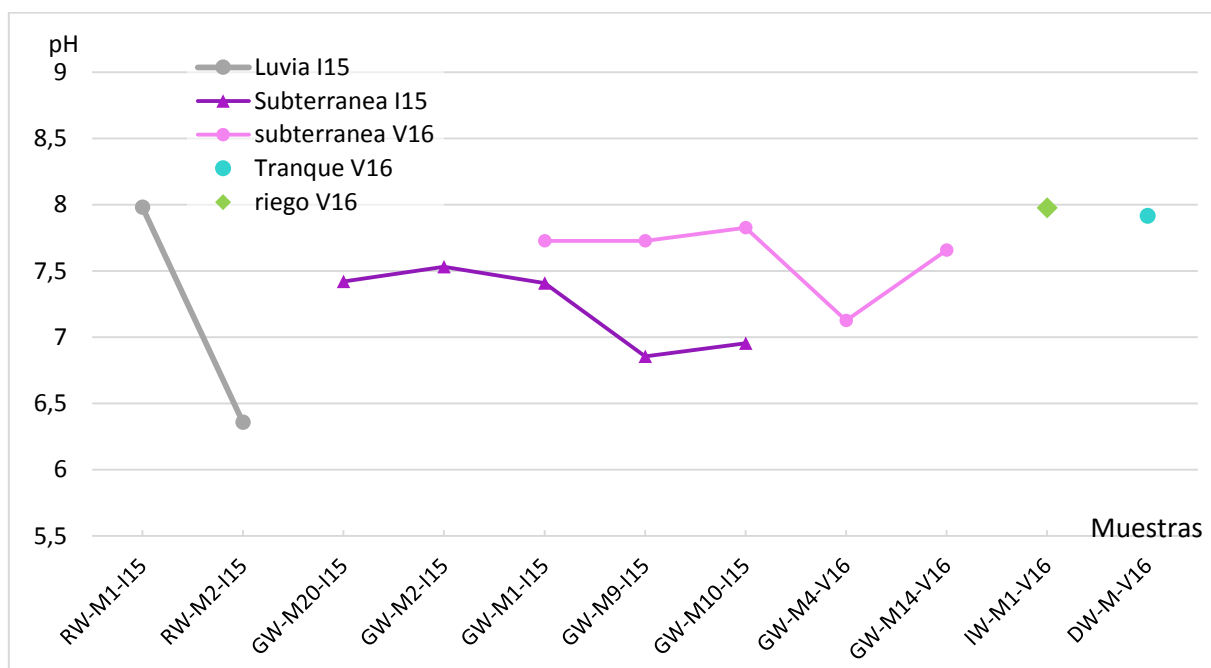


Figura 6.32: pH de las muestras de agua en la Viña de San Javier.

Conductividad eléctrica

En el Figura 6.33, se grafican los resultados de las mediciones de conductividad eléctrica en las muestras.

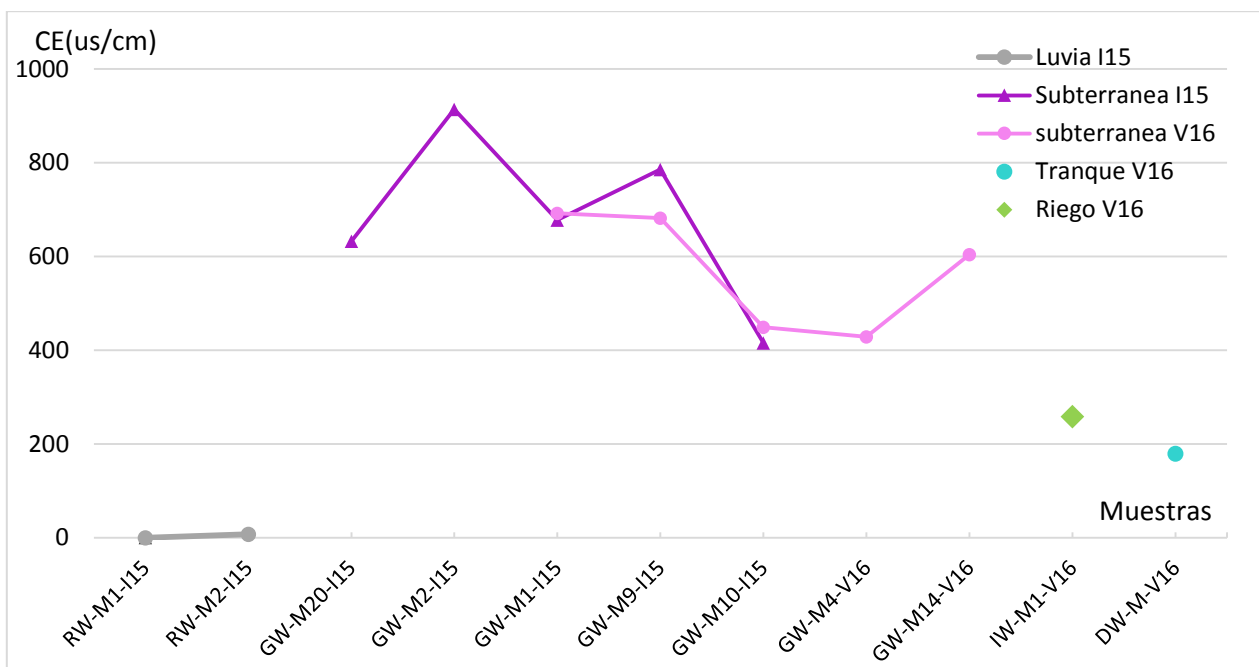


Figura 6.33: Gráfico de la conductividad eléctrica en las muestras de agua de la Viña de San Javier.

Se observa que existen notorias diferencias entre los distintos tipos de agua. Como es de esperarse, las muestras de agua lluvia tienen conductividad eléctrica menor que las muestras de tranque y riego (escorrentía) y, estas últimas poseen menor CE que las muestras de agua subterránea.

Temperatura y potencial redox

Las temperaturas de las aguas no sobrepasan los 23,4 °C, sin embargo, se observa una notoria diferencia en la temperatura entre las muestras de la campaña de invierno y la de verano. La temperatura máxima de las muestras de invierno es de 13°C, en cambio el valor mínimo en una muestra de verano es de 18,5 °C. Esto puede deberse a que las aguas subterráneas de la viña tienen niveles freáticos menores que el resto de las viñas por lo que su temperatura puede verse influenciada por las condiciones climáticas.

En cuando a la medición del potencial redox, la cual solo se realizó en la temporada de invierno, las muestras tienen valores positivos, con mediciones que varían de 272 a 311 mV, lo que indica ambientes oxidantes.

6.4.2.3. Tipo de aguas

En la Figura 6.34 se muestra el mapa de ubicación de las muestras junto a su respectivo diagrama de Stiff. En términos generales se observa que los diagramas, al igual que en la viña de Santa Cruz, no se presentan con formas similares, y varían tanto en tamaño y

forma. Se distinguen dos grupos, el primero compuesto por las aguas subterráneas de invierno y verano y, el segundo, conformado por el agua de tranque y de riego. Como ya fue mencionado, el agua de riego y tranque provienen de agua superficial, es por ello que el diagrama de Stiff se representa más pequeño, debido a la menor concentración de iones frente a las aguas subterráneas.

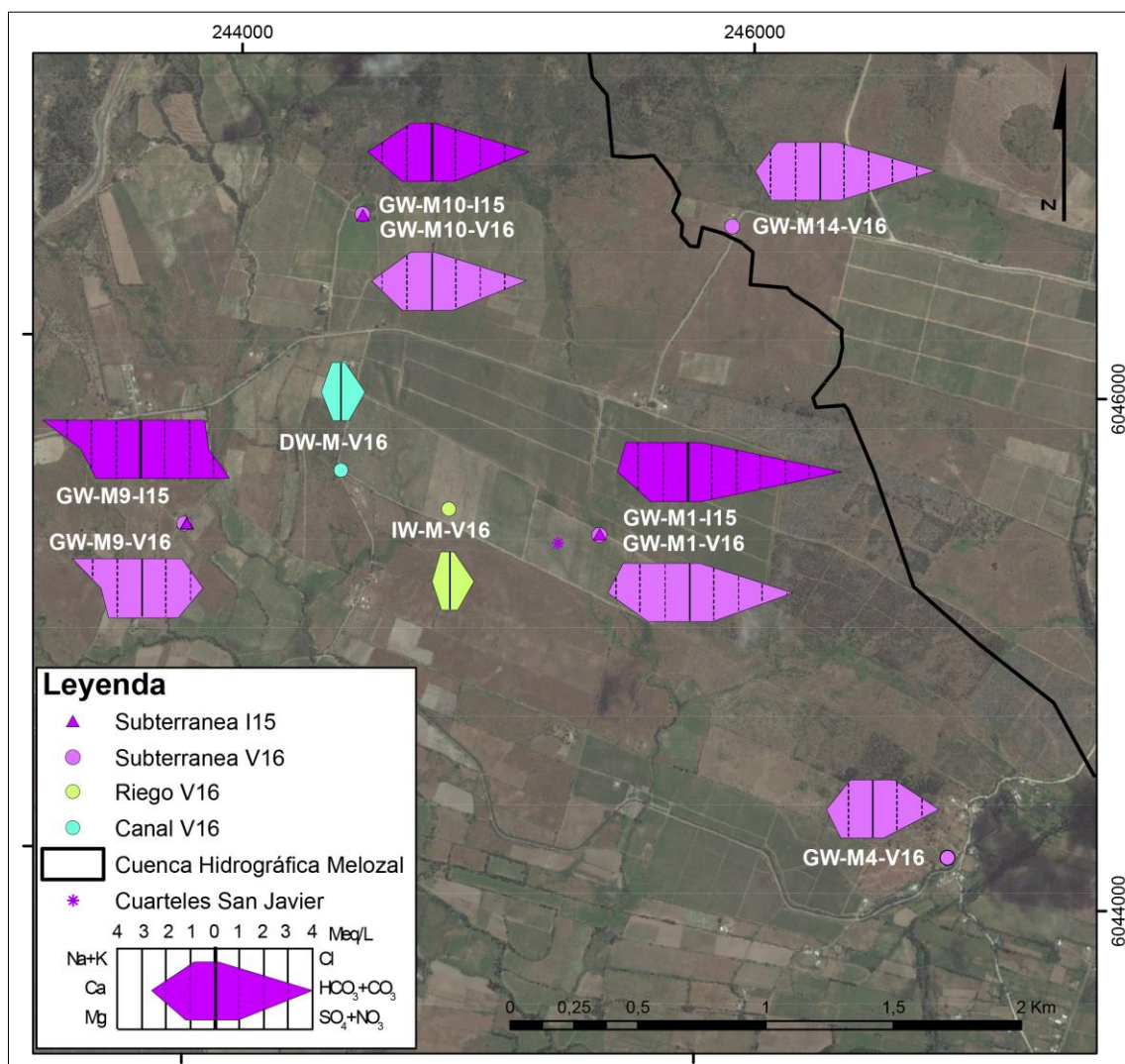


Figura 6.34: Mapa de ubicación de las muestras de agua. En morado oscuro las muestras de agua subterránea de invierno 2015, en morado claro las muestras de agua subterránea verano 2016, en verde agua de riego y celeste el agua de tranque.

A partir de los resultados se observa que la mayoría de las muestras tienen como anión y catión predominante el bicarbonato y el calcio, respectivamente. Excepción son las muestras de invierno y verano del pozo M9, donde la muestra que corresponde a la campaña de invierno muestra al sulfato y nitrato dominantes, por sobre el bicarbonato y el sodio como catión principal. En la muestra de la campaña de verano (pozo M9), el

sodio sigue siendo el anión principal pero en los cationes el sodio es predominante. Otra observación importante es la menor concentración de iones en la muestra del pozo GW-M4-V16.

De acuerdo a la clasificación de Piper (Figura 6.35), los cationes *plotean* en las facies Na-Ca y Ca-Na, en los pozos M9 y M1, y en las facies Ca-Mg y cálcica, en el resto de las muestras. Para el caso de los aniones, estos *plotean* para la mayoría de las muestras en la facie bicarbonatada, sin embargo, las muestras del pozo M9 caen en la facie clorurada o Cl-HCO₃. El diagrama de Piper clasifica las muestras como cloruradas cálcicas y bicarbonatadas cálcicas y/o sódicas.

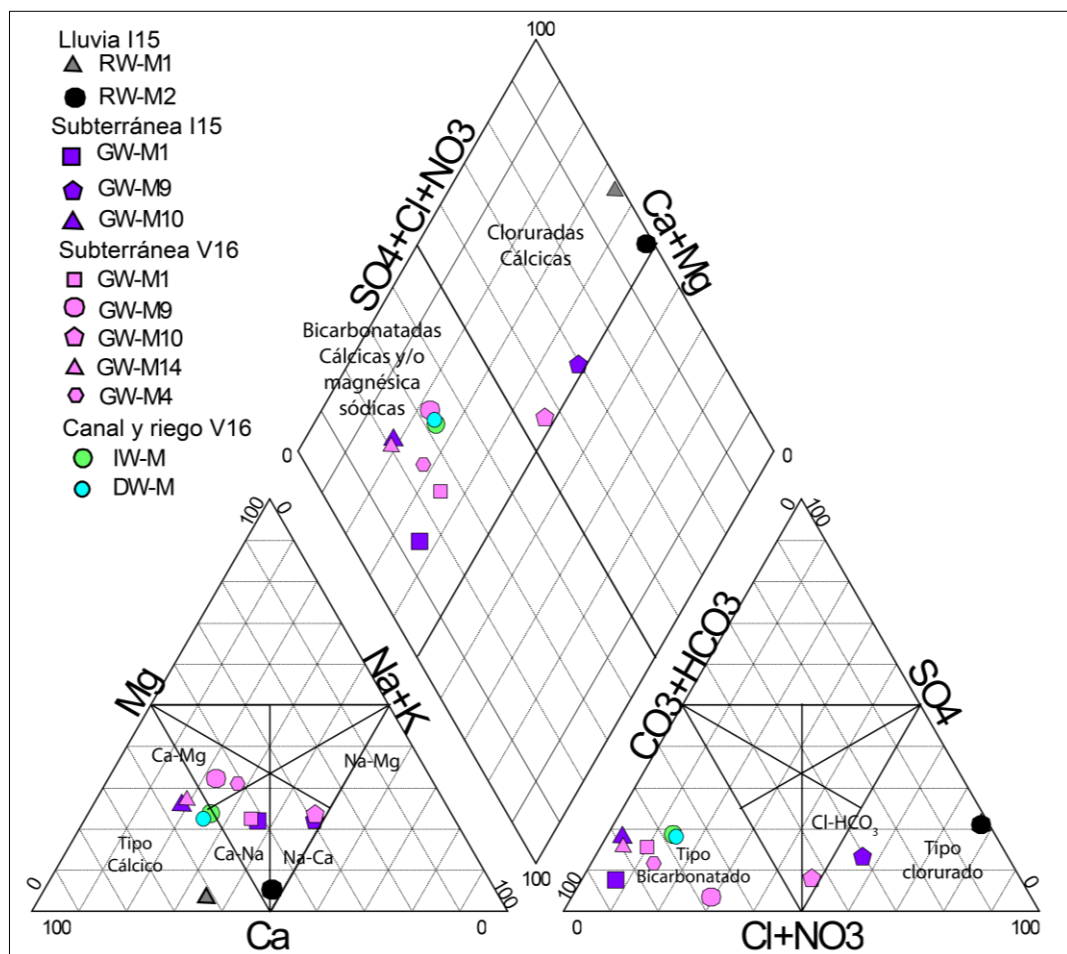


Figura 6.35: Diagrama de Piper de las muestras de la viña de San Javier.

En la Figura 6.36 se presenta el diagrama de Scholler-Berkaloff. La información más relevante que entrega el diagrama corresponde a la variabilidad de los iones entre muestras, similar a la viña de Santa Cruz las muestras no siguen un patrón. Los iones que muestran mayor variabilidad corresponden al Cl⁻, SO₄²⁻, NO₃⁻ y Na⁺. Los pozos que

fueron muestreados en ambas campañas presentan un comportamiento similar. En la muestra M9 se destaca el alto contenido de nitrato, sulfato, cloruro en ambas muestras.

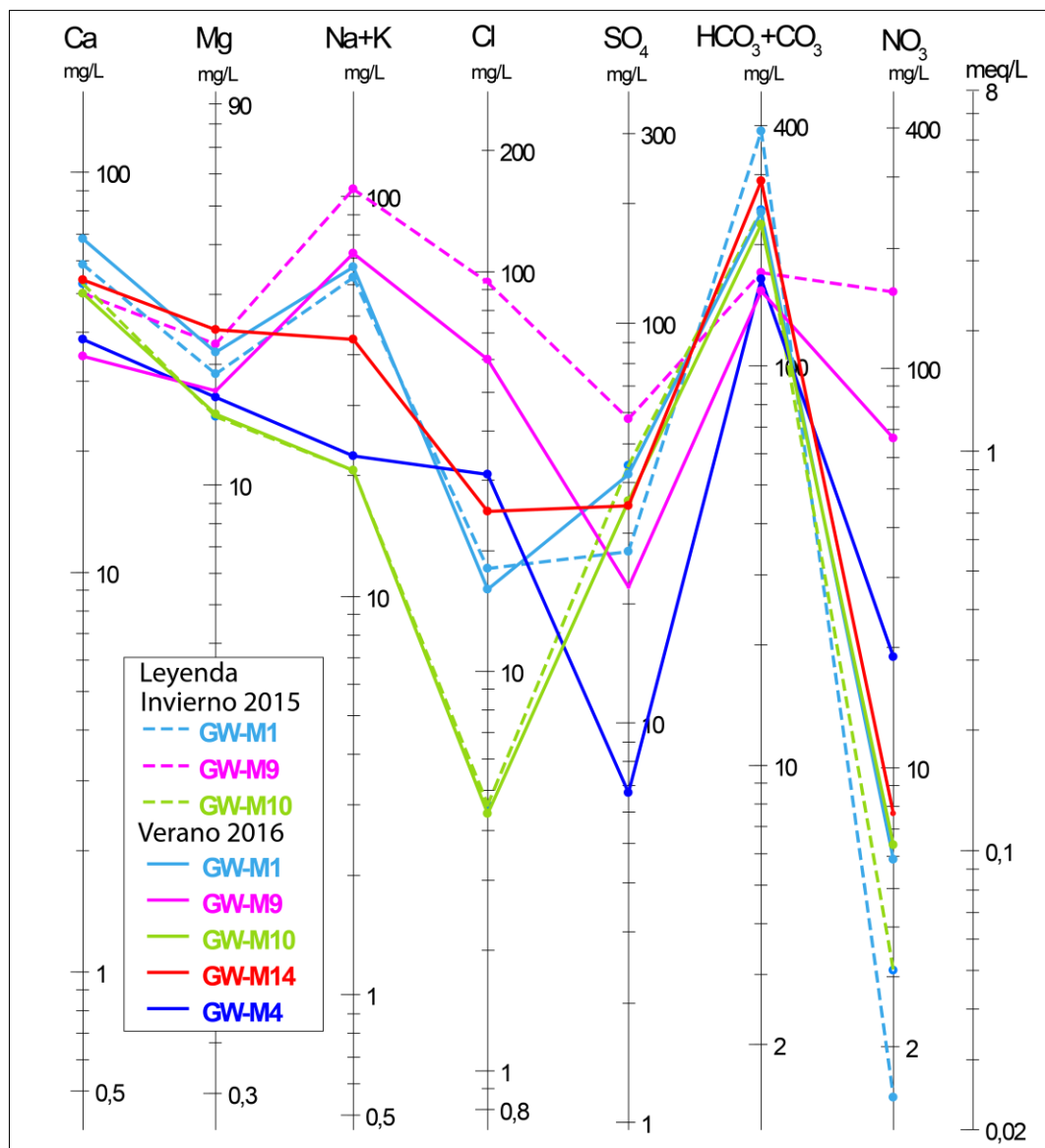


Figura 6.36: Diagrama Scholler-berkaloff, de las muestras de agua de la viña de San Javier.

6.4.3. Elementos mayores

En los gráficos de la Figura 6.37 se presentan los compuestos mayores en función del STD. En los gráficos se distinguen dos grupos, un primer grupo corresponde a las aguas que tienen como origen cursos de agua superficiales y se caracterizan por STD menores a 114 ppm. El segundo grupo compuesto por las muestras de aguas subterráneas de ambas campañas, se define por STD mayores a 299 ppm. A continuación se describe el comportamiento de los iones mayoritarios en las muestras de agua subterránea:

Bicarbonato: Es el anión predominante en las muestras de agua subterránea de la viña, a excepción del pozo M9. Sus concentraciones fluctúan entre 154 ppm (pozo M9) y 384 ppm en el pozo M1. El anión presenta alta correlación con el calcio (0,84), magnesio (0,71) y el estroncio (0,69).

Calcio: El calcio es el catión dominante en la mayoría de las muestras con concentraciones desde 35 a 68 ppm. Posee alta correlación con el bicarbonato, magnesio (0,85), sulfato (0,69), estroncio (0,83) y selenio (0,64).

Magnesio: El magnesio muestra un comportamiento similar al calcio. La concentración del ion en las muestras varía entre 14,8 y 24,4 ppm y presenta buena correlación con el bicarbonato (0,71), calcio (0,85), sulfato (0,63), sodio (0,77) al igual que con el bario, bromo, sílice y estroncio.

Sodio: Presenta concentraciones entre 19,9 y 77,68 ppm y se caracteriza por una buena correlación con el cloro, magnesio, potasio, fosfato y estroncio. Las muestras de pozo M9 en ambas campañas son las que muestran mayores contenidos de este ion.

Potasio: Las concentraciones de potasio en las muestras fluctúan entre 0,6 y 26,4 ppm. El anión presenta buena correlación con el cloruro, nitrato, fosfato e itrio.

Cloruro: Las concentraciones de cloruro fluctúan entre 4,4 ppm, en la muestra GW-M10-I15, y 94 ppm, correspondientes al contenido en la GW-M9-I15. El cloruro presenta buena correlación con el nitrato (0,96), potasio (0,92) y fosfato (0,90).

Nitrato: Presenta concentraciones entre 1,5 y 155 ppm y se caracteriza por una buena correlación con el cloruro (0,96), potasio (0,92) en los elementos mayores y, en cuanto a los elementos menores y trazas, tiene correlación alta con el fosfato (0,87), rubidio (0,98), uranio (0,84) e itrio (0,93). Al igual que el sodio y cloruro, presenta sus valores más altos en las muestras provenientes del pozo M9.

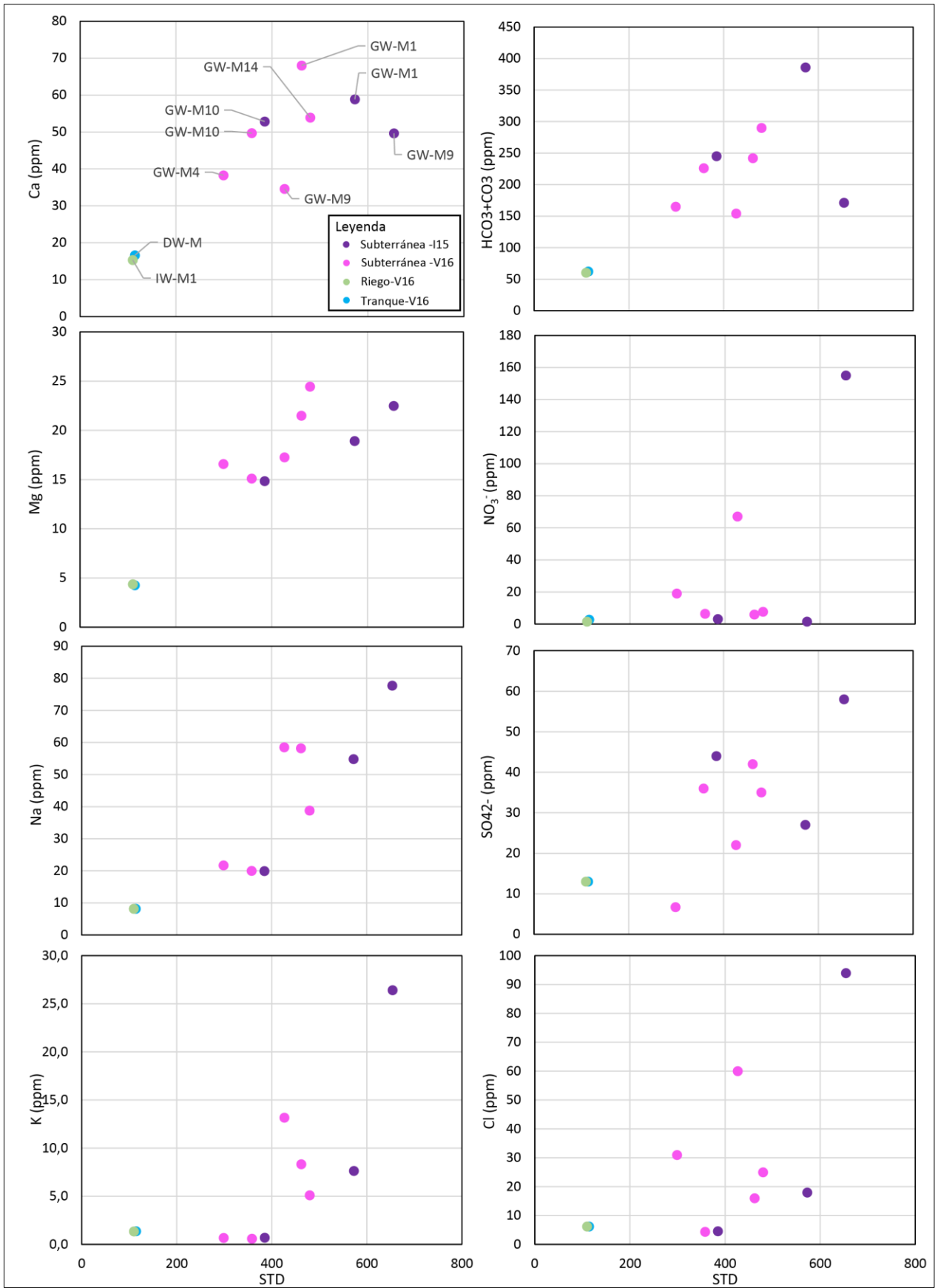


Figura 6.37: Concentraciones relativas de cationes y aniones en función de STD en la viña de San Javier.

Sulfato: Las concentraciones de sulfato en las muestras de agua subterránea varían entre 6,7 y 58 ppm. Su abundancia muestra alta correlación con todos los cationes mayores, particularmente con el calcio (0,69). El sulfato también muestra correlaciones altas con elementos trazas como el selenio (0,74) y uranio (0,80).

Sílice: Las concentraciones de sílice en las muestras fluctúan entre 27,2 y 39,1 ppm. Se observa que posee correlación con cloruro (0,72), magnesio (0,62), sodio (0,62) y bario (0,75).

6.4.4. Elementos menores y trazas

En la viña de San Javier, se analizaron las muestras en 27 elementos menores y trazas (los cuales pasaron el control de calidad). En el gráfico de la Figura 6.38 se presenta el diagrama spider con las concentraciones de los elementos estudiados.

Se observa que las muestras de agua provenientes del tranque e irrigación presentan alta concentración en la mayoría de los elementos, lo que se observa particularmente en aluminio, hierro y zinc. Si bien la muestra de riego posee altas concentraciones, éstas son menores a las del agua de tranque. A diferencia de las viñas de San Antonio y Casablanca las muestras de agua de lluvia no tienen concentraciones mayores al agua subterránea. Los elementos con mayor concentración en el agua de lluvia corresponden al cromo, hierro y zinc.

Las concentraciones de los elementos trazas, al igual que en los elementos mayores, no siguen un patrón y muestran variabilidad en las concentraciones; entre los elementos más variables destacan el Al, As, Ba, Co, Cr, Mn, Nd y U.

Para evaluar cambios de la concentración de elementos entre las campañas de invierno y verano, se graficó un diagrama Spider (Figura 6.39) de los pozos en los cuales se realizaron mediciones en ambas campañas. Se observa que en algunos elementos existe concordancia entre los pozos, por ejemplo para todos los pozos se identificó un aumento de invierno a verano en Br, Cr y Sn y una disminución de Sb.

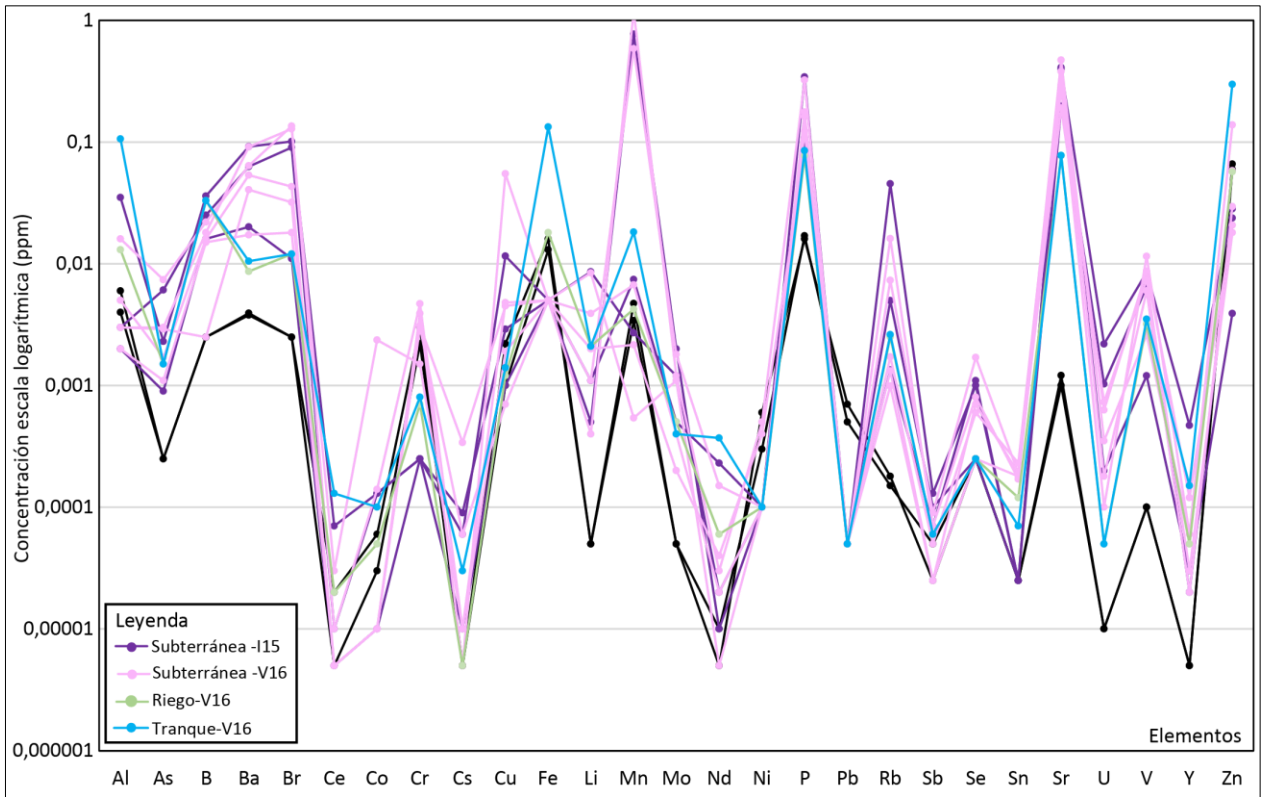


Figura 6.38: Gráfico de elementos trazas en las muestras de agua subterránea, tranque riego y lluvia.

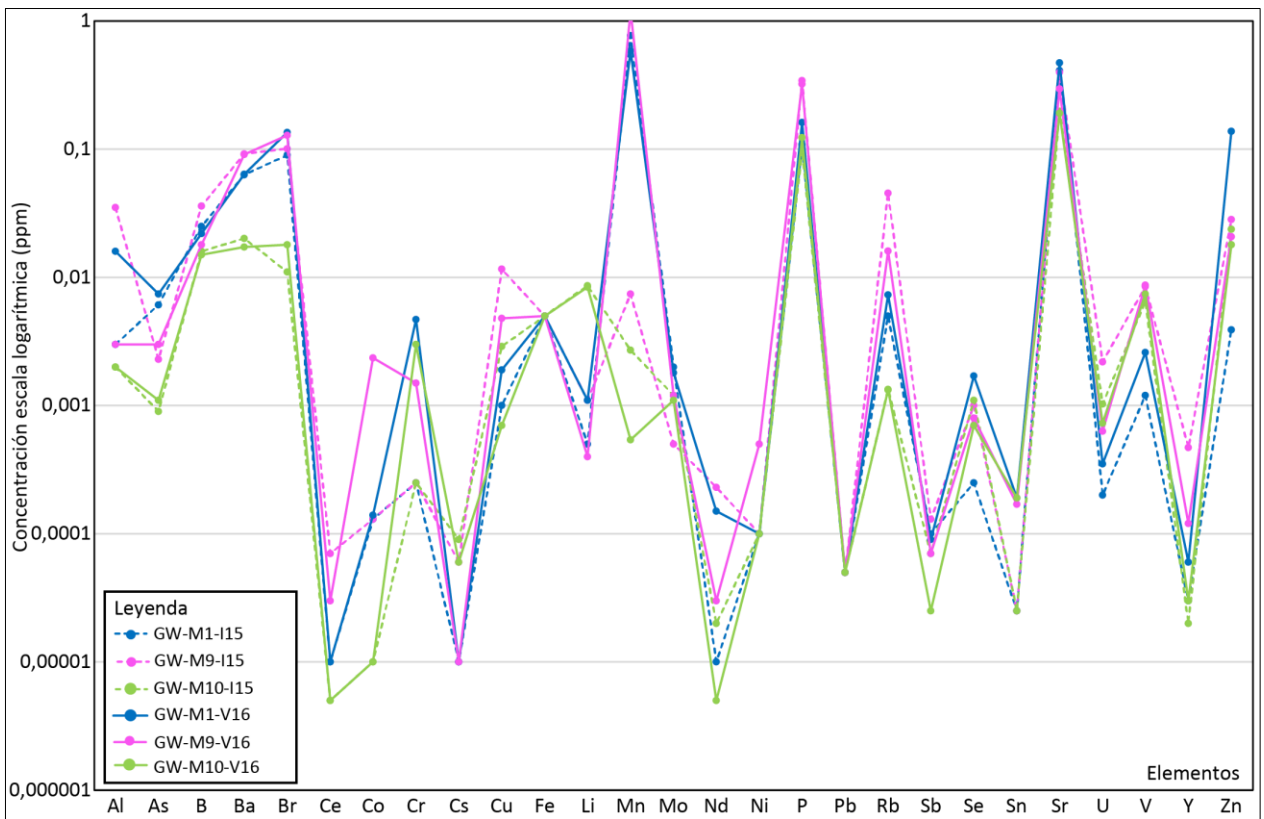


Figura 6.39: Gráfico de elementos trazas en los pozos donde se tomaron muestras en invierno y verano.

6.4.5. Índices de saturación

El cálculo del índice de saturación de las muestras de la viña de San Javier se muestra en los **Anexo 4.16**. El cálculo de IS entrega como resultado que minerales como anortita, biotita, epidota y clorita se encuentran subsaturados en las aguas subterráneas. En el gráfico de la Figura 6.40 se presentan los minerales que se encuentran sobresaturados o en equilibrio. La calcita se encuentra en equilibrio, sin embargo, el cálculo de witherita ($BaCO_3$) indica que en los pozos de verano estaría precipitando carbonato, algo similar se observa en la calcita donde hay un aumento del IS en verano. El cuarzo se presenta en equilibrio o levemente sobresaturado. En el grupo de las arcillas se observa que la caolinita, illita y esmectitas están sobresaturadas. Finalmente, al igual que en el resto de las viñas, se observa que fosfatos están sobresaturados.

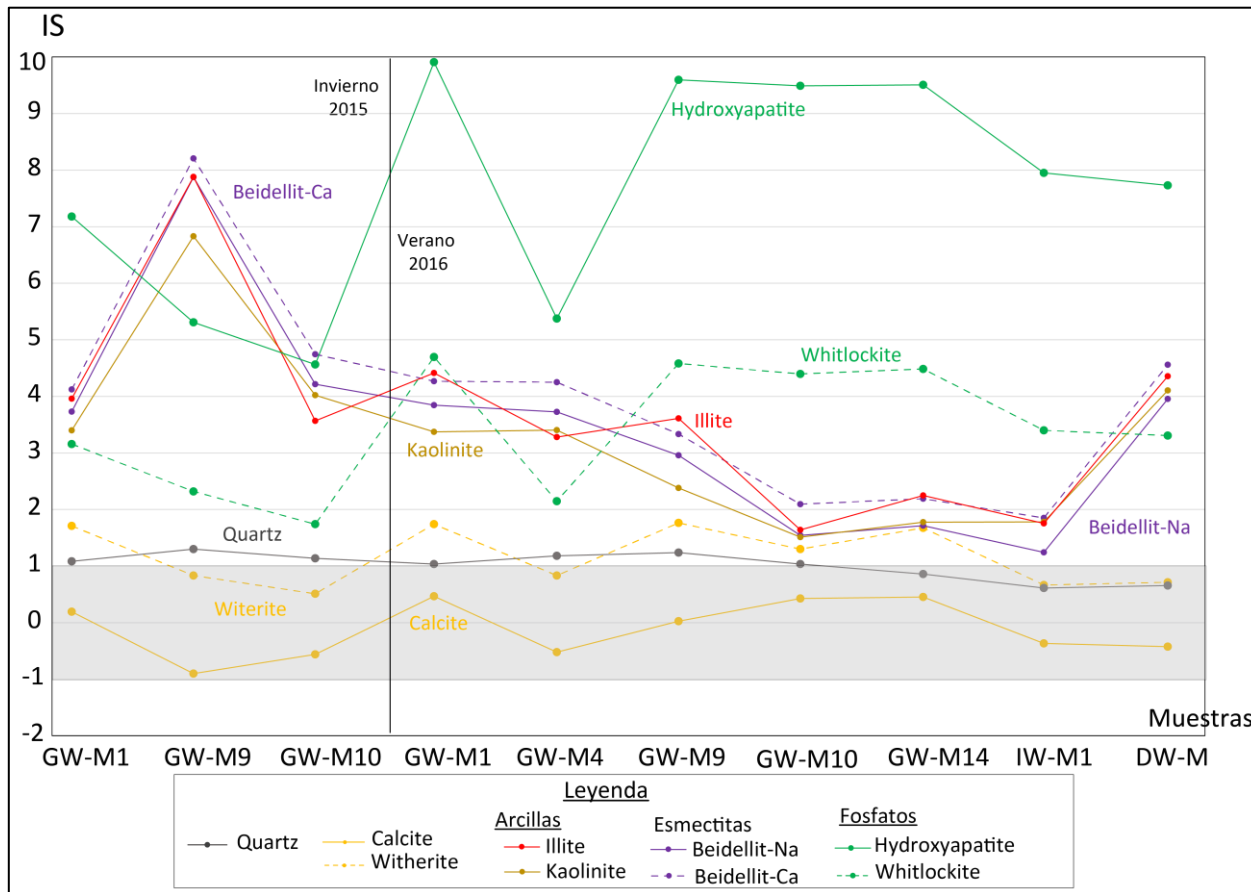


Figura 6.40: Gráfico del índice de saturación para distintos minerales en las muestras de agua de San Javier.

6.4.6. Norma de calidad de agua de la viña de San Javier

Así mismo como en el resto de las viñas, en la Viña San Javier también se estudiaron y compararon los resultados de los análisis químicos y fisicoquímicos de las muestras de agua con las normas chilenas para agua potable (NCh 409/1) y riego (NCh 1333).

6.4.6.1. Norma NCh 409/1: Agua potable

De un total de 10 muestras recolectadas en la viña de San Javier, 4 muestras no cumplen la norma de agua potable, las cuales corresponden a las muestras de los pozos GW-M9-I15, GW-M9-V16, GW-M1-I16 y GW-M1-V16. El incumplimiento de la norma se debe a que las muestras están sobre el límite en dos elementos. Para el pozo GW-M9 tanto en invierno y verano, las muestras sobrepasan la norma en manganeso y nitrato, en el caso del pozo GW-M1 en ambas temporadas, el agua sobrepasa la norma de concentración de manganeso.

6.4.6.2. Norma NCh 1333: Agua riego

En relación a la norma del agua de riego, 6 muestras de 10 cumplen con la norma. Las cuatro muestras que están fuera de norma son las muestras de agua de los pozos GW-M1 y GW-M9 en ambas temporadas.

Las muestras que no cumplen la norma, se encuentran sobre el límite de concentración de manganeso, el cual se observa particularmente alto en las muestras de invierno y verano del pozo GW-M9, además la muestra del pozo M9, están fuera de norma en cuanto al sodio porcentual.

El cálculo del RAS clasifica a las muestra de San Javier como aguas de bajo riesgo y de acuerdo a las clasificación por conductividad eléctrica quedan en la categoría de riesgo medio a alto.

7. PROCESOS HIDROGEOQUÍMICOS

La geoquímica del agua es función de la composición mineral de la roca a través de la cual el flujo de agua subterráneo transita (Elango and Kannan, 2007), esto como producto de reacciones de interacción agua-roca. Durante estos procesos, suceden una variedad de reacciones químicas de equilibrio, entre ellos: la meteorización de silicatos, disolución de carbonatos-halita-yeso, intercambio catiónico y procesos de oxidación y reducción. Además de los procesos naturales, la actividad antropogénica, como contaminación de suelos, aplicación de fertilizantes y drenajes industriales, pueden modificar la composición química del agua. En este capítulo se estudiarán los procesos hidrogeológicos y antropogénicos que controlan la composición del agua subterránea en las viñas en estudio.

7.1. HIDROGEOQUÍMICA GENERAL DE LAS VIÑAS

El diagrama de Gibbs (1970) permite representar gráficamente los principales mecanismos que controlan la química de las aguas. La Figura 7.1 muestra los gráficos de STD en función de los razones $\text{Na}/(\text{Na}+\text{Ca})$ y $\text{Cl}/(\text{Cl}+\text{HCO}_3)$. En ellos se grafican las muestras de agua subterránea de cada viña, el agua de vertiente en la viña de Santa Cruz y el agua de canal en la viña de San Javier. Estos diagramas permiten diferenciar tres tipos de mecanismos que controlan la química del agua: procesos de precipitación atmosférica, donde la química está controlada por la sales que aporta la lluvia, procesos de interacción agua-roca, donde la fuente de sales proviene de rocas, y procesos de evaporación y/o cristalización, donde la química del agua se controla por la evaporación del agua y la precipitación de minerales como CaCO_3 (Gibbs, 1970).

Los resultados muestran que la composición del agua subterránea está dominada principalmente por la interacción agua-roca en las viñas de Casablanca y Santa Cruz. En el caso de las otras dos viñas se observa que no solo procesos de interacción agua-roca dominan la química del agua, si no que existen procesos de evaporación y/o cristalización. Esto se observa en algunas muestras de la viña de San Javier y sobre todo en las muestras de la viña de San Antonio, las cuales están mayormente enriquecidas en cloruros y sodio en comparación a las otras viñas y cuentan con una mayor conductividad eléctrica. Por otro lado, las muestras del agua de vertiente (Santa Cruz) y de canal (San

Javier) se muestran también cercanas al dominio de procesos de precipitación atmosférica, aunque siempre más influenciadas por procesos de interacción agua-roca.

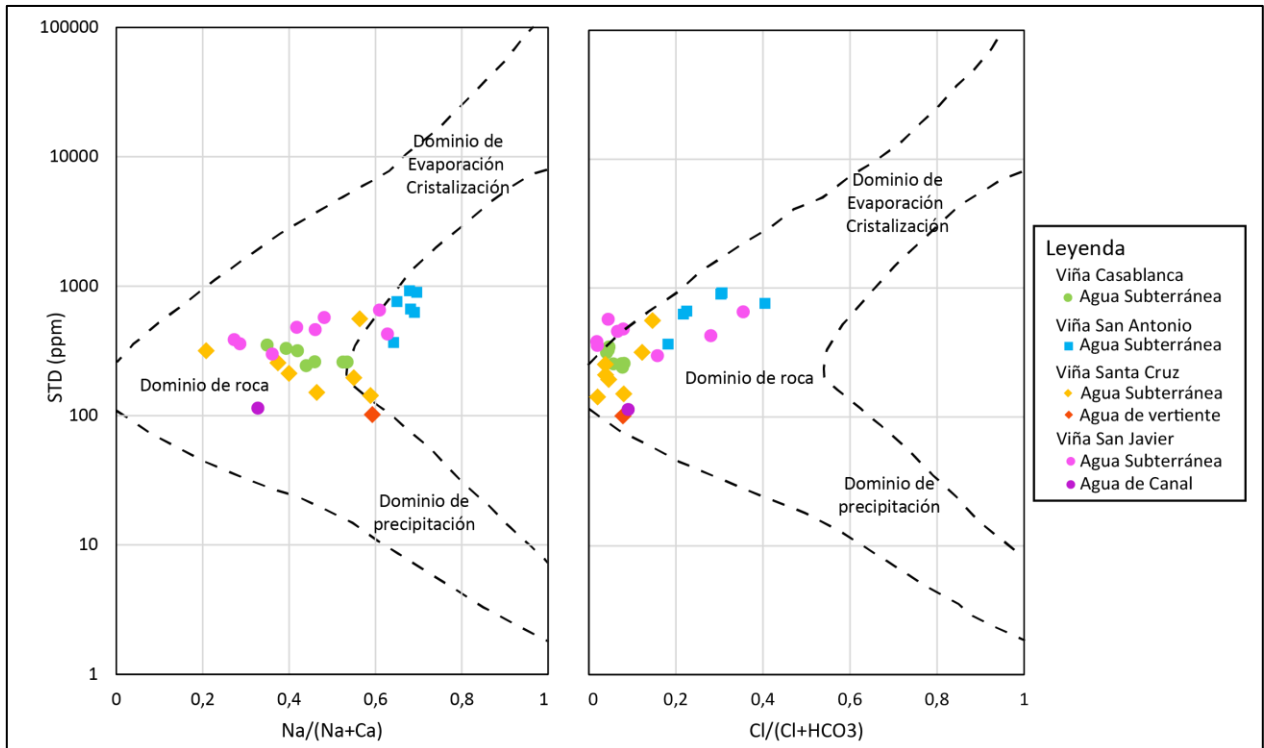


Figura 7.1: Diagrama de Gibbs (1970), razones de $Na/(Na+Ca)$ y $Cl/(Cl+HCO_3)$ en función del STD indicando los mecanismos que controlan la química del agua.

En la mayoría de las muestras, las aguas subterráneas de todas las viñas quedan clasificadas como aguas bicarbonatadas sódicas y/o cálcicas, y poseen conductividades eléctricas bajas, las cuales son características típicas de aguas subterráneas recargadas por agua lluvia (Laskmanan, 2003).

La presencia de cationes y aniones en el agua, tienen diversos orígenes ya sean geológicos o antropogénicos y el estudio de las relaciones entre ellos permite definir cuál es su fuente. Por ejemplo, los aniones sulfato, cloruro y nitrato pueden tener una fuente geológica (disolución de sulfatos, aerosol marino), así como también un origen antropogénico (residuos industriales, fertilizantes, entre otros). En los siguientes apartados se estudiará para cada viña cuáles son los procesos hidrogeoquímicos que controlan la química del agua subterránea.

7.2. CASABLANCA

Como fue mencionado, la química de las aguas subterráneas de la viña de Casablanca son típicas de cuencas recargadas por agua lluvia y controlada por procesos de interacción agua-roca.

Meteorización de silicatos:

Los resultados indican que el calcio y el bicarbonato son el catión y el anión respectivamente dominantes. De acuerdo a Rose (2002), una amplia superación del ion bicarbonato al resto de los aniones (sulfatos y cloruros), indica que el proceso de la meteorización de rocas es el que controla la composición del agua por sobre procesos de contaminación o influencia atmosférica. Justamente esto es lo que se observa en las muestras de agua subterránea, como se puede observar en los diagramas de Stiff y Schoeller (Figura 6.4 y Figura 6.6).

La abundancia del bicarbonato y calcio, se debe generalmente a la disolución de carbonatos como lo son la calcita y dolomita, pero también puede originarse por la meteorización de silicatos. En la zona de estudio no existen litologías que contengan carbonatos, por lo que la fuente principal debe ser producto de la meteorización de silicatos. Además, son aguas dominadas por calcio, sodio y bicarbonato, comunes en acuíferos con rocas aluminosilicatadas (Drever, 1997).

Prueba de ello es lo que se observa en el gráfico (A) de la Figura 7.2. El diagrama de Datta y Tyagi (1997) considera los valores de $(Ca^{2+} + Mg^{2+})$ vs. $(HCO_3^- + SO_4^{2-})$, donde las muestras que *plotean* sobre la equilínea son resultado de la disolución de carbonatos, mientras que las muestras que se disponen bajo la equilínea indican meteorización de silicatos. Tal como se observa en la figura, todas las muestras de la viña de Casablanca caen el campo de la meteorización de silicatos.

El diagrama (B) de la Figura 7.2, también evidencia que el aporte de HCO_3^- es producto de la meteorización de silicatos. Si el contenido de bicarbonato estuviera controlado por la disolución de carbonatos, las muestras deberían caer sobre la línea de igual concentración de $Ca+Mg$ y bicarbonato. En cambio se observa que los puntos se ubican bajo la línea de igual concentración, implicando un exceso de bicarbonato, el cual debe

balancearse con otros cationes, como el Na y K, que tienen como fuente la meteorización de silicatos.

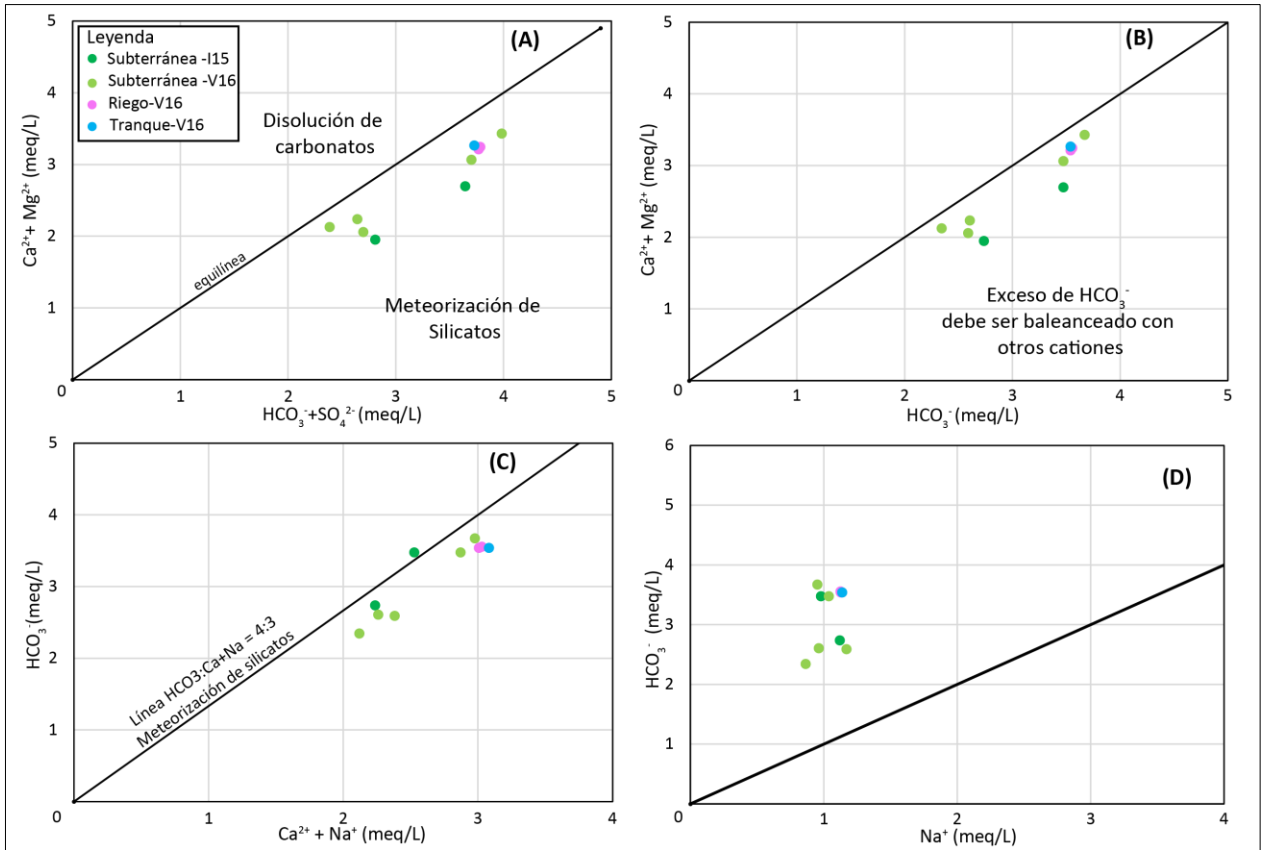
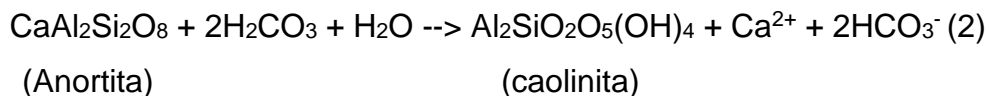
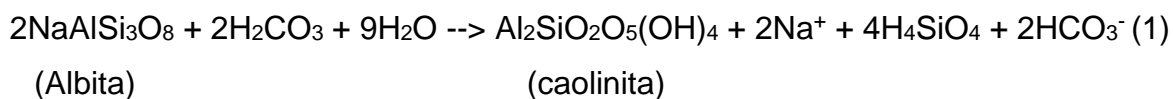


Figura 7.2: (A) Diagrama mostrando la disolución de carbonatos y la meteorización de silicatos. Se observa que el origen de los iones en solución es la meteorización de silicatos. (B) Diagrama que muestra el exceso de HCO_3^- , indicando origen por meteorización de silicatos. (C) Diagrama que muestra la relación entre Na, Ca y HCO_3^- , las muestras caen cercanas a la línea 4:3, indicando que el origen de los iones es la meteorización de plagioclasas (D) Relación entre sodio y bicarbonato.

La matriz de correlación (Tabla 6.1) evidencia la alta correlación del estroncio con el bicarbonato, calcio y magnesio lo que estaría indicando una fuente común de estos elementos. El estroncio se encuentra principalmente en plagioclasas y feldespatos potásicos (Rankama, 1954) por lo que esta correlación indica la meteorización de silicatos como proceso controlador de la geoquímica del agua y, en específico la meteorización de plagioclasas.

La meteorización de plagioclasas (albita y anortita), producto del ácido carbónico, lleva a la formación de minerales de arcilla como la montmorillonita, caolinita y gibbsita. Para precipitar la montmorillonita, se asume presencia de Mg en el agua la cual puede provenir de la meteorización de hornblenda y biotitas presentes en la roca. La transformación de las plagioclasas a caolinita se produce mediante las siguientes ecuaciones



El producto de la meteorización simultánea de albita y anortita (ambas presentes en la roca) liberan en solución los iones de calcio, sodio y bicarbonato. La relación de estos iones en el agua debería ser la siguiente $(\text{Na}+\text{Ca}):\text{HCO}_3=3:4$, considerando la meteorización de ambas. En el gráfico (C) de la Figura 7.2, se observan las muestras muy cercanas a la línea 3:4, lo que indicaría que la mayor fuente de Ca, Na y HCO_3 sería la meteorización de plagioclasas. Considerando los índices de saturación mineral de las muestras de agua, la anortita tiene índices negativos, es decir, se encuentra subsaturada, en todas las muestras indicando su meteorización, siendo la fuente principal del calcio y bicarbonato en el agua.

La presencia del sodio también evidencia la meteorización de silicatos. Razones Na/Cl mayores que uno indican que el sodio tiene como origen procesos de meteorización de silicatos (Meybeck, 1987). Las determinaciones de la razón Na/Cl en las muestras de la viña indican un valor promedio de 3,16 confirmando la hipótesis de su fuente producto de la meteorización de silicatos. Sin embargo, al observar el gráfico (D) de la Figura 7.2 del sodio en función del bicarbonato, se observa que no existe una correlación positiva de ambos iones, la cual se esperaría si el sodio proviniera de la meteorización de silicatos (Elango and Kannan, 2007). De hecho la matriz de correlación muestra que el sodio solo tiene correlación con el potasio (0,9). El índice de saturación de la albita indica que se encuentra en equilibrio, esto podría explicar el menor contenido de sodio en el agua, ya que se estiman tasas de meteorización bastante menores para la albita que para la anortita. Lasaga (1984) calculó que el tiempo para que un cristal de 1 mm de anortita se meteorice es de 112 años, en cambio el de un cristal de albita es de 80.000 años.

Otra explicación al bajo contenido de sodio y su baja correlación con el bicarbonato podrían ser procesos de intercambio catiónico entre el sodio y potasio con el magnesio y calcio.

Intercambio catiónico:

El intercambio catiónico generalmente ocurre cuando se producen mezclas de agua, por ejemplo, una intrusión marina o ingreso de contaminación que modifique fuertemente la química del agua. A su vez el acuífero debe tener condiciones para que se produzca el intercambio catiónico, esto quiere decir la presencia de arcillas, materia orgánica y óxido e hidróxidos metálicos, los cuales son capaces de producir el intercambio.

Si procesos de intercambio catiónico controlan la composición del agua, la relación del Na+K versus Ca+Mg debe ser lineal con pendiente negativa, es decir, el aumento de calcio y magnesio lleva a la disminución del sodio y potasio y viceversa. En el gráfico de la Figura 7.3, se plotean las muestras y se realiza una regresión lineal. Se observa que la pendiente de la ecuación que relaciona los dos términos no es negativa y que el coeficiente de correlación es bajo, por lo tanto, no hay evidencia de intercambio catiónico a partir de las muestras de agua subterráneas. Sin embargo, se observa que la concentración de sodio y potasio se mantiene más bien constante con el aumento del calcio y magnesio. Estudios en las calicatas de la viña (Castillo, 2017) señalan que los suelos presentan valores de capacidad de intercambio catiónico (CIC) que van desde 8,5 meq/100gr en el horizonte C hasta 16,70 meq/100gr en el horizonte B en suelo sin cultivar. Por lo tanto, se puede suponer que sí existen procesos de intercambio catiónico debido al contenido de arcillas, pero que este proceso no es controlador de la química del agua subterránea.

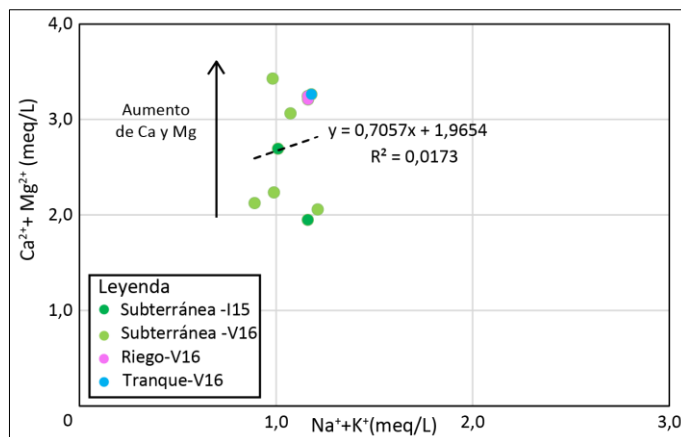


Figura 7.3: Diagrama indicando la relación entre calcio y magnesio con sodio y potasio.

El magnesio es el segundo catión más importante en las aguas subterráneas y su presencia se origina por la disolución de dolomita y/o sulfatos y la meteorización de aluminosilicatos.

Teniendo en cuenta que en la zona no existen litologías que contenga dolomita ni sulfatos, la probable fuente del magnesio en el agua, debe ser la meteorización de los aluminosilicatos en la zona, como lo son hornblenda, biotita y epidota presente en las rocas graníticas que predominan la cuenca (Contreras, 2017). Evidencia de ello es la alta correlación entre bicarbonato y magnesio como se puede ver en la Figura 7.4 y en la Tabla 6.1. Por otra parte, el cálculo del índice de saturación de la epidota es menor a -1, lo que indica que se encuentra subsaturado.

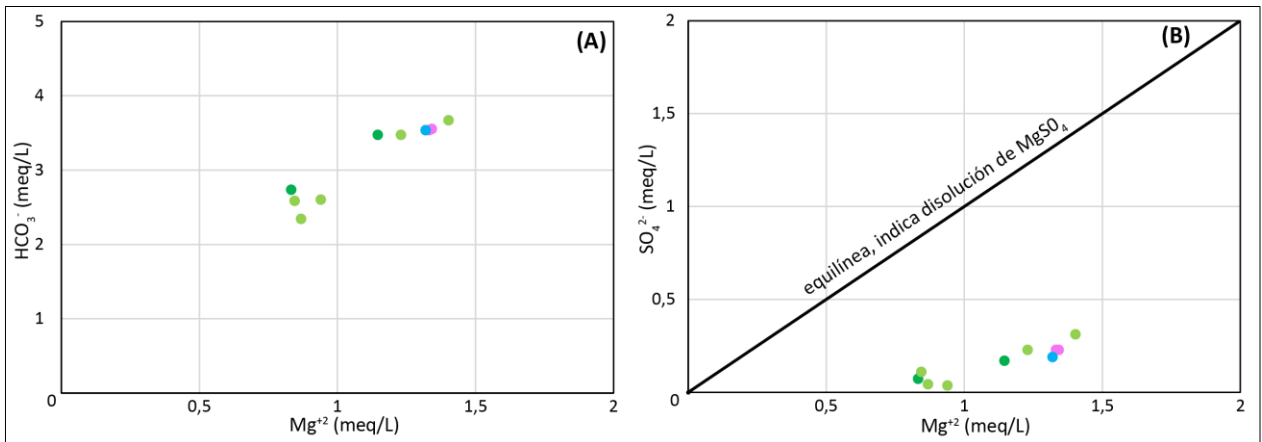


Figura 7.4: (A) Gráfico de magnesio vs. bicarbonato, indica su correlación. (B) Gráfico donde se observa la relación entre magnesio y sulfato. Se observa que la disolución de $MgSO_4$ no explica toda la concentración de magnesio.

Otra posible fuente puede ser la contaminación por agroquímicos como el $MgSO_4$, considerando la alta correlación (0,9) entre magnesio y el sulfato (Tabla 6.1). El sulfato de magnesio se emplea como corrector de la deficiencia de magnesio en el suelo. Otra evidencia de que parte del magnesio no es geogénico, es que en las muestras de los pozos V14 y V12, la concentración de magnesio es mayor que en los otros. Estos dos pozos se encuentran en la zona donde el nivel piezométrico está más deprimido, siendo la zona donde converge el flujo subterráneo. Además se observa durante el verano un aumento del ion, lo que podría estar asociado a la aplicación de agroquímicos en verano.

Sin embargo, la totalidad de la concentración de magnesio no se explica por la disolución de sulfato de magnesio, como se puede ver en el gráfico (B) de la Figura 7.4. Por lo tanto, la meteorización de aluminosilicatos como biotita, clorita, epidota y hornblenda, explican

la mayor parte del magnesio presente en las aguas subterráneas, mientras la aplicación de agroquímicos resulta ser un menor aporte al magnesio en las aguas subterráneas.

Contaminación agrícola:

Si bien las concentraciones del resto de los aniones, cloruros, sulfatos y nitratos, son mucho menores que las de bicarbonato, también pueden estar indicando contaminación derivada desde la agricultura, ya que no existen fuentes geológicas en la zona para esos aniones. La actividad agrícola afecta indirectamente o directamente la concentración de elementos inorgánicos en el agua subterránea, como lo son el NO_3 , N_2 , Cl , SO_4 , H , P , K , Mg , Ca , Sr , Ba , Ra y As (Bohlke, 2002). Los agroquímicos que se utilizan en el cultivo de la vid contienen como elementos activos el S , C , Cl , H , Mn , Zn , Si , N y F para plaguicidas, mientras los fertilizantes contienen P , N , F , K , Mg , Zn y B como elementos activos.

El **nitrato** natural en aguas subterráneas es característico de zonas áridas. Böhlke (2002) propone que el nitrógeno proviene de la meteorización de rocas con contenido de N , la degradación de materia orgánica en suelos y por deposición atmosférica.

En la zona de estudio la única fuente del nitrato podrían ser los fertilizantes como lo son el salitre, la urea $[\text{CO}(\text{NH}_2)_2]$, amonio $[\text{NH}_3]$ o el nitrato de amonio $[\text{NH}_4\text{NO}_3]$. La evidencia de esto es la correlación negativa con todos los iones a excepción del Cl (0,38), Mn y Co (0,4) (Tabla 6.1), elementos que se encuentran presentes en plaguicidas y fertilizantes. Por otra parte, en los pozos que se analizaron en invierno y verano, se observa un aumento de estos elementos en verano, razón por la cual se los asocia a la aplicación de fertilizantes. Sin embargo, los pozos con mayor concentración son los que se ubican en los bordes de las cuencas (V2-V44), lo que podría indicar que su fuente se deba a deposición atmosférica, la correlación negativa con bicarbonato, sulfato, sodio y potasio evidencian una fuente distinta al resto de los iones, atribuible a la deposición atmosférica de nitrato.

El ion **cloro** tiene como origen natural la precipitación atmosférica, la disolución de depósitos de sales y la meteorización de halita y evaporitas. Al contrario fuentes antropogénicas son: residuos sépticos, residuos industriales, fertilizantes y lixiviados de vertederos y basurales.

En la zona de estudio no existen fuentes de halita o evaporitas, por lo que se descarta esta fuente. Debido a la cercanía de la zona de estudio al mar, el Cl presente en el agua puede tener como proveniencia el aerosol marino. Evidencia de ello es la mayor concentración de cloro en los pozos más cercanos a los límites de la cuenca (dónde se produce la recarga). Sin embargo, la correlación entre el Na y Cl es baja (-0,191), lo que permite descartar un origen del Cl desde el mar, aunque producto del intercambio iónico esta relación puede verse afectada.

Al contrario, la correlación entre el ion Cl con cobre (0,6) y con el bromo (0,5) pueden indicar el manejo agrícola como fuente del Cl, agregado al sistema a través de fertilizantes. En los pozos donde se tomaron muestras en ambas campañas, se observa mayor contenido del ion Cl en verano, que coincide con la época de aplicación de agroquímicos, implicando entonces una fuente agrícola. Aunque al tratarse de un elemento conservativo, su aumento, en verano, podría estar relacionado a una mayor tasa de evaporación y, por lo tanto, mayor concentración en aguas. La evidencia no permite descartar una sola fuente para el cloruro, por lo que probablemente su fuente sea mixta, aerosol marino y fuentes agrícolas.

El ion **sulfato** tiene como fuente geológica la disolución de yeso y/o lixiviación de sulfuros. Ambos minerales no se encuentran presentes en la zona de estudio, por lo que la principal fuente a considerar será la aplicación de agroquímicos. Los flujos de retorno de agua de riego con influencia de la agricultura tienen razones SO_4/Cl mayores a 0.05 y están atribuidos a fertilizantes de yeso (Vengosh et al., 2002). En el caso de la zona de estudio, las razones son bastante mayores, con valores que van de 0,9 a 1,0. Además, en el diagrama de Schöeller-Berkaloff de la Figura 6.6 se observa la alta dispersión del sulfato a lo largo de todos los pozos, acompañado de un aumento de la concentración del anión en la línea de flujo subterráneo y un aumento de la concentración en verano.

El aumento de Ba, Br, Cr y Zn en verano podría estar relacionado al mayor uso de fertilizantes en esta estación, lo que está relacionado con el aumento de sulfato.

Se puede determinar entonces, que para los iones Cl, SO_4^{2-} y NO_3 , no existen fuentes geológicas y/o naturales de estos aniones por lo que se pueden atribuir a que son en gran parte, derivados desde la actividad agrícola y en el caso del cloro a procesos de concentración por evaporación.

Contaminación atmosférica:

En el gráfico de trazas de la Figura 6.8, se observa que el agua de lluvia tiene mayor concentración en Al, Cu, Mn y Zn que el agua subterránea. Se puede determinar que posiblemente que el Al en las agua de lluvia esté asociado a polvo en suspensión, y por otra parte el Cu, Mn y Zn podrían tener como fuente el uso de agroquímicos y pesticidas por aire.

7.3. SAN ANTONIO

La química de las aguas subterráneas de la viña de San Antonio está dominada principalmente por procesos de interacción agua-roca y evaporación.

Procesos de evaporación:

Como fue mencionado, las aguas de la viña de San Antonio están dominadas por procesos de interacción agua-roca pero también tienen una componente de evaporación como lo indica el diagrama de Gibbs (1970) en la Figura 7.1. Otro diagrama que evidencia los procesos de evaporación y concentración de elementos se observa en la Figura 7.5. En general cuando existen procesos de evaporación, la razón Na/Cl se debe mantener constante en función del STD, ya que estos elementos son conservativos y tienden a quedarse en la fase líquida (Lavitt et al., 1997). Se observa que la regresión lineal tiene una pendiente más bien horizontal, y muestra que la razón Na/Cl se mantiene acotada con la variación de la conductividad eléctrica, evidenciando procesos de evaporación.

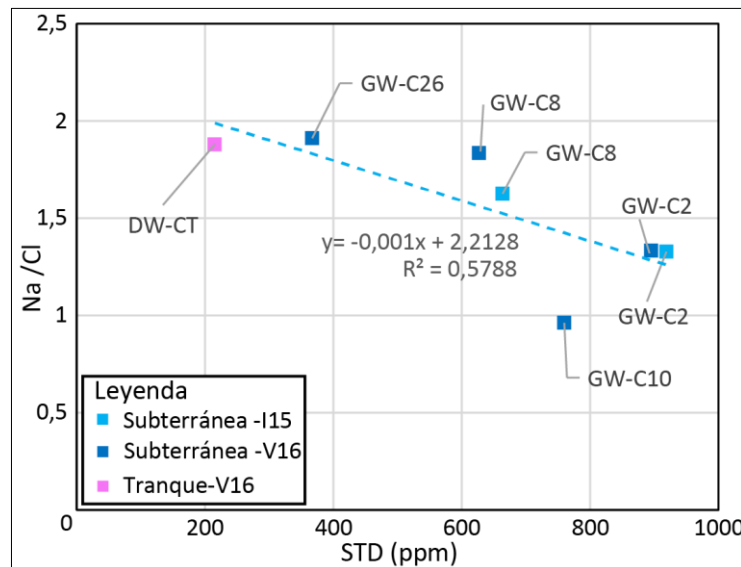


Figura 7.5: STD versus Na/Cl, indicando procesos de evaporación y concentración.

Disolución de halita, meteorización de silicatos y disolución de carbonatos:

El sodio es el catión dominante junto con el bicarbonato como anión, seguido del cloruro. La presencia del sodio puede estar relacionada a la disolución de halita, influencia de aerosol marino y a la meteorización de silicatos. La Formación Navidad se depositó en un ambiente costero (Gana et al., 1996), por lo que es probable que en su matriz exista alto contenido de sales. Además, debido a la cercanía de la viña al mar, esta recibe

constantemente aerosol marino y lluvia con influencia costera. Por otra parte, el análisis de DRX de las muestras de suelo indica que la composición de las plagioclasas es mayoritariamente andesina y albita, por lo tanto, es esperable que la meteorización de plagioclasas deje en solución un alto contenido de sodio.

En el gráfico (A) y (B) de la Figura 7.6, se presenta la concentración de sodio en función del bicarbonato y cloruro, respectivamente. Existe una alta correlación (0,83) entre el Na y Cl, pero en el gráfico (B) se observa como éste se desvía de la equilínea de disolución de halita, debido a una mayor concentración de Na. Esto indica que no todo el sodio presente, deriva de la disolución de halita o aerosol marino, sino que también puede provenir de la hidrólisis de plagioclasas, anfíboles, clorita y biotita. Razones Na/Cl >1 indican que el sodio proviene de la meteorización de silicatos, en todas las muestras la razón es mayor a 1, a excepción del pozo C10 donde es menor y la muestra se encuentra muy cercana a la línea de disolución de la halita.

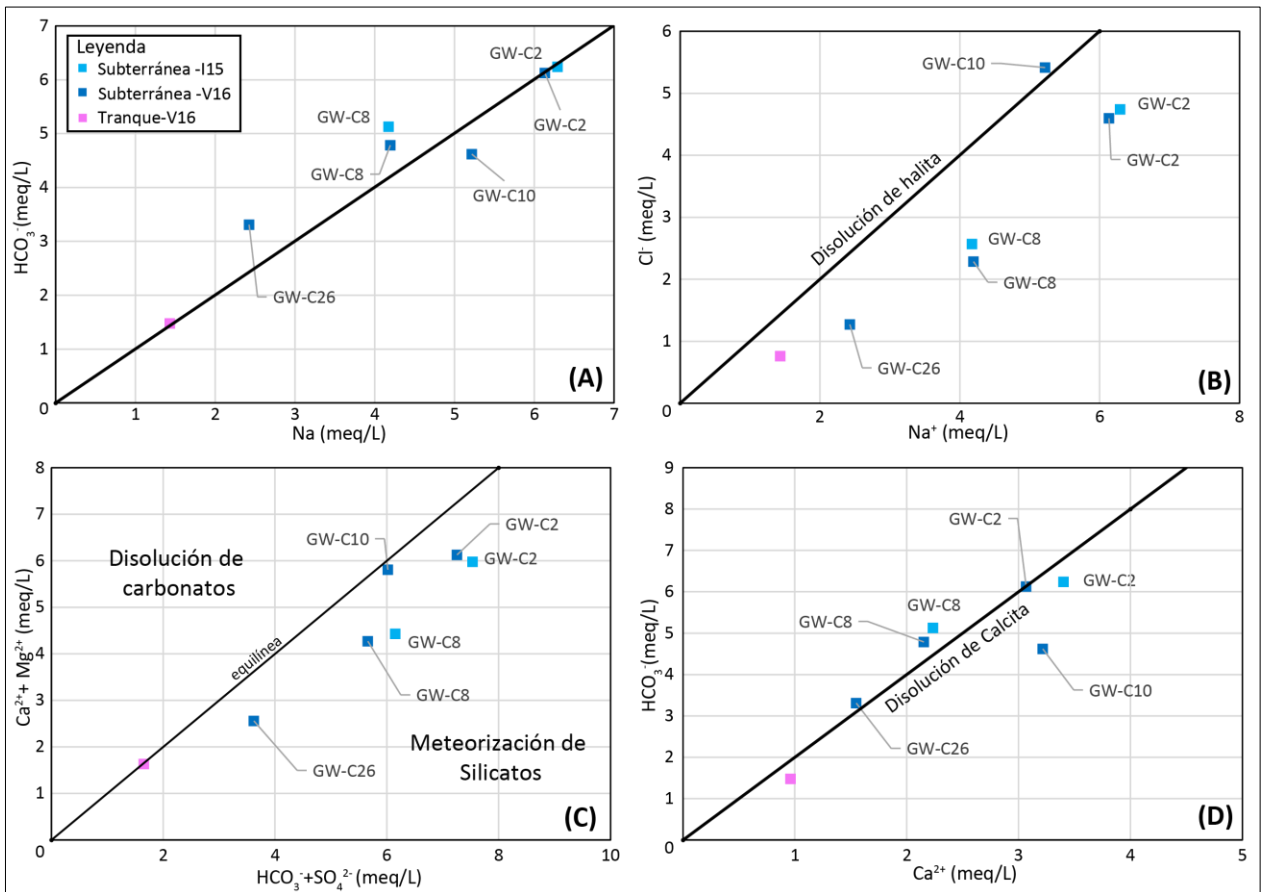


Figura 7.6: (A) Diagrama de sodio en función del bicarbonato, indicando su buena relación (B) Gráfico de Cl vs. Na que indica que no todo el sodio proviene de la disolución de halita o aerosol marino (C) Diagrama mostrando la disolución de carbonatos y meteorización de silicatos controlan la química del agua (D) Diagrama indicando la línea de disolución de la calcita.

Otra evidencia de la meteorización de silicatos y, en específico de plagioclasas es la alta correlación entre sodio, bicarbonato, estroncio y sílice. Además, el aumento del bicarbonato con el aumento del sodio, revela una fuente común de ambos iones, como se observa en el gráfico (A).

El gráfico (C) de Datta y Tyagi (1997) en la Figura 7.6, señala que la química del agua está dada por la meteorización de silicatos y, en los casos de las muestras C10 y de tranque, también por la disolución de carbonatos. Finalmente, el gráfico (D) muestra la línea de disolución de la calcita. Las muestras caen muy cercanas a la línea de disolución, en específico la muestra C26 y C2. De hecho, la Formación Navidad tiene secuencias ricas en coquinas, en terreno se observó que todo el cuartel CT posee conchas en descomposición y el análisis de DRX identificó calcita en los suelo de las calicatas CT-6 y CT-1.

El magnesio muestra alta correlación con el bicarbonato al igual que la sílice, lo que podría revelar meteorización de aluminosilicatos, los cuales están presente tanto en las rocas intrusivas de la zona (biotita, anfíbol) y en la secuencia malvilla (clorita y actinolita). Evidencia de ello es el aumento de Mg junto con el aumento del bicarbonato en el gráfico (A) Figura 7.7 y la alta correlación de magnesio con el sílice (0,9).

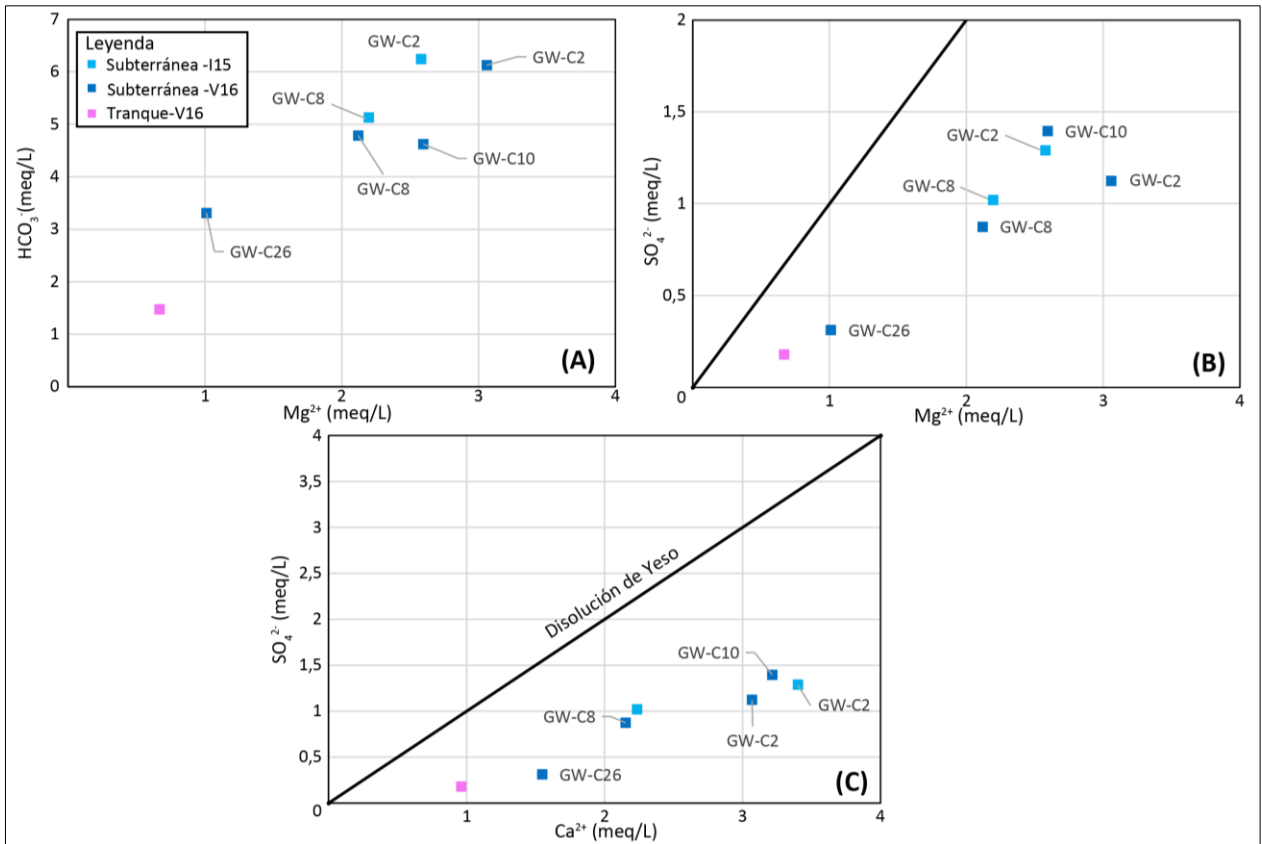


Figura 7.7: (A) Mg en función del bicarbonato (B) Mg en función de sulfato, indicando buena correlación, aunque la totalidad del magnesio no se explica por la disolución de $MgSO_4$. (C) Gráfico indicando la disolución del yeso.

Contaminación agrícola

Otra posible fuente de magnesio puede provenir de la contaminación por fertilizantes, lo que se evidencia por la alta correlación (0,95) con el sulfato. En el gráfico (B) de la Figura 7.7, se observa el aumento del sulfato con el aumento de Mg. Sin embargo, la totalidad del magnesio no se explica solamente por la disolución de $MgSO_4$, sino que, en parte, proviene también de la meteorización de silicatos, tales como anfíboles y biotita.

En terreno se comprobó el excesivo uso de azufre como fungicida en las parras para combatir el Oídio (enfermedad causada por hongos en las plantas) durante el verano. El azufre es molido finamente y se esparce por sobre las parras, su aplicación no se ve restringida solamente a la planta, por lo que el azufre también llega al suelo. Posiblemente la aplicación de azufre es parte de la fuente de sulfato en el agua. En las muestras de invierno se observa una mayor concentración de sulfato que en el verano, lo que puede deberse a que durante las lluvias invernales se produce la disolución e infiltración del azufre hacia las aguas subterráneas.

En la DRX de las muestras de suelo, no se identificó yeso, sin embargo, si se observó en las calicatas, en específico en la calicata CT-5. El yeso se muestra cristalino en el suelo (Figura 7.8). Castillo (en preparación), atribuye una fuente antropogénica a la ocurrencia del yeso en suelo. El cálculo del índice de saturación indica que el mineral está subsaturado y, por lo tanto, probablemente la disolución de este yeso sea la fuente de sulfato y, en parte, del magnesio en el agua subterránea. En el gráfico (C) de la Figura 7.7 se observa la buena relación del calcio y el sulfato, lo que indicaría una fuente común, sin embargo, hay un exceso de calcio, el cual proviene adicionalmente de la disolución de carbonatos y la meteorización de silicatos.

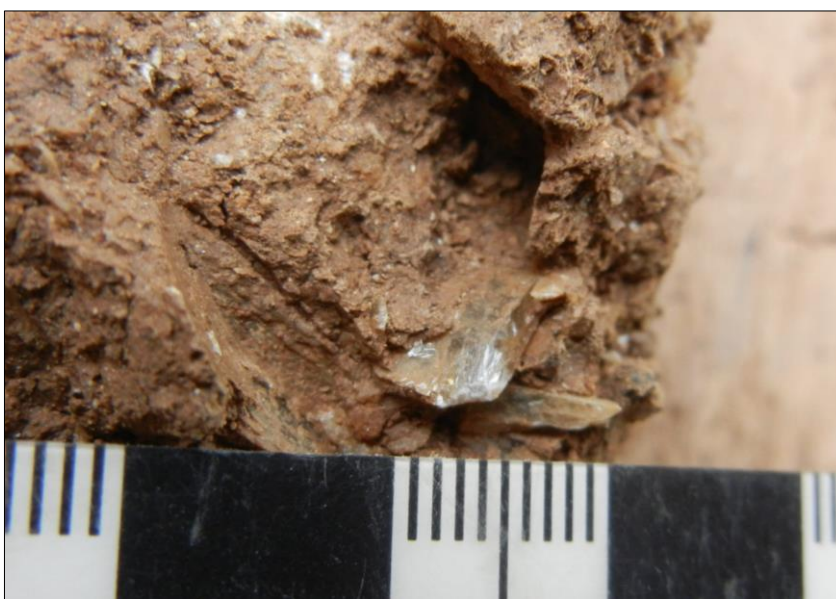


Figura 7.8: Fotografía de cristal de yeso observado en el suelo de la calicata CT-5

Otra evidencia de la presencia de fertilizantes en el agua subterránea es el aumento de Br y Cr en verano, elementos que también se encuentran asociados a pesticidas y fertilizantes.

Contaminación de animales

En el gráfico de nitrato en función de STD (Figura 6.17), se puede observar que en los pozos C2 y C8, existe una alta concentración de nitratos en ambas campañas (con valores entre 41 y 59 ppm). El alto contenido de este anión, puede deberse a la presencia de ganadería en las cercanías del pozo. En específico el pozo C2 es utilizado para la extracción de agua para los animales, dónde los abrevaderos, que se ubican al costado de los pozos, presentan estiércol de animales, lo que puede ser fuente de la alta

concentración de nitratos en agua (59 ppm). Además, se observa una alta concentración de potasio, elemento que también se encuentra en altas cantidades en el excremento animal (Levasseur, 2002). El caso del pozo C8 es similar, sin embargo, éste se ubica próximo a la zona de las parras por lo que su fuente podría estar también relacionada a los fertilizantes. Evidencia de la fuente animal y de fertilizantes, es la correlación del nitrato con potasio (0,57). La baja correlación de ambos elementos puede deberse a que el potasio es adsorbido por las arcillas, disminuyendo su concentración en el agua. Otra correlación importante es la correlación negativa del nitrato con el pH, la que puede explicarse producto del proceso de nitrificación que disminuye el pH del agua.

Contaminación atmosférica:

Al igual que en la viña de Casablanca se observa una mayor concentración de Al y Zn en las aguas lluvias que en las aguas subterráneas. Fuentes del aluminio y zinc podría ser contaminación por aportes atmosféricos provenientes de San Antonio, en específico desde el puerto de San Antonio. Por otro lado, los contenidos de Zn pueden tener como fuente la aplicación de agroquímicos.

7.4. SANTA CRUZ

Las aguas subterráneas de la viña de Santa Cruz se caracterizan por procesos de interacción agua-roca; su química, rica en bicarbonato, es típica de cuencas recargadas por agua de lluvia. En el diagrama de Gibbs en la Figura 7.1, se observa que las muestras de esta viña caen más cercanas a la zona de dominio de precipitación, lo que se explica por la cercanía de la cuenca al río Tinguirrica, donde la química del agua subterránea tiene influencia del agua proveniente del río.

Meteorización de silicatos:

Los resultados de las muestras de agua indican que la meteorización de silicatos es el proceso que controla la composición del agua. Evidencia de ello, es que en la mayoría de las muestras el bicarbonato supera ampliamente al resto de los aniones (Rose, 2002). Sin embargo, en la muestra GW-L9-V16, el sulfato se encuentran en concentraciones mayores al bicarbonato y en la muestra GW-L21-V16 el sulfato y nitrato alcanzan concentraciones cercanas al bicarbonato, lo que podría indicar contaminación en estos pozos en específico.

El bicarbonato puede tener como fuente la disolución de carbonatos y/o silicatos. En el gráfico (A) de la Figura 7.9 que presenta la concentración de calcio en función del bicarbonato, se evidencia que las muestras caen muy cercanas a la línea de disolución de calcita. Sin embargo, en la cuenca no se identificaron rocas con carbonatos en su mineralogía y el análisis de DRX en suelos tampoco señaló la presencia de éstos. A su vez el cálculo del índice de saturación (IS) indicó que la calcita se encuentra en equilibrio en todas las muestras, por lo que probablemente la fuente de bicarbonato sea la meteorización de silicatos. Prueba de ello es el gráfico (B) de Datta Taggi (1997) en la Figura 7.9, que indica que la meteorización de silicatos es el proceso que domina la presencia de bicarbonato en el agua por sobre la disolución de carbonatos. Otro gráfico que permite evidenciar la fuente del bicarbonato es el gráfico (C) en la Figura 7.9, que grafica el bicarbonato en función de magnesio y calcio. Si el proceso de disolución de precipitados carbonatados como CaCO_3 y $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ controlara la química del agua, las muestras deberían ubicarse sobre la equilínea, lo que se observa solo en las muestras GW-L9-V16 y GW-L21-V16, que poseen un química diferente al resto de las muestras.

En cambio el resto de las muestras presenta un exceso de bicarbonato, el cual debe ser balanceado por otros cationes, en este caso el sodio y potasio.

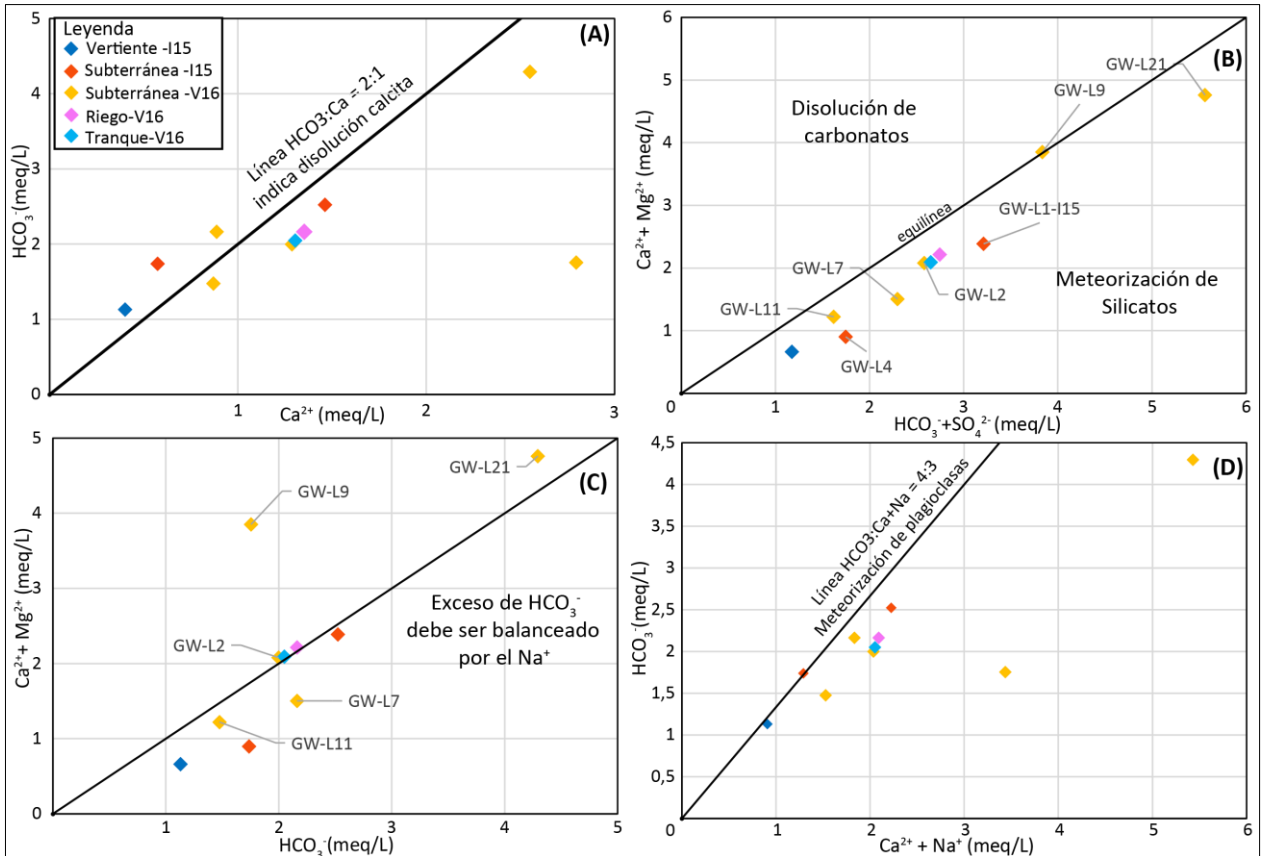


Figura 7.9: (A) Diagrama mostrando la línea de disolución de la calcita. (B) Diagrama indicando que la química del agua está controlada por la meteorización de silicatos. (C) Diagrama del bicarbonato en función del calcio y magnesio, evidenciando el exceso de bicarbonato el cual debe ser balanceado por sodio. (D) Diagrama que muestra la relación entre Na, Ca y HCO_3^- , las muestras cercanas a la línea tienen como origen la meteorización de plagioclasas.

En la mayoría de las muestras, el calcio y sodio poseen concentraciones similares, siendo ambos dominantes, como se observa en el diagrama de Schoeller (Figura 6.26). Excepción son los pozos GW-L9-V16 y GW-L21-V16, los cuales tienen respectivamente calcio y sodio como dominantes. Analizando los resultados de DRX, realizado a muestras de suelo y roca, se observó la presencia de anortita en las muestras de roca pero no en las de suelos, lo que indica su meteorización y, por lo tanto, la fuente de calcio y bicarbonato en el agua. Además según el cálculo de IS, este mineral se encuentra subsaturado. En los perfiles de suelo se observa, en general, una disminución de albita desde el horizonte C al horizonte A, pero un aumento en porcentaje con respecto a la roca (Figura 3.9). En el caso de la andesina se observa una disminución desde la roca a las muestra de suelo, lo que indica que este mineral se está meteorizando.

La meteorización de plagioclasas, producto del ácido carbónico, lleva a la precipitación de caolinita mediante la ecuación 1 y 2 (Apartado 7.2.Casablanca). Como ya fue mencionado, el producto de la meteorización simultanea de albita y anortita (ambas presentes en la roca) liberan en solución los iones calcio, sodio y bicarbonato en la siguiente relación $(Na+Ca):HCO_3=3:4$. En el gráfico (D) de la Figura 7.9, se observa que las muestras caen muy cercanas a la línea 3:4, lo que indicaría que la mayor fuente de Ca, Na y HCO_3 sería la meteorización de plagioclasas. Otra evidencia de la meteorización en particular de las plagioclasas, se observa en la alta correlación entre bicarbonato, sodio y estroncio que señala a las plagioclasas como fuente común de estos elementos.

El tercer catión más importante corresponde al magnesio. Las fuentes geológicas de magnesio son la disolución de dolomita, disolución de sulfatos y la meteorización de aluminosilicatos. Al igual que en Casablanca, en la cuenca de Santa Cruz no hay litologías que contengan dolomita o sulfatos por lo que la fuente más probable es la meteorización de aluminosilicatos. De acuerdo a las descripciones de Contreras (2017) en los intrusivos y lavas de la zona se identificaron anfíboles, biotita y clorita, además, el cálculo de IS de estos minerales, indica que se encuentran subsaturados. La meteorización de anfíboles, clorita y biotita deja en solución magnesio, sodio, calcio y bicarbonato. En el gráfico (A) de la Figura 7.10 se observa el aumento del bicarbonato con el aumento del magnesio, lo que podría indicar una fuente común. Otra evidencia de este proceso es la alta correlación del magnesio con bicarbonato (0,93), calcio (0,83) y sodio (0,89) (Tabla 6.5).

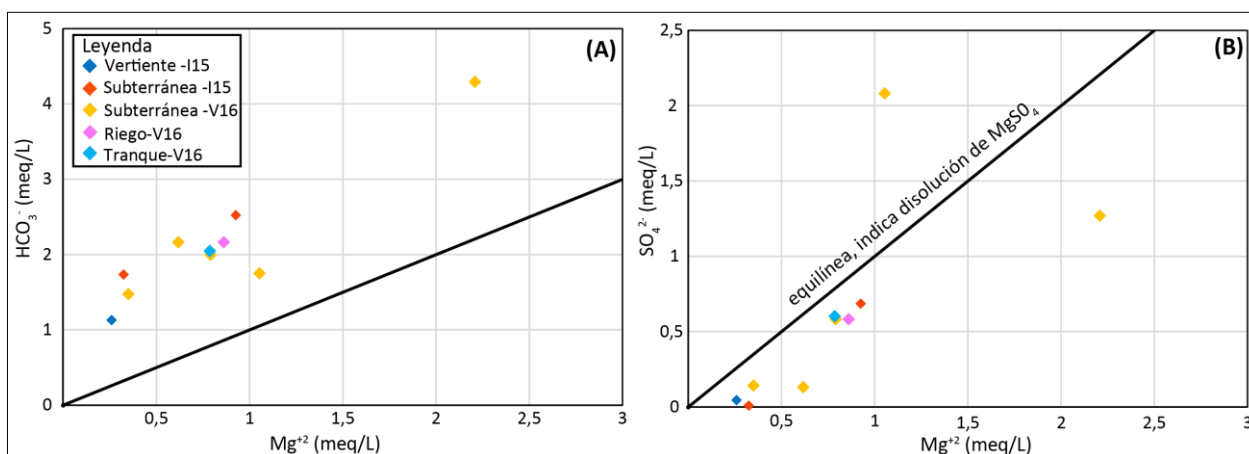


Figura 7.10: (A) Gráfico de magnesio versus bicarbonato. (B) Gráfico que indica la línea de disolución del $MgSO_4$, el cual corresponde a un fertilizante que tiene como objetivo corregir la deficiencia de magnesio.

Sin embargo, el magnesio también muestra buena correlación con el cloro y nitrato. En el gráfico (B) de la Figura 7.10, se muestra el sulfato en función del magnesio y se observa que las muestras se ubican cercanas a la línea de disolución del $MgSO_4$. Analizando el gráfico del magnesio en función de STD (Figura 6.27), se identifica que la muestra con mayor concentración de magnesio corresponde al L21, el cual también tiene alto contenido de nitrato y sulfato, indicando algún tipo de contaminación.

Contaminación:

Evidencia de la contaminación del agua subterránea puede observarse en la química del agua de los pozos GW-L21 y GW-L9, los cuales presentan mayor STD que el resto de las muestras. En el caso del pozo GW-L9, el sulfato corresponde al anión dominante. A diferencia de la cuenca de las viñas de Casablanca y San Antonio, en Santa Cruz existen pequeños poblados en la cuenca, por lo que la contaminación del acuífero, no solo tendría como fuente la lixiviación de fertilizantes producto de la agricultura, sino que también podría tener como fuente residuos sépticos.

Esto es lo que se observa en la muestra GW-L21, donde el pozo pertenece a una casa del poblado que se identifica en la Figura 6.21. La muestra fue recolectada un día después de que el pozo se utilizará para regar la huerta de la casa (hasta que se secó), por lo tanto, el agua muestreada está nueva, y no contaminada exclusivamente dentro del pozo. Analizando la química de la muestra de agua, probablemente la contaminación del acuífero en esta zona se deba a la infiltración de aguas servidas hacia el acuífero. La química de las aguas grises y negras se caracteriza por alto el contenido de nitrógeno (especialmente en aguas negras), fosfato (especialmente en aguas grises), sodio, cloruros y sulfatos (Franco, 2007). La prueba de la contaminación con este tipo de aguas es la alta conductividad eléctrica de la muestra, con un valor de 777 $\mu S/cm$ versus el promedio del resto de las agua que es de 309 $\mu S/cm$, lo cual indicaría que la fuente de iones en solución es diferente a la meteorización de silicatos. La elevada conductividad de la muestra se explica por el alto contenido de nitrato (38 mg/L), cloro (45 mg/L), sodio (66 mg/L) y fósforo (0,2 ppm) en el agua de pozo. Al analizar el pozo GW-L11, que también se ubica en una zona de poblado, se observa que igualmente tiene un elevado contenido de nitratos. Además se observa en la matriz de correlación (Tabla 6.5), que el grupo $Cl-Na-NO_3^-$ tiene correlación alta ($>0,9$). Por lo tanto, se puede concluir que la

fuentes de nitrato se debe principalmente a la contaminación del acuífero con aguas grises y negras. No obstante, el pozo GW-L9 también muestra alto contenido de nitrato, que pudiera indicar una fuente agrícola adicional.

La ocurrencia de sulfato en las aguas subterráneas, también indicaría contaminación, debido a que no existen fuentes geogénicas de este anión en la cuenca. El sulfato podría tener como origen la aplicación de fertilizantes sulfatados tal como $MgSO_4$. La matriz de correlación, muestra que el sulfato tiene alta correlación con el calcio y el boro, ambos elementos activos en fertilizantes. En los gráficos de sulfato y calcio en función del STD (Figura 6.27), se observa que la muestra proveniente del pozo GW-L9, tiene STD alto, en comparación al resto de las muestras, y además, es la que presenta mayor concentración de sulfato y calcio. Por lo tanto, al igual que en el pozo GW-L9, se evidencia una fuente no geogénica que aporta calcio, magnesio y sulfato a las aguas subterráneas (Figura 6.26). Probablemente la fuente de estos elementos sea la aplicación de fertilizantes sulfatados en las cercanías del pozo. Cabe destacar que el pozo del cual se obtuvo esta muestra corresponde al pozo del agua potable rural (APR), donde si bien las concentraciones de sulfato se encuentran en norma, es necesario evaluar periódicamente la calidad del agua para prevenir un empeoramiento del agua que consume la población. Más indicios que demuestran la contaminación con sulfato del agua subterránea, es su alta variabilidad en todos los pozos y la alta correlación entre el calcio-sulfato-magnesio en la matriz de correlación (Tabla 6.5), que tendrían como fuente fertilizantes. Finalmente, Vengosh (2002), indica que los flujos de retorno de agua de riego con influencia de la agricultura tienen razones SO_4/Cl mayores a 0,05. En las muestras de la viña se observa que todas las muestras tienen razones mayores a 0,17, lo que indica influencia de la agricultura.

7.5. SAN JAVIER

Las aguas subterráneas de la viña de San Javier se caracterizan por procesos de interacción agua-roca, y su química rica en bicarbonato es típica de cuencas recargadas por lluvia.

Procesos de evaporación:

Al igual que en la viña de San Antonio, el diagrama de Gibbs (1970) indica que la química del agua está dominada por la interacción agua-roca, pero también por procesos de evaporación (Figura 7.1). Esto se explica por un nivel freático somero que permite que la evapotranspiración sea un factor dominante en la química del agua. Por otro lado, el agua del canal tiene una componente que evidencia dominio de precipitación.

A diferencia del resto de las viñas, en San Javier, el acuífero se aloja en distintas litologías. La mayoría de los pozos se ubican sobre los depósitos epiclásticos, con excepciones en los pozos M1 y M4 los cuales se ubican sobre el depósito sedimentario lacustre y el depósito fluvial secundario, respectivamente.

Meteorización de vidrio volcánico y silicatos:

El acuífero de la viña de San Javier se aloja en un depósito de oleada piroclástica generado a partir de actividad volcánica explosiva. Los componentes principales de este depósito clasificado como toba de ceniza, corresponden a ceniza, vidrio y menores contenidos de granos monominerales subredondeados, como cuarzo, feldespato y minerales máficos (Contreras, 2017). Por lo tanto, la meteorización de vidrio volcánico y ceniza, son probablemente la mayor fuente de iones en el agua. La meteorización de ceniza volcánica, al igual que la de rocas ígneas, produce arcillas, óxidos e hidróxidos, pero adicionalmente produce minerales amorfos particulares como alófanos ($1.0-2.0\text{SiO}_2 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2.5-3.0\text{H}_2\text{O}$), imogolita ($\text{SiO}_2 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) y ópalo. En la Figura 7.11, se grafica la concentración de bicarbonato en función del sodio (A), magnesio (B) y calcio (C). La meteorización de vidrio puede explicar la baja correlación entre Mg y Na con el bicarbonato.

En la viña se realizaron análisis de química total en dos muestras de roca, una toba lítica y una toba vítrea. La química indica que el sodio y potasio (5,7-2,2% de Na_2O , 2,8-3,38%

de K_2O) son predominantes en relación al magnesio y calcio (1,1-0,2% de MgO , 1,7-1,0% de CaO). Además la química de las aguas subterráneas de la viña de San Javier, es la que presenta mayores concentraciones de sílice (27,2-39,1 ppm), lo que se debe a la mayor tasa de meteorización de las rocas volcánicas frente a rocas intrusivas. El alto contenido de sílice en las aguas se ve reflejado en el índice de saturación del cuarzo que es mayor a 1. En las viñas de Casablanca y Santa Cruz se observaba que el contenido de sodio en el agua estaba acotado y no presentaba alta correlación con el bicarbonato, esto debido a que la química de agua era producto de la meteorización de plagioclasas cálcicas por sobre las sódicas. En cambio en San Javier la meteorización del vidrio a alófonos, ópalo y arcillas deja en solución los cationes presentes en el vidrio, entre ellos el sodio. Así mismo la alta correlación de sílice con sodio y potasio refleja este proceso.

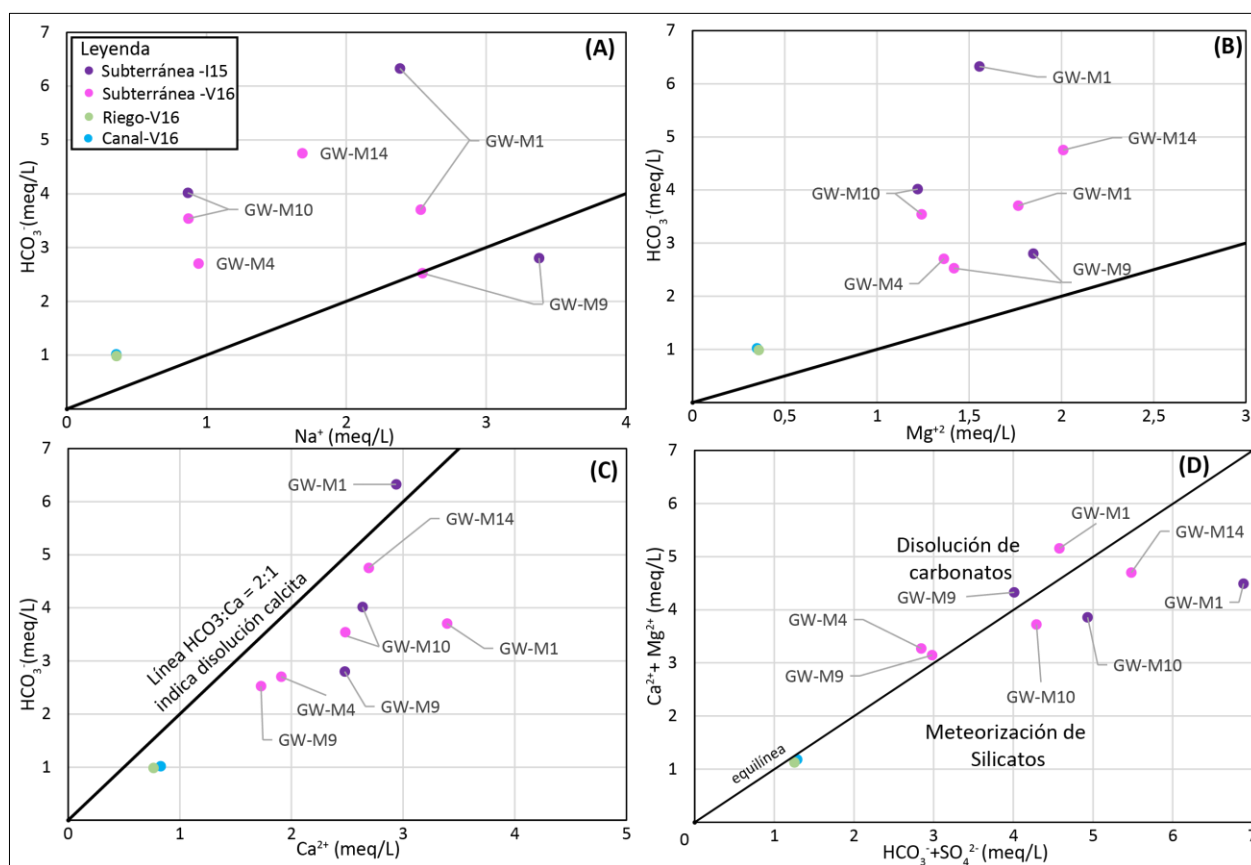


Figura 7.11: (A) Diagrama de sodio en función del bicarbonato. (B) Diagrama de magnesio en función del bicarbonato. (C) Diagrama de calcio en función del bicarbonato. (D) Diagrama indicando que la química del agua está controlada por meteorización de silicatos y precipitación de carbonatos.

La presencia de cationes y aniones en el agua también provienen, en parte, de la meteorización de silicatos, ya que en la cuenca hay presencia de silicatos, aunque en menor abundancia. Estos minerales están presentes sobre todo en los pozos M1 y M4,

que se ubican sobre depósitos sedimentarios lacustres y fluviales secundarios respectivamente. Al analizar los resultados de DRX realizado en suelos y rocas, se observa que los suelos desarrollados sobre la toba están compuestos principalmente por cuarzo (aprox. 50%), plagioclasa, feldespato potásico, epidota y arcillas. Por otro lado, los suelos desarrollados sobre el depósito sedimentario lacustre tienen menor porcentaje de cuarzo y mayor contenido de arcillas, lo que podría indicar mayor porcentaje de silicatos.

Evidencia de esto es que bicarbonato supera ampliamente el resto de los aniones, indicando meteorización de silicatos (Rose, 2002). El gráfico de Datta y Tyagi (1997) en la Figura 7.11, permite determinar si la química del agua es producto de la meteorización de silicatos y/o carbonatos. En el gráfico se observa que las muestras caen en ambos campos, lo que indicaría que la fuente de cationes y aniones sería la disolución de carbonatos y la meteorización de silicatos.

Disolución de carbonatos:

Los resultados de análisis de DRX y el mapeo geológico no revelaron la presencia de carbonatos en la cuenca. No obstante, al analizar los resultados de pH en las muestras, se evidencia un claro aumento de pH en la temporada de verano. Así mismo el índice de saturación mineral de los carbonatos en las muestras, indica un claro aumento de su valor en verano en los pozos donde se ha medido en ambas campañas (especialmente GW-M9 y GW-M10), pasando del equilibrio a la sobresaturación. Una hipótesis es que al final de la época de precipitaciones y debido a la evaporación y concentración de aniones, se produzca precipitación de carbonatos y luego, al inicio de las lluvias, estos se disuelvan. Castillo et al. (2016) realizó mediciones de pH en las calicatas donde también observó un claro aumento del pH en verano, indicando algún tipo de buffer de pH en el suelo, probablemente algún carbonato, apoyando la idea de la precipitación en verano y disolución en invierno.

Contaminación:

El acuífero en estudio tiene alta susceptibilidad a ser contaminado, esto debido al nivel freático somero. Procesos de contaminación pueden explicar la mayor variabilidad en la concentración de elementos en el agua, los cuales pueden estar asociados a aportes

locales. Evidencia de la contaminación del agua subterránea se observa en la química de la muestra de invierno del pozo GW-M9, la cual presenta mayor STD que el resto de las muestras y tiene mayor concentración de nitrato (155 mg/L), sulfato (58 mg/L), sodio (77,68 mg/L), cloruro (64 ppm) y potasio (26,41 mg/L) (Figura 6.36 y Figura 6.37). Al igual que en la cuenca del área de Santa Cruz, en la cuenca de San Javier existen pequeños poblados por lo que la contaminación tendría como fuente la agricultura y también residuos sépticos desde los poblados o casas. Justamente es lo que se percibe en el pozo GW-M9, el cual se sitúa en el sitio de una casa. Analizando la química de la muestra de agua, probablemente la contaminación en esta zona se explica por la infiltración de aguas servidas hacia el acuífero, debido a las altas concentraciones, ya mencionadas, y a que la muestra tiene alta concentración de fosfato (0,34 ppm), el cual es abundante en aguas grises (Franco, 2007).

Sin embargo, altas concentración de nitrato también se observan en las muestras de verano de los pozos M9, M4 y M14, lo que podría indicar una fuente asociada a la actividad agrícola. Evidencia de esto es el aumento de las concentraciones de nitrato en las muestras de verano, la alta correlación del grupo Cl-NO₃-K-U-P-Y y la correlación negativa del nitrato con el pH (-0,51), lo que está asociado a procesos de denitrificación. Lapworth (2017) reportó altas concentraciones de Se y U en aguas subterráneas asociadas a denitrificación, por lo que el grupo de correlación ya mencionado tendría como fuente la aplicación de fertilizantes ricos en nitratos y fosfatos.

La ocurrencia de sulfato en la cuenca también indicaría contaminación, debido a que no existen fuentes geogénicas de este anión en la cuenca. El sulfato podría tener como fuente la aplicación de fertilizantes sulfatados como lo son el MgSO₄. La matriz de correlación muestra que el sulfato tiene alta correlación con el calcio, magnesio, uranio y selenio, entre otros elementos activos en fertilizantes. Más indicios que demuestran la contaminación con sulfato del agua subterránea es su alta variabilidad en todos los pozos y que, al igual que en las otras viñas las razones SO₄/Cl son mayores a 0,16, lo que indica flujos de retorno de agua de riego con influencia de la agricultura (Vengosh, 2002).

8. ANÁLISIS COMPARATIVO EN LAS CONDICIONES HIDROGEOLÓGICAS PARA EL CULTIVO DE LA VID.

El manejo de la irrigación en la vid, resulta ser uno de los principales factores en la calidad del fruto. Es por esto que en el presente capítulo, se analizan las condiciones hidrogeológicas e hidroquímicas de las cuatro viñas estudiadas con el fin de identificar aspectos que influyan en las condiciones del cultivo y así generar conocimientos que impacten en la administración, manejo y desarrollo sustentable de las viñas, los que también permitan generar criterios de selección y caracterización de predios. Además frente al pronóstico del cambio climático, el estudio y conocimiento de los recursos hídricos en el entorno de una viña permiten mejorar la gestión del agua.

8.1. ASPECTOS FÍSICOS

El exceso de agua en la vid tiene como resultado bayas de gran tamaño, con concentraciones reducidas de antocianos (sustancias responsables del color del vino) y azúcares, entre otros. En cambio, una deficiencia de agua produce pequeñas bayas sin sabor, reduce el rendimiento y disminuye el desarrollo de las raíces (Jackson, 2014). Dependiendo el objetivo de producción del viticultor, es decir, negocio por cantidad o por calidad, ciertas características hidrogeológicas distintivas, van a ser requeridas.

Si el objetivo del negocio es la producción de kilos, lo que se busca es entregar gran cantidad de fertilizantes y agua para evitar estrés hídrico. En el caso contrario, en que el negocio sea la calidad del fruto, se debe manejar el cultivo en condiciones de estrés hídrico moderado a alto.

López et al. (2017a), demostró en las viñas en estudio, que la cantidad y desarrollo de raíces finas y muy finas (captadoras del agua), está relacionada a la disponibilidad de agua. En el caso de la viña de San Javier la disponibilidad de agua fue relacionada al nivel freático somero y a la presencia de canales. Algo similar se observó en la viña de Santa Cruz donde plantas cercanas a paleocanales y canales mostraron mayor desarrollo de raíces finas y muy finas. Sin embargo, un exceso de agua, es decir anegamiento del suelo conlleva a la muerte de las raíces. Esto se observó en la viña de San Javier, donde producto de la toba impermeable, durante las lluvias invernales, se produce anegamiento del suelo que produce la muerte de las raíces y favorece el desarrollo superficial de estas.

En la Figura 8.1 se presenta el conteo de raíces de una calicata en la viña de San Javier donde se observa este comportamiento.

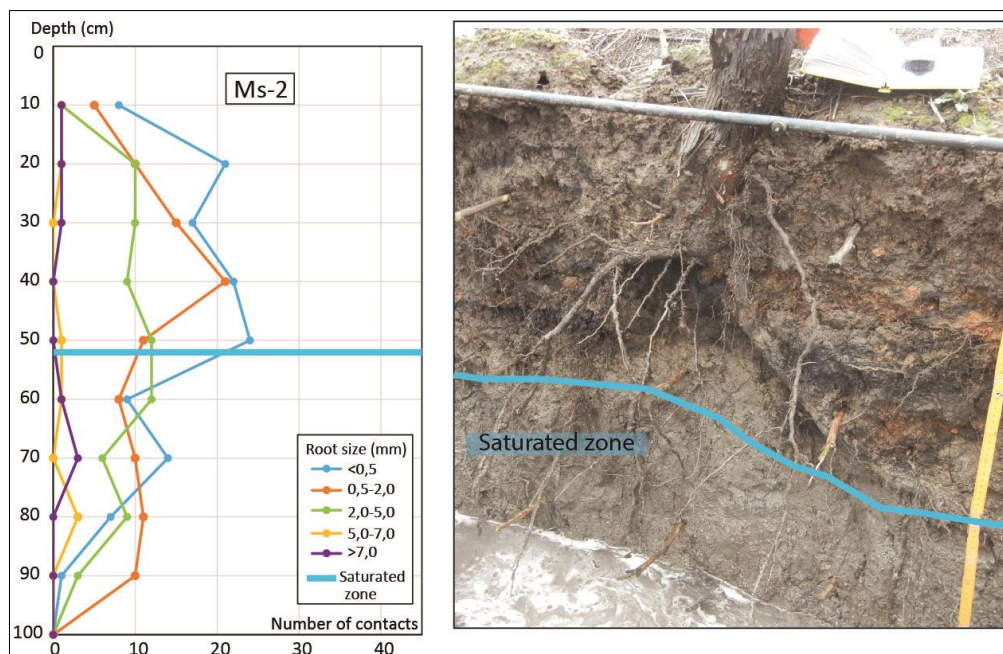


Figura 8.1: Distribución de raíces en viña de San Javier, la zona saturada se observa en la foto. La zona negra corresponde a la materia orgánica en descomposición producto del cambio del nivel freático, lo que explica la reducción de cantidad de raíces bajo este límite (López et al. 2017a).

En la Tabla 8.1, se presenta el resumen de las mediciones del nivel freático en las viñas para ambas campañas. Se observa que la viña de Casablanca posee el nivel freático más profundo. Las mediciones del nivel freático en San Antonio se hicieron sobre las terrazas de abrasión, y se observa un nivel freático más superficial de entre 2,6 y 5,5 mbs en invierno y verano.

Tabla 8.1: Tabla resumen de los valores del nivel freático durante las campañas de I15 y V16. Los datos corresponden al promedio para la cuenca (en rojo), valor máximo y mínimo.

Viña		Casablanca		San Antonio		Santa Cruz		San Javier	
Temporada		I-15	V-16	I-15	V-16	I-15	V-16	I-15	V-16
Nivel freático (mbs)	Promedio	19	26	2,6	5,1	2,2	8,8	4,2	4,9
	Min	10	10,5	0,1	1	0,25	1,2	0,2	0,9
	Max	31	42,5	4,5	25,2	7	50	12,65	12,7

Para las viñas de Santa Cruz y San Javier el nivel freático es bastante más somero, en el caso de Santa Cruz se debe a la cercanía al río Tinguiririca. En San Javier se explica

por el río Loncomilla y también debido a que la viña se emplaza en una llanura de inundación con una densa red de drenaje, por lo que el nivel freático se encuentra cercano a la superficie producto de capas impermeables asociadas al depósito de tobas.

Sumado a lo anterior, al observar los regímenes hidrológicos de las viñas se pueden distinguir dos tipos; las viñas de Casablanca y San Antonio, ambas en la región de Valparaíso, tienen cursos fluviales esporádicos asociados a las épocas pluviales. En cambio, las viñas de Santa Cruz y San Javier, ubicadas más al sur, tienen cursos de agua perenes, como lo son el Río Tinguiririca en Santa Cruz y el Río Loncomilla en San Javier.

De acuerdo a las condiciones hidrogeológicas mencionadas se pueden categorizar, a grandes rasgos los valles en los cuales se ubican las viñas en dos tipos principalmente: a) Valles favorables para cultivo de calidad y b) Valles favorables para cultivo de cantidad.

a) Los valles de las viñas de Casablanca y San Antonio, son valles que tienen características que permiten producir estrés hídrico en las plantas, asegurando un cultivo de bayas de alta calidad. El nivel freático profundo y la ausencia de canales y/o ríos perenes permiten el control de la influencia de las aguas subterráneas y superficiales en las parras. En todo caso, si se quisiera cultivar con el objetivo de cantidad, basta con regar con mayor frecuencia. En el caso de la viña de San Antonio se podrían plantar parras en las quebradas donde se produce escurrimiento del acuífero sobre las terrazas de abrasión hacia el acuífero ubicado en la quebrada del estero el Sauce. Para el caso de Casablanca el uso de mayor cantidad de agua podría aumentar el costo asociado a la conducción del agua. Sumado a la dificultad de obtener permisos para aumentar el caudal en la DGA, ya que los derechos se encuentran restringidos a causa del aumento exponencial de extracción de agua, lo que produce un balance negativo en la cuenca.

b) Los valles favorables al cultivo de cantidad, corresponden a los valles de Santa Cruz y San Javier, debido a una mayor abundancia del agua. Esta característica está asociada a un nivel freático somero, la cercanía de ríos, densa red de drenaje y niveles impermeables en el caso de San Javier.

Otra característica deseable en vitivinicultura es la buena permeabilidad del suelo. En viñas con mal drenaje, el anegamiento de los suelos es un problema recurrente, el cual produce un retardo en el crecimiento de las parras. Además favorece el desarrollo de

enfermedades como clorosis en suelos carbonatados, y el ataque de las raíces por patógenos (Jackson, 2014).

En este sentido el mapeo de unidades hidrogeológicas permite identificar lugares favorables al desarrollo de la vid, es decir, unidades hidrogeológicas que tengan buena permeabilidad. En la viña de Casablanca, la plantación de parras en la Unidad Depósitos de pie de monte, la cual tiene buena permeabilidad y drenaje, aseguraría estas características. No obstante en el mapeo geológico (Figura 3.2) se evidenció la presencia de depósitos de remoción en masa en las quebradas. En específico, la calicata VP-1, se ubica sobre el depósito de remoción en masa el cual es más compacto, y por lo tanto, menos permeable (Figura 8.2). Favorecer la plantación de parras en los depósitos aluviales frente a los depósitos de remoción en masa aseguraría mejores condiciones para el cultivo de la vid.

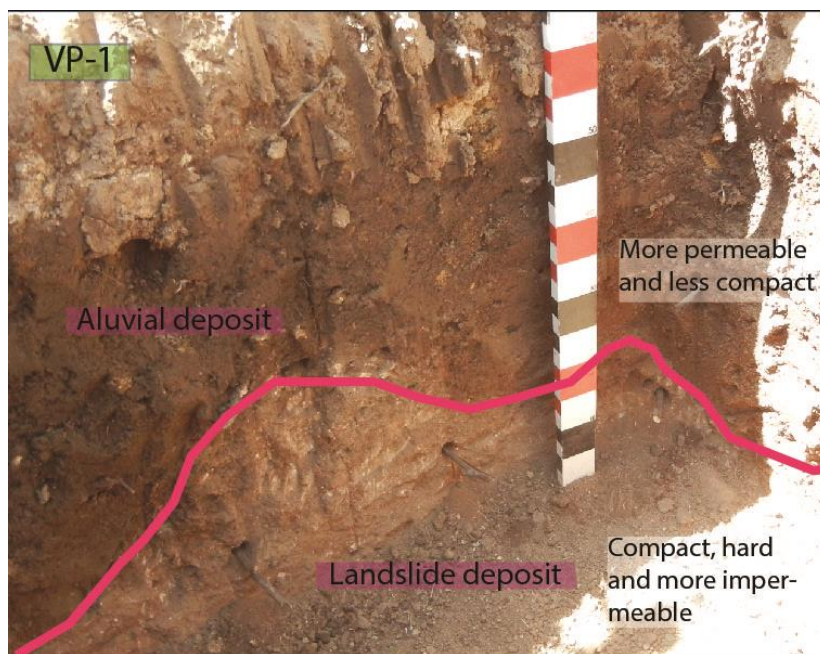


Figura 8.2: La calicata VP1 tiene como material parental un depósito de remoción en masa el cual es menos permeable, produciendo anegamiento en la parte superficial del suelo. López et al. (2017a)

Otro ejemplo se observa también en San Javier, la viña se emplaza sobre la Unidad depósitos piroclásticos, la cual producto de la capa de toba impermeable produce anegamiento de agua en invierno. En la caracterización hidrogeológica (Figura 4.42) se puede evidenciar que la Unidad depósito de escombrera y los cerros islas de Unidad de roca, tiene mayor permeabilidad. Además al ubicarse a mayor altura, estas zonas son menos susceptibles a inundarse, evitando la acumulación del flujo subterráneo. Plantar

vides en esta área otorgaría características completamente distintas al cultivo, presentando suelos de mayor permeabilidad.

Por otro lado, el conocimiento de las condiciones hidrogeológicas, en un predio permite delimitar sectores de plantación para uvas de mejor o menor calidad. Plantas cercanas a paleocanales y canales, presentan mayor vigor y, por lo tanto, van a producir bayas con menor contenido de antocianos y azúcares. Esto se observa en la Figura 8.3, especialmente en las viñas de Santa Cruz y San Javier, donde las parras se cultivan en terrenos con una alta densidad de paleocanales, lo que se ve traducido en plantas con alto vigor. De hecho, en la viña de Santa Cruz para producir el vino *Premium* del viñedo no se recolectan las bayas provenientes de las plantas con mayor vigor. Una solución a este problema, puede ser personalizar el sistema de riego para que las plantas ubicadas en los paleocanales no reciban riego. Otra solución puede ser plantar sobre los paleocanales otras especies de plantas que sean buenas captadoras de agua, ayudando a evapotranspirar el exceso de agua.

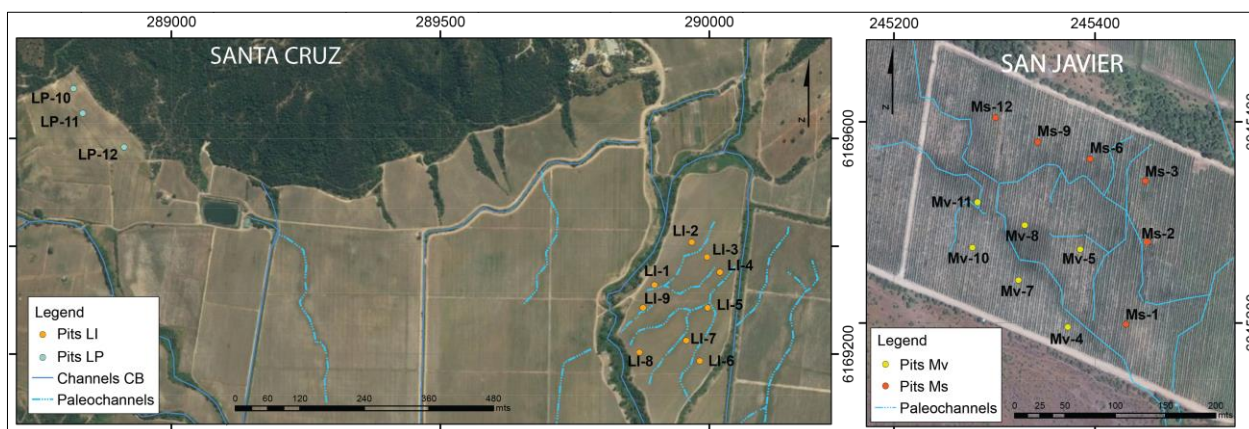


Figura 8.3: Mapa de las viñas de Santa Cruz y San Javier mostrando canales y paleocanales. López et al. (2017a).

El uso de imágenes satelitales puede ayudar en este sentido a evaluar el vigor de las plantas en distintas épocas, y analizar si las soluciones tomadas están dando resultados. Otra tecnologías como georradars de penetración (Ground penetrating radar GRP), permiten conocer el contenido de agua en suelos. Este tipo de radares pueden ser usados previo a la plantación para identificar zonas de mayor humedad asociadas a paleocanales o capas impermeables y en conjunto con la geología delimitar predios de buena permeabilidad.

Finalmente, el análisis del flujo subterráneo, en conjunto con la delimitación de unidades hidrogeológicas de distinta permeabilidad, en una cuenca en la que se podría emplazar una viña, permite conocer zonas de acumulación del agua subterránea. Cuando el flujo subterráneo fluye a través de un acuífero de alta permeabilidad la transferencia del flujo hacia otro medio de menor permeable produce la acumulación del agua subterránea y por lo tanto aumento del nivel freático. Identificar estas zonas también podría evitar plantar vides en zonas con niveles freáticos someros o si el objetivo del viticultor es la cantidad, favorecer zonas con estas características.

La importancia de aspectos hidrogeológicos resulta esencial en la selección de predios para la plantación de la vid. El conocimiento de la distribución de unidades hidrogeológicas, de la red de drenaje, la profundidad del nivel freático y construcción de mapas de isopiezas permiten caracterizar predios delimitando zonas de producción de calidad o de cantidad, de buena permeabilidad y permitiendo una mejor gestión del agua.

8.2. ASPECTOS QUÍMICOS

No solo la cantidad de agua resulta de importancia en el cultivo de la vid, sino que la composición y calidad del agua que alimenta las plantas, impacta directamente en cómo las plantas crecen, en su productividad y en las condiciones físicas del suelo (Bauder et al. 2011).

Los problemas asociados a la calidad del agua para la irrigación, afectan principalmente la permeabilidad del suelo, esto debido a la formación precipitados insolubles que se acumulan produciendo la salinización del suelo. Usualmente estos procesos ocurren en ambientes semiáridos, donde por capilaridad el agua asciende y, luego es evaporada desde la superficie concentrando sales (Jackson, 2014). Comúnmente los parámetros que se evalúan para clasificar la calidad del agua de riego son: la salinidad, el riesgo de sodio (RAS) y la concentración Cl. La Tabla 8.2, presenta un resumen de los parámetros mencionados. En específico, una alta concentración de sólidos disueltos produce la inhabilidad de las plantas para captar nutrientes del agua (Bauder et al, 2011). Las viñas en estudio muestran baja limitaciones por altos contenidos de sólidos disueltos, solo el agua subterránea de San Antonio y San Javier tienen limitaciones medias. En cuanto al RAS, además, de los problemas de salinización ya mencionados, el aumento de Na

relativo al Ca y Mg, produce la hinchazón y dispersión de las arcillas, encostramiento del suelo y taponamiento de los poros. Para evaluar el SAR es necesario combinarlo con la salinidad debido a que el potencial de hinchazón de las arcillas a baja salinidad es mayor que a una alta salinidad (Bauder et al. 2011). Solamente el agua de tranque de la viña de San Antonio tendría potencial problemas de infiltración de agua. Finalmente, con respecto a los límites de concentración de cloro, generalmente concentraciones menores a 70 ppm se consideran seguras. Solamente el agua subterránea de San Antonio tiene valores mayores a 70 ppm, alcanzando concentraciones de hasta 192 ppm, lo que asociado a altas concentraciones de Na podría llevar a la precipitación de sales.

Tabla 8.2: Tabla resumen de la calidad del agua de las viñas. Los valores muestran el máximo y mínimo por tipo de agua, en rojo se presentan las aguas que tienen asociado mayor riesgo de salinidad.

Viña	Tipo de agua	Salinidad (ppm)/ Limitaciones para su uso		RAS	Potencial problema de infiltración de agua	Concentración Cl (ppm)
Casablanca	GW	243-350	ninguna	0,7-1,2	Poco probable	7-9,1
	IW	342-344		0,9		13
	DW	343		0,9		15
San Antonio	GW	367-919	media	2,1-3,6	Poco probable	45-192
	DW	215	ninguna	1,6	Probable	27
Santa Cruz	GW	143-560	ninguna	0,46	Poco probable	2,2-4,5
	IW	224		0,7		5,5
	DW	216		0,7		5
San Javier	GW	299-654	media	0,6-2,3	Poco probable	4,4-9,4
	IW	110	ninguna	0,5		6,2
	DW	114		0,5		6,2

La química del agua subterránea y, por ende, del agua de riego está directamente relacionada con la geoquímica del sustrato. Los procesos hidrogeoquímicos, como la disolución, precipitación, intercambio iónico y sorción, junto con el tiempo de residencia que tiene el flujo de agua, controlan la composición química de las aguas subterráneas (Apodaca et al., 2002).

Por lo tanto, los minerales presentes en el suelo y su susceptibilidad a descomponerse e intercambiar cationes con el medio, definen la concentración y disponibilidad de nutrientes, en función de la composición mineral y orgánica del sustrato, la composición química del agua y la relación de equilibrio agua-roca. Estudios de hidrogeoquímica y

mineralogía de suelos, permiten identificar estos procesos y, en consecuencia, conocer la disponibilidad de los nutrientes.

En la viña de San Antonio, se identificó que procesos de meteorización de plagioclasas sódicas, disolución de halita y evaporación controlan la química del agua. Esto lleva a que las aguas subterráneas tengan una alta conductividad eléctrica (861-895 $\mu\text{S}/\text{cm}$) incrementando el riesgo de salinidad. Además, el proceso de evaporación, desencadena la precipitación de minerales como calcita, yeso y sales cloruradas, los cuales, como ya fue mencionado, causan problemas de infiltración y permeabilidad en los suelos. Por lo tanto, el agua subterránea de la viña de San Antonio no es favorable para el riego de la vid. A su vez, debido al bajo nivel freático, por procesos de capilaridad, sales pueden precipitar en la zona de las raíces aumentando el riesgo de salinización del suelo. Sin embargo, las mediciones de la conductividad eléctrica en el agua de tranque muestran una clara disminución con respecto a las aguas subterráneas, desde un valor promedio de 906 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a un valor de 286 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Como fue mencionado previamente, este descenso se debe principalmente a la precipitaciones de sales en el tranque. Esto evidencia la importancia de los tranques ya que puede disminuir fuertemente el riesgo de salinidad al regar. A pesar de ello, se observó que la disminución del CE, llevó a un aumento del pH hasta un valor de 10, pudiendo desencadenar la formación de minerales insolubles de calcio y magnesio, dejando nuevamente al sodio como catión dominante en el agua. De acuerdo a Jackson (2004), las parras son sensibles a los cloruros y entre los efectos de la clorosis se observa el retraso de la maduración del fruto, la reducción del tamaño de la baya y la reducción de la azúcar acumulada en el fruto. Estos procesos pueden evidenciarse en el bajo rendimiento de la viña de San Antonio.

En la viña de San Javier, se utiliza agua de escorrentía para regar la cual tiene una conductividad baja (126 $\mu\text{S}/\text{cm}$). Sin embargo, el nivel freático somero de la viña genera que las raíces no solo interactúen con el agua de riego, sino que también, con el agua subterránea. En las muestras de aguas subterráneas se identificó que durante el verano se produce precipitación de carbonatos, lo que incrementa el contenido de sodio en el agua subterránea y, por lo tanto, el riesgo por salinidad. Así mismo, en la viña se identificaron procesos de evaporación, lo que junto a las características favorables a la inundación del suelo, promueven la acumulación de sales en el suelo.

En las viñas de Casablanca y Santa Cruz, la mineralogía del acuífero similar indica que la composición del agua subterránea está dominada largamente por la meteorización de silicatos, en específico, plagioclasas y minerales máficos. En la viña de Casablanca la hidrólisis de plagioclasas cálcicas es responsable del mayor aporte iones al agua, lo que se traduce en aguas bicarbonatadas cálcicas, con RAS menores a 1,2 y riesgo medio asociado a la conductividad eléctrica. En cambio, en la viña de Santa Cruz, se identificaron además procesos de contaminación por aguas grises, específicamente el pozo L-21 (ver Figura 6.21), el cual se ubica en las cercanías de la viña. La muestra evidencia un claro aumento de la conductividad eléctrica (777 us/cm) en comparación al resto de las aguas subterráneas, clasificando la muestra con alto riesgo por salinidad. Adicionalmente se observa un aumento de la concentración del sodio, otorgando un riesgo medio de acuerdo a clasificación RAS.

En cuanto a la química del agua, otro aspecto de importancia corresponde a que el agua pueda estar enriquecida en algún nutriente, lo que implicaría que la fertilización en ciertos elementos no sea necesaria.

En la viña de Casablanca, Castillo et al. (en preparación), determinó que el K en el suelo podría controlar el K disponible en las bayas, esto asociado a las calicatas que tiene por material parental los diques aplíticos (Figura 3.6). Si bien el potasio es un macronutriente para las plantas, su exceso antagoniza con la adsorción de calcio y magnesio (Scienza et al., 1986) y aumenta el pH del jugo de las bayas (Jackson, 2014). Respecto a los procesos hidrogeoquímicos identificados, se observa que el pozo V8, en la muestra de verano e invierno, tiene como cationes principales Na+K, a diferencia del resto de las muestras donde el Ca es dominante. Si bien la viña no riega con el agua proveniente de este pozo, si no que riega con el agua del pozo V12 rica en Ca, el conocimiento de la química de las rocas y su influencia en las aguas subterráneas, permite tomar decisiones para la construcción de pozos para extraer agua dependiendo de las necesidades de las plantas. Por ejemplo, Castillo et al (2017a) estudio la fase biodisponible en los suelos de las viñas, las calicatas ubicadas sobre la aplita (VC) tienen mayor K y menor Ca biodisponible que las calicatas VP, ubicadas en los depósitos de pie de monte. Por lo que regar con agua rica en K (pozo V8) en el cuartel VP y regar con agua rica en Ca (pozo V12) en el cuartel VC, aportaría nutrientes que se encuentran en menor porcentaje biodisponibles.

Por otro lado, el cálculo de los índices de saturación mineral en todas viñas, muestra que minerales de fosforo como hidroxiapatite y witlockita están fuertemente sobresaturados lo que indicaría su eventual precipitación y, por lo tanto, el fosforo no se encuentre disponible para las plantas. De hecho, la adición de fertilizantes, puede inhibir la liberación de los iones adsorbidos, llevando a la precipitación mineral, dejando inmóviles los nutrientes (Jackson, 2014).

Así mismo en la viña de Santa Cruz, el agua presenta altos contenidos de nitrato y sulfato sobre todo en el pozo L21. Una medida para evitar el la sobre fertilización podría ser la reducción de la aplicación de fertilizantes en los cuarteles cercanos al pozo.

El estudio de los procesos hidrogeoquímicos del agua subterránea y esorrentía permite conocer la línea base de la calidad del agua y así evitar plantar en lugares con malas condiciones, y/o saber que nutrientes hay que reforzar en las plantas y cuales ya están disponibles naturalmente para ellas.

9. CONCLUSIONES

Viña de Casablanca

La cuenca en la cual se emplaza la viña de Casablanca tiene un área de 83 km² y se caracteriza por una red de drenaje dendrítica con el estero Los Perales como drenaje principal. Se definieron tres unidades hidrogeológicas: la Unidad de roca, de carácter impermeable, y las unidades aluvial y coluvial, de importancia hidrogeológica. El acuífero se encuentra alojado en los depósitos aluviales y corresponde a intercalaciones de estratos permeables (alto porcentaje de arenas medias y gruesas), con estratos impermeables (ricos en arcillas). En superficie se reconoce una capa impermeable, de espesor promedio en torno a los 10 m que impediría la alta recarga del acuífero mediante infiltración en la unidad aluvial, otorgando al acuífero características de lenticular y confinado con una potencia estimada de 48 a 170 m. Las mediciones del nivel freático indican que la cuenca de Tapihue es la que tiene el nivel freático a mayor profundidad con un promedio de 19 mbs en invierno y 26 mbs en verano.

En la cuenca de Casablanca, se determinó que la meteorización de silicatos, en particular de plagioclasas cálcicas y sódicas, explica gran parte del contenido de HCO₃, Ca y Na en el agua, la presencia de Mg se debe principalmente a la hidrólisis de biotitas y anfíboles. Sin embargo, un parte de la concentración de Mg revela la contaminación del agua subterránea por aplicación de agroquímicos, este proceso explica también la abundancia de SO₄, NO₃ y el aumento de Ba, Br, Cr y Zn en verano. Finalmente, se detectaron altas concentraciones de Al, Cu, Mn y Zn en las muestras de agua lluvia las que indican contaminación atmosférica, que podría tener como fuente actividades industriales cercanas a la viña y/o agroquímicos aplicados por aire.

Viña de San Antonio

La viña de San Antonio está emplazada en la cuenca del estero el Sauce con un área que abarca 109 km², su red de drenaje es dendrítica asociada a épocas fluviales. En el mapeo de unidades hidrogeológicas se definieron tres unidades, la Unidad de Roca de carácter impermeable y dos unidades permeables a semi-permeables: la Unidad Coluvial-aluvial y la Unidad Navidad. Se pudieron reconocer dos acuíferos en la cuenca. El primero se aloja en la Unidad Navidad, sobre terrazas de abrasión marina, el cual tiene

una potencia de 8-20 m y se caracteriza por una intercalación de estratos permeables y semi-permeables, que tienen como origen la Formación Navidad o meteorización de rocas metamórficas. El segundo acuífero se encuentra asociado al estero el Sauce y se aloja en la Unidad Coluvial-aluvial, tiene un espesor de 20 a 30 m y el relleno sedimentario se caracteriza por una intercalación de estratos permeables y semi-permeables. Las mediciones del nivel freático muestran que el acuífero ubicado sobre las terrazas de abrasión tiene un valor promedio de 2,6 mbs en invierno y 5,1 mbs en verano.

El análisis del agua subterránea indicó que los principales mecanismos que dominan la química del agua subterránea son: procesos de evaporación, los cuales concentran Na y Cl en el agua, y la interacción agua-roca. Se determinó que la meteorización de silicatos, disolución de halita y de calcita son los responsables de los contenidos de Cl, Na, Ca y HCO₃. Al igual que en Casablanca, el contenido de Mg se debe a la meteorización de aluminosilicatos y a una posible fuente desde agroquímicos. Los contenidos de SO₄ se explican por la alta aplicación de azufre en el manejo de esta viña. En los pozos C2 y C8 se identificó un alto contenido de NO₃ y K, el cual se atribuye principalmente a la contaminación debido a la infiltración de excremento animal. Por último, en San Antonio también se evidenció contaminación atmosférica, debido a altas concentraciones de Al y Zn en el agua de lluvia, las cuales podrían tener como fuente la actividad del puerto de San Antonio o la aplicación de agroquímicos.

Viña de Santa Cruz

La cuenca del sector de Santa Cruz tiene un área de 54 km² y limita al sur con el río Tinguiririca. Se definieron cuatro unidades hidrogeológicas, la Unidad de roca impermeable, la Unidad aluvial con potencial medio-alto y finalmente la Unidad fluvial y la Unidad Coluvial con un alto potencial hidrogeológico. El acuífero se aloja en la Unidad aluvial y en la Unidad fluvial, tiene un espesor entre 70 y 150 m y, se caracteriza por intercalaciones de bolones, gravas y arenas (semipermeables) con estratos con mayor fracción de arcilla (impermeables) en la Unidad fluvial y por intercalaciones de arcillas (impermeables) y arenas (permeables) en la Unidad Aluvial. Se determinó que el nivel freático tiene una profundidad promedio de 2,2 m en invierno y de 8,8 m en verano.

La composición de las aguas subterráneas de la cuenca de Santa Cruz está caracterizada por la meteorización de silicatos. La meteorización de plagioclasas deja en solución los

contenidos de Na, Ca y HCO_3 en el agua, por otro lado, la meteorización de anfíboles, biotita y clorita explican en gran parte el contenido de Mg en el agua. Procesos de contaminación se registran en dos pozos. L21 y L9. La alta conductividad eléctrica y el alto contenido de Na, K, NO_3 y P permiten atribuir la infiltración de aguas grises y negras como fuente de contaminación en el pozo L21. En el pozo L9, el alto contenido de NO_3 , SO_4 y Ca, indica la aplicación de agroquímicos como fuente de contaminación.

Viña de San Javier

La cuenca de la viña de San Javier tiene un área de 135 km^2 y limita al este con el río Loncomilla, tiene una densa red de drenaje con esteros sinuosos que desembocan en el río. Se definieron cinco unidades hidrogeológicas: Unidad de Roca, Unidad Depósitos de escombrera, Unidad Depósitos piroclásticos, Unidad Depósitos fluviales secundarios y Unidad Depósitos fluviales. El acuífero se aloja en las tres últimas unidades mencionadas y tiene un espesor de entre 60 y 500 m. El relleno de la cuenca se caracteriza principalmente por intercalaciones de cenizas de colores claros y naturaleza ácida, con frecuentes intercalaciones de sedimentos finos, propios de ambiente lagunar. La cuenca de San Javier es la que presenta los niveles freáticos más someros, debido a las capas impermeables de tobas de la Unidad Depósitos piroclásticos. Las mediciones entregaron un valor promedio de 4,2 mbs en invierno y de 4,9 mbs en verano.

La química del agua subterránea de la viña de San Javier se explica principalmente por procesos de evaporación, meteorización de vidrio volcánico y silicatos. En específico, la concentración de Na, Ca y HCO_3 se explican por la meteorización del vidrio volcánico, plagioclasas y minerales máficos. Además de la meteorización de silicatos, se identificó que posterior a la época de lluvias, procesos de evaporación y concentración de iones producen la precipitación de carbonatos en verano. Al igual que en el resto de la viñas, se identificó contaminación del acuífero, especialmente en los pozos M9, M4 y M14 producto de infiltración de aguas grises y negras, las cuales explican los altos contenidos de NO_3 , Cl, K y P. El contenido de estos aniones, la fuerte correlación del grupo Cl- NO_3 -K-U-P-Y y los contenidos de SO_4 se explican también por contaminación agrícola.

Condiciones hidrogeológicas y cultivo de la vid

En los aspectos físicos, el conocimiento de la profundidad del nivel freático, flujo subterráneo, ubicación de canales y paleocanales y distribución de las unidades hidrogeológicas permite caracterizar sectores limitando zonas para el cultivo de uvas de calidad o cantidad. Además, posibilita generar criterios para la selección de predios dependiendo del objetivo del viticultor. A escala regional, estos criterios permiten separar, de manera general, las cuencas de estudio en dos tipos: a) Cuencas favorables al cultivo de calidad, las cuales tienen características que permiten controlar la influencia del agua subterránea en la viña, donde se ubican las Viñas de Casablanca y San Antonio, y b) Cuencas favorables al cultivo de cantidad, las cuales presentan abundancia de agua asociada al nivel freático somero y una densa red de drenaje, donde se ubican las viñas de Santa Cruz y San Javier.

En los aspectos químicos la calidad del agua de riego es esencial para el desarrollo de la viticultura. El exceso de sodio, cloro y alta salinidad en el agua de riego, producen la pérdida de permeabilidad en el suelo, la susceptibilidad de las parras a enfermedades y la dificultad para captar nutrientes. El conocimiento de los procesos hidrogeoquímicos permiten establecer una línea base de la calidad de agua, para así seleccionar lugares con buenas condiciones para plantar y evitar la sobre-fertilización de las plantas cuando el agua de riego tiene naturalmente nutrientes específicos. En la viña de San Antonio debido a la evapotranspiración, disolución de halita y meteorización de plagioclasas sódicas, las aguas tienen alto contenido de sodio y elevada salinidad, lo que se traduce en aguas de mala calidad. En el caso de San Javier, la precipitación de carbonatos junto a los procesos de evapotranspiración, incrementan el contenido de sodio y aumentan la salinidad, empeorando la calidad del agua. Finalmente en las viñas de Casablanca y Santa Cruz, los procesos hidrogeoquímicos de interacción agua-roca, dan como resultado aguas ricas en Ca y HCO_3 las cuales representan aguas de buena calidad para el agua de riego. Sin embargo, la contaminación del acuífero en el caso de Santa Cruz, aumenta la concentración de sodio y la salinidad del acuífero y por lo tanto disminuye su calidad para el riego.

10. BIBLIOGRAFÍA

Apodaca, L.E., Jeffrey B.B., Michelle, C.S., (2002). Water quality in shallow alluvial aquifers, Upper Colorado River Basin, Colorado, 1997 1. JAWRA Journal of the American Water Resources Association, 38(1), 133-149.

Aurand Jean-Marie. (2017). World vitiviniculture situation. 40th World Congress of Vine and Wine. Sofía-Bulgaria.

Bauder, T. A., Waskom, R. M., Sutherland, P. L., Davis, J. G., Follett, R. H., & Soltanpour, P. N. (2011). Irrigation water quality criteria. Service in action; no. 0.506.

Böhlke, J. K. (2002). Groundwater recharge and agricultural contamination. Hydrogeology Journal, 10(1), 153–179. <https://doi.org/10.1007/s10040-001-0183-3>

Brantley, S.L., White, T.S., White, A.F., Sparks, D., Ritcher, D., Pregitzer, K., Derry, L., Chorover, J., Chadwick, O., April, R., Anderson, S., Amundson, R. (2006). Frontiers in Exploration of the Critical Zone: Report of a workshop sponsored by the National Science Foundation (NSF), October 24-26, 2005, Newark, DE, 30p.

Carroll. D. (1962). Rain water as a chemical agent of geologic process- a review. Geol. Surv. Water Supply Paper 1535-G. 18pp

Castillo-Lagos P., Serra, I., Townley, B., López, S., Contreras, M., Flores, P. En preparación. Biogeochemical association of essential mineral elements between rocks, soils and grape berries (*Vitis vinifera* L.): Environmental study in four vineyards of central Chile (33°-36°S) (Science of Total Environment).

Castillo P., Serra I., Townley B., López S., Flores P. (2017). Biogeological association of soil and nutrients in cv. Carmenere and Pinot Noir Berries: Applied study in four vineyards of Central Chile. 40th World Congress of Vine and Wine. Sofía-Bulgaria.

Castillo, P., Townley, B., Contreras, M., López, S., Cortés, E. (2015). Análisis geoquímico de suelos derivados de granitoides en los valles de Casablanca y Santa Cruz. XIV Congreso Geológico Chileno. La Serena-Chile.

Collins R, Jenkins A (1996) The impact of agricultural land use on stream chemistry in the middle hills of the Himalayas, Nepal. J Hydr 185: 71–86.

Contreras, M. (2017). Estudio geológico, petrográfico y granulométrico del material parental de suelos vitivinícolas de la Zona Central de Chile. Memoria para optar al título de Geólogo. Universidad de Concepción. Concepción.

Contreras, M., Castillo P., Lagos, F., Farías, M., Townley, B. (2015). Geología y Petrografía de dos viñas en los valles vitícolas de Casablanca y Santa Cruz, Chile Central. XIV Congreso Geológico Chileno. La Serena-Chile.

Custodio. E. y Llamas, M.R. (1983). Hidrología Subterránea. Editorial Omega. Volumen I y II. Barcelona.

Datta, P. S., and S. K. Tyagi, (1996). Major ion chemistry of groundwater in Delhi area: Chemical weathering processes and groundwater flow regime: Journal of Geological Society of India, v. 47, p. 179 – 188

Díaz Gerardo, (1970). Estudio Hidrogeológico de la Hoya del estero Casablanca, Memoria para optar al título de Geólogo.

Dirección general de Agua (2015). Actualización de la modelación hidrogeológica de la cuenca del estero de Casablanca. Rizzo Associates Chile S.A.

Dirección general de Agua (2010). Levantamiento de información Hidrogeológica para modelación cuenca del río Maule. GCF Ingenieros Limitada.

Dirección general de Agua (2005). Evaluación de los recursos hídricos subterráneos de la VIª Region “Modelación hidrogeológica de los valles de Alhué, Cachapoal y Tinguiririca”. Departamento de administración de recursos hídricos.

Drever JI. (1997). The geochemistry of natural waters, 3era edición prentice-Hall, Upper saddle River, NJ.

Elango, L., Kannan, R., (2007). Rock-water interaction and its control on chemical composition of groundwater. Dev. Environ. Sci. 5, 229–243.

Escuder, R. (Ed.). (2009). Hidrogeología: conceptos básicos de hidrología subterránea. Fundación Centro Internacional de Hidrología Subterránea.

Franco María (2007). Tratamiento y reutilización de aguas grises con aplicación a caso en Chile. Memoria para optar al título de Ingeniero Civil. Universidad de Chile. Santiago. 107 p.

Gana P., Gutiérrez A., Wall R. (1996). Mapa Geológico del área de Valparaíso-Curacaví, Regiones de Valparaíso y Metropolitana. Servicio Nacional de Geología y Minería. Mapa Escala 1:100.000, Santiago.

Gana P., Gutiérrez A., Wall R. (1996). Geología de la Hoja Santiago, área de San Antonio Melipilla, regiones de Valparaíso, Metropolitana y del Libertador General Bernardo O'Higgins, Servicio Nacional de Geología y Minería, Mapas Geológicos, 2.

Garrels, R. M., (1976). A survey of low temperature water mineral relations, in Interpretation of environmental isotope and hydrogeochemical data in groundwater hydrology: Vienna, International Atomic Energy Agency, p. 65 – 84

Gibbs, R. J., (1970). Mechanisms controlling world water chemistry: Science, v. 170, p. 795-840.

Hancock, J.M., Huggett, J.M. (2004). The geological controls in Coonawarra. Journal of wine Research, 15, pp. 115-122.

Hauser, A. (1994). Hoja Talca. Mapa 2: Linares (2 de 2). Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Hidrogeológica de Chile, No.2.

Hauser, A. (1990). Hoja Rancagua, VI Región. Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Hidrogeológica de Chile. Mapa Escala 1:250.000, Santiago.

Jackson, R. S. (2014). Vineyard practice. Wine science, 143-306.

Jalali, M. (2009). Phosphorous concentration, solubility and species in the groundwater in a semi-arid basin, southern Malayer, western Iran. Environmental geology, 57(5), 1011-1020

Krásny, J. (1997). Metodología de estimación regional en el medio de rocas duras. Hydrogeology of hard rocks. P3-14,IAH-AIH. Springer Verlag.

Lagos, F. 2015. Geomorfología del terroir en Malvilla y Tapihue, Región de Valparaíso, Chile. Memoria para optar al título de Geólogo. Universidad de Chile. Santiago. 50 p.

- Lakshmanan, E., Kannan, R., & Kumar, M. S. (2003). Major ion chemistry and identification of hydrogeochemical processes of ground water in a part of Kancheepuram district, Tamil Nadu, India. *Environmental geosciences*, 10(4), 157-166.
- Lapworth, D. J., Krishan, G., MacDonald, A. M., & Rao, M. S. (2017). Groundwater quality in the alluvial aquifer system of northwest India: new evidence of the extent of anthropogenic and geogenic contamination. *Science of the Total Environment*, 599, 1433-1444.
- Lasaga, A. C. (1984). Chemical kinetics of water-rock interactions. *Journal of geophysical research: solid earth*, 89(B6), 4009-4025.
- Lavitt, N., Acworth, R.I., Jankowski, J. (1997). Vertical hydrogeochemical zonation in a coastal section of the Botany Sands aquifer, Sydney, Australia. *Hydrogeol. J.* 5, 64–74.
- Levasseur, P. (2002). Composition chimique détaillée des aliments et des lisiers de porc. *Techni porc*, 25(1), 19-25.
- López, S., Castillo, P., Serra, I., Townley, B. Flores, P. (2017^a). Geological and hydrogeological influences in the development of roots in viticulture, study in four vineyards of the Central Zone of Chile. 40th Congress of Vine and Wine. Sofia-Bulgaria.
- Mee, A., Bestland, E., Spooner, N. (2004). Age and origin of terra Rossa soils in the Coonawarra area of South Australia. *Geomorphology*, 58, pp. 1-25.
- Meybeck, M. (1987). Global chemical weathering of surficial rocks estimated from river dissolved loads. *Amer. J. Sci.* 287,401-428.
- McLachlan, G., Sinclair, P.J., Dick, J.K., (1993). Effects of waterlogging on grapevine. In: Stockley, C.S. (ed), Proc. 8th Aust. Wine Ind. Tech. Conf. Winetitles, Adelaide, Australia, pp. 209.
- Nahrwold, H. (2014). *Vinos de Chile*, Santiago, Chile: Editorial Contrapunto.
- National Research Council. (2001). *Basic research opportunities in earth science*. national academies Press.
- Ortega, R. (2012). *Manejo de Cuencas Hidrográficas en Climas Mediterráneos*.

Universidad resultado del proyecto diagnóstico acabado de la cuenca del Valle de Casablanca utilizando tecnología Geoespacial. Universidad Técnica Federico Santa María.

Rankama, K., & Sahama, T. G. (1950). *Geochemistry*.

Rodríguez, M.P. (2008). Evolución de la erosión y del relieve del antearco de Chile Central (33-34°S) durante el neógeno mediante el análisis de minerales pesado detríticos y la geomorfología. Memoria para optar al título de Geólogo. Universidad de Chile. Santiago. 154 p.

Rose, S. (2002). Comparative major ion geochemistry of Piedmont streams in the Atlanta, Georgia region: Possible effects of urbanization. *Environmental Geology*, 42(1), 102–113. <https://doi.org/10.1007/s00254-002-0545-8>

Scienza, A., Failla, O., Romano, F. (1986). Untersuchungen zur sortenspezifischen Mineralstoffaufnahme bei Reben. *Vitis* 25, 160-168.

Schoeller, H. (1965). Qualitative evaluation of groundwater resources. In *methods and techniques of groundwater investigations and development*. UNESCO, pp 54-83.

Stanley, C. R., and Lawie, D., (2007). Average Relative Error in Geochemical Determinations: Clarification, Calculation, and a Plea for Consistency. *Exploration and Mining Geology*, Vol. 16, N. 3-4, p. 265-274.

Todd, D. K. (1989). Sources of saline intrusion in the 400-foot aquifer, Castroville area, California. Report for Monterey country flood control and water Conservation District, Salinas, California, 41.

Valenzuela, M. (1994). Reconocimiento Hidrogeológico de la Zona Costera Litoral Central Vª Región. Memoria de título, Universidad de Chile.

Varela, J.; Moreno, H. (1982). Los Depósitos de Relleno de la Depresión Central de Chile entre los ríos Lontué y Bio-Bio. Congreso Geológico de Chile, No. 3, Actas, Vol. 2, p. F280-F306. Concepción.

Vengosh, A., Gill, J., Lee Davisson, M., & Bryant Hudson, G. (2002). A multi-isotope (B, Sr, O, H, and C) and age dating (^3H – ^3He and ^{14}C) study of groundwater from Salinas

Valley, California: Hydrochemistry, dynamics, and contamination processes. *Water Resources Research*, 38(1), 9-1.

West, D. W., & Taylor, J. A. (1984). Response of six grape cultivars to the combined effects of high salinity and rootzone waterlogging. *Journal of the American Society for Horticultural Science*.

Vitousek, P.M., Moonet H.A., Lubchenco J., and Melillo J.M., (1997) Human domination of Earth's ecosystems, *science*, 277:494-499.

Wilcox, L.V., 1955. *Classification and Use of Irrigation Water*. USDA, Washington (Circular 969).

White W.M., 2013. *Geochemistry*, John Wiley & Sons Inc.

11. ANEXOS

ANEXOS 1. CONGRESOS Y PUBLICACIONES ASOCIADAS A LA PRESENTE INVESTIGACIÓN.

Anexo 1.1: Procesos hidrogeoquímicos y contaminación de aguas subterráneas en cuatro viñas de la zona Central de Chile. XV Congreso Geológico Chileno. Concepción-Chile.

Procesos hidrogeoquímicos y contaminación de aguas subterráneas en cuatro viñas de la zona central de Chile.

SOFÍA LÓPEZ¹; PAMELA CASTILLO¹; DIRK RÜTTGER²; BRIAN TOWNLEY¹;

1 Departamento de Geología, Facultad de Ciencias Físicas y Matemática, Universidad de Chile

2 Consultor en Hidrogeología, RUCO Fresena Ltda.

En la actualidad, se ha comprobado que la agricultura tiene efectos directos e indirectos en las tasas de recarga y en la composición química del agua subterránea (Bohlke, 2002). En Chile la agricultura es una de las actividades económicas más importante en la zona centro sur del país. Es por esto que resulta esencial evaluar los impactos del uso excesivo de fertilizantes, los cuales por procesos de disolución y transporte pueden ser agentes contaminantes de las aguas subterráneas. En particular la vitivinicultura ha experimentado un fuerte crecimiento en los últimos años, expandiendo las áreas de plantaciones en diversas regiones del país.

En el presente estudio se busca comprender los procesos geológicos y actividades antrópicas que controlan la hidrogeoquímica de las aguas subterráneas en los alrededores de cuatro viñas de la Zona Central de Chile ubicadas en las regiones de Valparaíso (San Antonio y Casablanca), Libertador Bernardo O'Higgins (Santa Cruz) y del Maule (San Javier). Para ello se realizaron mediciones fisicoquímicas y se colectaron muestras de agua subterránea, lluvia, tranque e irrigación durante dos temporadas (verano e invierno), las cuales fueron analizadas para determinar elementos mayores, menores y trazas.

Los resultados hidrogeoquímicos indican que los principales mecanismos que dominan la química del agua subterránea son los procesos de interacción agua-roca, y en las viñas de San Antonio y San Javier además se registran procesos de evapotranspiración y precipitación. Dentro de los procesos geológicos, la meteorización de silicatos (plagioclasas, biotita, anfíboles), disolución de carbonato e intercambio catiónico explican los contenidos de Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ y HCO_3^- en las aguas subterráneas. Sin embargo se identificaron concentraciones de elementos que revelan una contaminación antropogénica del agua. En específico la ocurrencia de nitratos, sulfatos y cloruros pueden tener como origen la intensiva aplicación de agroquímicos y/o la presencia de ganadería. Por su parte, el análisis de elementos trazas en las viñas de Casablanca y San Antonio, evidenció que las concentraciones de Al, Cu, Mn y Zn en agua de lluvia son mayores que en las aguas subterráneas, lo que puede interpretarse como una contaminación atmosférica presente en la región cuyas fuentes más probables podrían ser la refinera de Ventanas y/o movimientos portuarios de San Antonio.

Agradecimientos: Este trabajo fue apoyado por CORFO y I + D Consorcio Vinos de Chile.

Anexo 1.2: The role of hydrogeology in the development of viticulture. XV Congreso Geológico Chileno. Concepción-Chile.

The role of hydrogeology in the development of viticulture

SOFÍA LÓPEZ¹; PAMELA CASTILLO¹; IGNACIO SERRA²; BRIAN TOWNLEY¹; PAULINA FLORES³

1 Departamento de Geología, Facultad de Ciencias Físicas y Matemática, Universidad de Chile

2 Departamento de Producción Vegetal, Facultad de Agronomía, Universidad de Concepción

3 Consorcio I+D Vinos de Chile.

Management of irrigation in vineyards turns out to be one of the main factors in the quality of berries. Excess of water results in large berries, with reduced anthocyanins and sugars. On the other hand, a deficiency of water produces small berries without flavor, reduces yield and decreases roots development

(Jackson, 2014). However, not only the amount of water is important but the composition and quality of water directly affects how the plants grow, their productivity and the physical conditions of the soil (Bauder et al, 2011). In this context, the study of hydrogeology in both physical and chemical aspects of the basin in which vineyard are located can generate knowledge that impacts administration, management and sustainable development of the vineyards, as well as generate criteria for the selection and mapping viticultural potential.

In order to identify the hydrogeological parameters that can influence the management of viticulture, four vineyards of the Central zone of Chile located in San Antonio, Casablanca, Santa Cruz and San Javier were studied. In each basin, a hydrogeological analysis was carried out, where ground levels were measured and a mapping of the water network was elaborated. In addition, samples of irrigation, dam and groundwater were taken in which major, minor and trace elements were analyzed and physicochemical parameters were measured.

The results show that the hydrogeological characteristics such as the location of water network and the presence of paleochannels allow delimitation of sectors by vigor of the grapevines. Likewise, monitoring the water level in different points of the vineyard allows more efficient irrigation management. Both factors allow selecting properties or zoning vineyards depending on the grapevine grower's production goal: quantity or quality. In chemical aspects, the study of the interaction between water and soil or rock allows determination of the origin of nutrients available in water and therefore improves management of fertilizer applications. As an example, in the Santa Cruz vineyard, water has a high content of nitrate and sulfate, which could reduce the application of fertilizers. Regarding water quality, in San Antonio vineyard marine aerosol, evaporation and weathering of plagioclase in the substrate may concentrate Na⁺ and Cl in water, which is harmful, and is reflected in the low yield of the vineyard.

Acknowledgements: This work was supported by CORFO and I+D Consorcio Vinos de Chile

Anexo 1.3: Influencia antrópica en la bio-geoquímica del sistema roca-suelo-planta, estimada por metales, metaloides y REE en suelos vitivinícolas de la Zona Central de Chile. XV Congreso Geológico Chileno. Concepción-Chile.

Influencia antrópica en la bio-geoquímica del sistema roca-suelo-planta, estimada por metales, metaloides y REE en suelos vitivinícolas de la Zona Central de Chile.

PAMELA CASTILLO¹; SOFÍA LÓPEZ¹; BRIAN TOWNLEY¹; IGNACIO SERRA²

1 Departamento de Geología, Facultad de Ciencias Físicas y Matemática, Universidad de Chile

2 Departamento de Producción Vegetal, Facultad de Agronomía, Universidad de Concepción

3 Consorcio I+D Vinos de Chile.

En el marco de un Proyecto CORFO-Consorcio I+D Vinos de Chile se seleccionaron cuatro viñas en la Zona Central de Chile (33°15'-35°45'S), en los valles de Casablanca, San Antonio, Santa Cruz y San Javier, con el objetivo de determinar cómo las características geológicas y medioambientales de la cuenca en que se ubica una viña pueden influir en las propiedades del suelo y en la química de frutas y hojas de plantas de vid.

En este trabajo se llevó a cabo un muestreo multi-matriz (roca, suelo, fase biodisponible, aguas de lluvia, riego y subterránea, fruta y hojas) a escala de viñedo, de cuarteles (áreas de plantación de la misma edad y cepa) y a escala de perfil de suelo, a modo de explorar las interacciones bio-geoquímicas del sistema roca-suelo-planta en un ambiente de viticultivo.

A partir del contenido de REE en suelos cultivados versus no cultivados se ha determinado que para todas las viñas hay un empobrecimiento en el contenido de REE en los suelos cultivados, lo cual tiene relevancia a nivel de procesos, tres hipótesis han sido planteadas: 1. Incremento de la tasa de meteorización en suelos cultivados, 2. Degradación en suelos cultivados de complejos órgano-metálicos que retienen REE y 3. Fraccionamiento por plantas de *vitis vinífera*.

En cuanto al contenido de metales y metaloides en suelos, se determina que al ser comparados con la roca parental, los suelos de Casablanca están enriquecidos en Cu, en la química de suelo total y en la fase biodisponible; los suelos de San Antonio presentan un enriquecimiento en Hg y altos contenidos biodisponibles de Ni; en la viña de Santa Cruz se miden valores superiores a la roca para Hg, Sb y As, aunque la biodisponibilidad sólo es alta para el Hg, en la uva las mediciones de Hg están bajo el límite de detección. En San Javier los suelos presentan mayores concentraciones que la roca en Pb, As, Sb, Cr, Ni, Zn y Cu, con alta biodisponibilidad sólo para Ni y Cu. Por otra parte, se miden altos valores comparativos de Cu y Zn para las hojas de las viñas de Casablanca y San Antonio, esta última además presenta alto contenido de Cu en la fruta, que puede responder a la aplicación de pesticidas foliares. Particularmente en la viña de San Javier se miden altas concentraciones de Cu, Sn, Mo, Ni, Pb y Zn en tres muestras de uvas. Los resultados aquí presentados tienen implicancias en la capacidad del suelo de retener metales y en cómo estos pueden ser transferidos a los tejidos vegetales o contaminar las aguas subterráneas.

Anexo 1.4: Hydrogeochemical process and contamination of groundwater in Tapihue alluvial basin, Central Chile. Goldschmidt Conference. Paris-Francia.

Hydrogeochemical processes and contamination of groundwater in Tapihue alluvial basin, Central Chile

SOFÍA LÓPEZ^{1*}, PAMELA CASTILLO¹, BRIAN TOWNLEY¹

¹Department of Geology, University of Chile, Plaza Ercilla 803, Santiago, Chile (*correspondence: slopezurzua@gmail.com)

Tapihue basin, located in the region of Valparaiso, is characterized by wine-growing activity. The basin is filled by alluvial and coluvial deposits. The lithologies of sediments are intrusive rocks as tonalite, granodiorite and aplite.

In the present study, we try to understand the geological processes and anthropogenic influence that control the hydrogeochemistry of groundwater.

Rain, irrigation and groundwater samples were collected during two seasons (winter and summer) and analyzed for physicochemical parameters, mayor and trace elements. Also soil and rock samples were taken for XRF analysis.

Chemical analysis show that HCO_3^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ and Cl^- are the major ions in groundwater. The dominant hydrogeochemical facies is Ca-HCO_3 in irrigation and groundwater. Hydrogeochemical data suggests that chemical weathering of rock forming minerals is the dominant factor controlling groundwater chemistry. Particularly, anorthite and albite weathering, are responsible for Ca^{2+} , Na^+ and HCO_3^- , while weathering of biotite and amphibole explains Mg^{2+} content. Negative values of CAI indicate chloro-alkaline disequilibrium, Ca^{2+} and Mg^{2+} in water are exchanged with Na^+ and K^+ in minerals from host rock. This is likely due to the abundance of clay minerals: kaolinite, illite and smectite.

Contamination derived from agriculture is another factor influencing water chemistry. Agrochemicals are the source of SO_4^{2-} , Cl^- and NO_3^- in water, since in the area there is no natural source of these ions. Also between winter and summer an increase in pH and in SO_4^{2-} , Na^+ , Cl^- , Br, Cr and Zn concentration is observed. Rainwater has higher concentrations of Al, Cu, Mn, and Zn than groundwater, indicating atmospheric pollution. A possible source could be Ventanas Refinery located 60 km NW of the basin and/or application of agrochemicals by airway.

Saturation index of minerals was calculated taking into account analysis of XRF on soil and rock. Water is in equilibrium with quartz and albite, undersaturated with respect to anorthite, and oversaturated with respect to kaolinite, illite, smectite (rich on Mg^{2+}), zeolite, K-Feldespar and phosphate minerals like hydroxyapatite and whitlockite.

Acknowledgements: This work was supported by CORFO and I+D Consorcio Vinos de Chile.

Anexo 1.5: Geological and hydrogeological influences in the development of roots in viticulture, study in four vineyards of the Central Zone of Chile. 40th Congress of Vine and Wine. Sofía-Bulgaria.

Influencias geológicas e hidrogeológicas en el desarrollo de raíces en la viticultura, estudio en cuatro viñas de la Zona Central de Chile.

SOFÍA LÓPEZ¹; PAMELA CASTILLO¹; IGNACIO SERRA²; BRIAN TOWNLEY¹; PAULINA FLORES³

¹ Departamento de Geología, Facultad de Ciencias Físicas y Matemática, Universidad de Chile

² Departamento de Producción Vegetal, Facultad de Agronomía, Universidad de Concepción

³ Consorcio I+D Vinos de Chile.

El sistema de raíces en la vid tienen un efecto importante en el crecimiento vegetativo y reproductivo, así como en la composición y calidad de la fruta y el vino (Hunter and Le Roux, 1992; Southey, 1992). Frente al pronóstico del cambio climático, que prevé una disminución de las precipitaciones y en consecuencia en el nivel de las aguas subterráneas y, debido a la importancia de las raíces en la capacidad de captar agua y nutrientes (Smart et al, 2006), el estudio del sistema radical y su interacción con factores hidrogeológicos y geológicos tendrá mayor relevancia.

En este trabajo se estudian las relaciones geología-desarrollo de raíces e hidrogeología-desarrollo de raíces. Los principales factores geológicos a considerar son las propiedades físicas del suelo, horizontes y material parental. En el ámbito hidrogeológico, se analiza la hidrología y niveles freáticos.

Se estudiaron cuatro viñas de la Zona Central de Chile, ubicadas en las regiones de Valparaíso (San Antonio y Casablanca), Libertador Bernardo O'Higgins (Santa Cruz) y del Maule (San Javier). La selección de las viñas se hizo con perspectiva geológica y agro-enológica. En el ámbito geológico se consideraron viñas con distintos contextos geomorfológicos, hidrogeológicos, diferentes suelos y materiales parentales. En el ámbito agro-enológico se escogieron viñas con características similares, riego por goteo, plantas en edad adulta (15 a 25 años), plantadas

a pie franco y se escogieron 2 tipos de cultivares a fin de hacer comparaciones, Pinot Noir (viñas de Casablanca y San Antonio) y Carmenere (viñas de Santa Cruz y San Javier).

Se estudiaron 12 plantas por viña, considerando dentro de cada viña, plantas de distintos sectores, con diferencias en el tipo de suelo y nivel freático. Las metodologías se pueden separar en tres tareas; la primera consistió en realizar calicatas frente a las plantas, donde se realizó un mapeo y determinación de los horizontes de suelo, la segunda tarea fue analizar la distribución de las raíces mediante el método de "Profile Wall" (Bohm 1979) y la última tarea consistió en un análisis hidrogeológico, donde se midieron niveles freático en las cercanías de las viñas, y se realizó un mapeo en detalle de la red hídrica.

Los principales resultados muestran una clara influencia de las características edáficas en el desarrollo de las raíces. Prueba de ello es la distribución superficial de raíces en las viñas de Santa Cruz y Casablanca, producto de la barrera que produce la roca en profundidad. Algo parecido puede observarse en las viñas de San Antonio y Casablanca, donde niveles más compactos forman barreras para la penetración de raíces más finas. En San Antonio se estudiaron algunas plantas donde el suelo fue labrado (arado) alterando su estructura original, lo que resulta en un menor desarrollo de raíces finas con una distribución homogénea a lo largo del perfil del suelo, en comparación a las otras plantas, en suelo no removido, donde hay mayor cantidad de raíces y su desarrollo ocurre en los primeros 50 cm. En la Viña de Casablanca, la geomorfología y material parental del suelo generan diferencias en la cantidad de raíces, las plantas situadas en un cerro isla con desarrollo de suelo in-situ tienen mayor cantidad de raíces finas y muy finas en comparación a las que se encuentran en el depósito de pie de monte.

Los resultados hidrogeológicos muestran que la cantidad y desarrollo de las raíces finas y muy finas se ve relacionado con la disponibilidad del agua. Es el caso de la Viña de San Javier, que muestra una cantidad notablemente mayor de raíces finas y muy finas en comparación a las otras viñas, lo que se relaciona con un nivel freático cercano a la superficie y una densa red de paleocanales. Algo similar ocurre en la Viña de Santa Cruz donde las calicatas más cercanas a los paleocanales y canales actuales tienen un desarrollo mayor de raíces finas y muy finas.

Anexo 1.6: Biogeochemical association of soil and nutrients in cv. Carmenere and Pinot Noir berries: Applied study in four vineyards of Central Chile. 40th Congress of Vine and Wine. Sofía-Bulgaria.

Asociación biogeoquímica de suelos y nutrientes en bayas de cv. Carmenere y Pinot Noir: Estudio aplicado en cuatro viñas de la Zona Central de Chile.

PAMELA CASTILLO¹; IGNACIO SERRA²; BRIAN TOWNLEY¹; SOFÍA LÓPEZ¹; PAULINA FLORES³

1 Departamento de Geología, Facultad de Ciencias Físicas y Matemática, Universidad de Chile

2 Departamento de Producción Vegetal, Facultad de Agronomía, Universidad de Concepción

3 Consorcio I+D Vinos de Chile.

En el marco del Proyecto "Influencias geológicas, mineralógicas y geoquímicas del cultivo de la vid en Chile" realizado por la Universidad de Chile y el Consorcio I+D Vinos de Chile, hemos planteado como hipótesis que las características geológicas del material parental del suelo en viñas, entre ellas: proveniencia del material, su textura, mineralogía y geoquímica, el grado de descomposición mineral, la biodisponibilidad de nutrientes o metales, no solo influyen en el crecimiento y calidad de la fruta, sino que además podrían determinar improntas químicas en el fruto, las cuales pueden ser evaluadas mediante trazadores geoquímicos.

Para abordar esta problemática se seleccionan cuatro viñas ubicadas en la Zona Central de Chile en los valles de Casablanca, San Antonio, Santa Cruz y San Javier. El material parental de las viñas corresponde a areniscas y conglomerados en San Antonio, tobas y sedimentos lacustres en San Javier e intrusivos graníticos en las viñas de Casablanca y Santa Cruz. En cada viña se escogen uno a dos cuarteles en los que se realizan 12 calicatas, generando un levantamiento geo-pedológico de los perfiles de suelo, determinando tres horizontes principales.

Durante la temporada de verano 2015 se obtienen para cada horizonte muestras para análisis químico de suelo total (digestión fuerte por fusión de meta/tetraborato de litio) y, en los horizontes A y B, se colectan muestras para análisis de elementos biodisponibles mediante la técnica MMI (digestión débil por ligandos orgánicos; Mann et al. 1998). Además asociadas a las calicatas, se colectan en cada viña 12 muestras de 350 bayas cada una, las que son cosechadas al menos 20 días después de la pinta (según los resultados de Bertoldi et al. 2011). Para determinar la fecha exacta de recolección se monitorea el grado brix de los frutos, procurando muestrear en igual grado de madurez en las viñas del mismo cultivar (Pinot Noir en Casablanca y San Antonio; Carmenere en Santa Cruz y San Javier). Las muestras de bayas son maceradas y se analizan los nutrientes N, P, K, Ca, Mg, S, Fe, Mn, Zn, Cu, B, Cl y Na según distintas metodologías.

Los datos químicos son analizados por estadística univariable y multivariable para caracterizar los contenidos de nutrientes en uvas de las distintas viñas, definir su distribución local dentro de cada viña y determinar la existencia de asociaciones biogeoquímicas lineales entre el suelo, los elementos biodisponibles y las bayas.

En términos relativos, es posible reconocer nutrientes con un comportamiento similar entre bayas de la misma cepa, así elementos como P, Ca y Mg se encuentran enriquecidos en los frutos de Pinot Noir, mientras que K y S se concentran en las bayas de la cepa Carmenere. Por otra parte, nutrientes como Fe, Mn, Zn y Cu poseen una distribución particular en algunas viñas, independiente de la cepa considerada. Por ejemplo, Mn muestra mayores valores promedio en los frutos de las viñas de Casablanca y Santa Cruz, coincidente con características litológicas similares del material parental de los suelos, mientras que los nutrientes Zn y Cu, están enriquecidos en los frutos de la Viña de San Antonio, patrón que puede estar influenciado por la aplicación de agroquímicos foliares y/o por aspectos medioambientales particulares de la viña.

Los análisis multivariantes indican que no hay nutrientes comunes que relacionen los suelos y las bayas en todas las áreas de estudio, no obstante, al considerar cada viña por separado, e incluso cada calicata, se reconocen altas correlaciones entre algunos nutrientes en frutos, suelo total y biodisponibles. Es el caso de K en los suelos de Casablanca, Fe-Mn-Zn en la viña de San Antonio; Na en Santa Cruz y P-Mg particularmente en la calicata SC-11; y K y Mn en San Javier. Esta primera evaluación estadística revela a los nutrientes y a las calicatas que deben ser consideradas con mayor detención para integrar estudios mineralógicos y bioquímicos que permitan establecer datos más concluyentes.

Anexo 1.7: Análisis geoquímico de suelos derivados de granitoides en los valles de Casablanca y Santa Cruz. XIV Congreso Geológico Chileno. La Serena-Chile.

Geoquímica de suelos desarrollados sobre granodioritas en los valles vitícolas de Casablanca y Santa Cruz

PAMELA CASTILLO¹; BRIAN TOWNLEY¹; MURIEL CONTRERAS²; SOFÍA LÓPEZ¹; EDUARDO CORTÉS¹

¹ Departamento de Geología, Facultad de Ciencias Físicas y Matemática, Universidad de Chile

² Departamento de Ciencias de la Tierra, Facultad de Ciencias Químicas, Universidad de Concepción

Los suelos de las viñas estudiadas en los valles de Casablanca y Santa Cruz, se caracterizan por presentar un material parental petrográficamente similar, que corresponde a una granodiorita de biotita y hornblenda. La geoquímica de estos suelos propone la oportunidad para comparar la distribución de distintos grupos de elementos (tierras raras, nutrientes y metales), así como también determinar cualitativa y cuantitativamente la influencia de la química del material parental en los suelos y en la biodisponibilidad de nutrientes para las plantas.

Los perfiles de suelo fueron caracterizados a partir de 24 calicatas y el muestreo se realiza en los horizontes A, B y C. Las muestras se analizan por medio de una digestión fuerte para determinar la química total del suelo y una digestión débil para medir los elementos biodisponibles.

Los resultados indican que existe una relación entre la geoquímica del material parental y la química de los suelos, reconociéndose además la influencia de la formación de minerales secundarios (óxidos de Fe y arcillas) en la biodisponibilidad de algunos elementos (tierras raras livianas, Fe y Al).

ANEXO 2. DATOS DE MEDICIONES DE NIVELES FREÁTICOS EN POZOS

Anexo 2.1: Medición del nivel freático en pozos del valle de Casablanca durante las campañas I15 y V16. Las casillas en blanco indican que no se realizó medición.

UTM Norte (m)	UTM Este (m)	Altura (m)	Pozo	Invierno 2015		Verano 2016	
				nivel freático (mbs)	cota freática (ms.n.m.)	nivel freático (mbs)	cota freática (ms.n.m.)
6314416	289621	406	V1	10,2	393,8	10,3	395,7
6314246	289001	370	V2	10,7	360,3	10,8	359,2
6315026	287745	328	V3	20,5	306,5	20,6	307,4
6314951	287317	327	V4	19,1	298,9	19,3	307,7
6314202	287103	315	V5	14,3	293,8	14,4	300,6
6311929	283854	285	V6	17,1	269,9	26,9	258,1
6311873	283662	285	V7	16,5	265,5	26,0	259,0
6311430	285598	297	V8	27,8	270,2	28,0	269,0
6313043	285706	296	V9	18,0	278,1		
6312695	284789	289	V11	17,1	271,9	31,8	257,2
6312931	284812	288	V12	26,3	260,7	34,5	253,5
6316062	287682	329	V13	23,2	306,8	24,1	304,9
6314074	285110	294	V14	17,7	275,4	22,7	271,3
6313722	284895	295	V15	17,4	274,6	37,4	257,6
6313157	285126	293	V16	17,6	269,4	26,6	266,5
6312263	286108	307	V17	18,8	276,2	19,6	287,4
6311804	285865	288	V18	19,6	268,4		
6311622	285784	299	V19	23,3	275,7		
6312147	283712	282	V20	15,5	264,5	41,5	240,5
6312454	283734	285	V21	13,4	267,6	18,3	266,7
6312695	284081	288	V22	17,7	264,3	35,8	252,2
6315352	287729	323	V23	30,7	298,3	31,5	291,5
6315853	286709	320	V24			34,9	285,1
6315814	289009	347	V25			37,7	309,3
6315948	289084	348	V28			26,7	321,3
6311813	285856	296	V29			30,1	265,9
6311721	285943	318	V30			38,9	279,1
6310352	283045	282	V31			30,4	251,6
6311016	283020	281	V32			23,1	257,9
6310854	282450	280	V33			22,0	258,0
6312087	284231	266	V34			26,3	239,7
6312335	284484	286	V35			23,1	262,9
6312113	284851	291	V36			20,8	270,2
6310539	284207	300	V37			28,0	272,0
6310686	283991	292	V38			42,5	249,5
6316417	287687	322	V39			33,5	288,5
6312000	285936	299	V40			20,5	278,5
6312118	284020	289	V41			25,4	263,6
6312398	284121	303	V42			27,0	276,1

Continuación tabla....

UTM Norte (m)	UTM Este (m)	Altura (m)	Pozo	Invierno 2015		Verano 2016	
				nivel freático (mbs)	cota freática (ms.n.m.)	nivel freático (mbs)	cota freática (ms.n.m.)
6316794	287068	312	V43			15,6	296,4
6316174	286709	314	V44			23,5	290,5
6316013	286697	314	V45			18,6	295,5
6315389	286660	319	V46			20,3	298,7
6316105	285547	323	V47			23,7	299,3
6313573	286122	298	V48			20,6	277,4
6313569	285300	292	V49			21,2	270,8
6313288	285437	295	V50			20,1	274,9
6313328	285867	298	V51			18,9	279,1

Anexo 2.2: Medición del nivel freático en pozos del valle de San Antonio durante las campañas I15 y V16. Las casillas en blanco indican que no se realizó medición.

UTM Norte (m)	UTM Este (m)	Altura (m)	Pozo	Invierno 2015		Verano 2016	
				nivel freático (mbs)	cota freática (ms.n.m.)	nivel freático (mbs)	cota freática (ms.n.m.)
6280460	266521	152	C1	2,5	149,5	3,4	156,56
6280591	264488	168	C2	4,6	163,4	6,43	142,57
6280592	264477	168	C3	4,7	163,3	7,52	142,48
6280599	265720	126	C4	1,3	124,7	3,5	81,65
6280599	265721	126	C5	2,0	124,0	2,98	58,02
6280131	266289	152	C6	4,1	147,9		
6280103	266283	153	C7	4,5	148,5		
6279231	263897	174	C8	0,2	173,8	1,75	179,25
6280405	265462	145	C9	2,05	142,95	3,44	112,56
6279276	261643	78	C10	1,21	109,79	2,0	76,0
6276253	263634	119	C11			1,7	117,3
6276297	263547	118	C12			2,2	115,8
6276922	261717	118	C14			1,4	116,6
6283121	262486	193	C15			8,1	184,9
6279057	264320	209	C16			1,2	207,8
6279057	264320	209	C17			1,5	207,5
6280836	265204	197	C18			1,4	195,6
6281272	263626	160	C19			3,5	156,5
6280044	267420	153	C20			4,0	149,0
6279558	267755	163	C21			3,6	159,4
6279558	268452	167	C22			1,8	165,2
6278621	268704	169	C23			2,3	166,7
6280097	266211	112	C24			1,0	111,0

Continuación tabla....

UTM Norte (m)	UTM Este (m)	Altura (m)	Pozo	Invierno 2015		Verano 2016	
				nivel freático (mbs)	cota freática (ms.n.m.)	nivel freático (mbs)	cota freática (ms.n.m.)
6281062	262141	205	C25			24,1	180,9
6279579	264105	173	C26			1,2	171,8
6277281	266501	192	C27			25,2	166,8
6277427	268085	186	C28			11,6	174,5

Anexo 2.3: Medición del nivel freático en pozos del valle de Santa Cruz durante las campañas I15 y V16. Las casillas en blanco indican que no se realizó medición.

UTM Norte (m)	UTM Este (m)	Altura (m)	Pozo	Invierno 2015		Verano 2016	
				nivel freático (mbs)	cota freática (ms.n.m.)	nivel freático (mbs)	cota freática (ms.n.m.)
6166309	289426	205	L1	5,0	200,0	5,6	199,4
6166139	289676	181	L2	3,0	178,0		
6167967	289984	182	L3	0,3	181,7	1,9	167,1
6167349	291295	198	L4	33,7	164,3	2,2	169,8
6167750	290304	183	L5	0,4	182,6		
6165877	292469	190	L6	1,3	188,7	1,2	174,8
6166882	291415	188	L7	0,7	187,3	40,7	147,3
6165832	288416	198	L8	5,5	192,5	6,1	174,9
6165532	292194	193	L9	0,3	192,8	2,2	180,8
6168113	288495	194	L10	0,3	193,7		
6167722	288563	191	L11	0,5	190,5	2,5	194,5
6167711	293526	216	L12	5,6	210,4	13,2	209,8
6165249	293324	191	L15			1,4	189,6
6167109	291716	182	L16			1,2	180,8
6167702	290872	170	L17			1,6	168,4
6165209	287290	181	L18			14,1	166,9
6165098	292467	186	L19			49,9	136,1
6168152	289723	176	L20			1,6	174,4
6168314	289862	182	L21			3,8	178,2
6168107	288489	192	L22			1,2	190,8

Anexo 2.4: Medición del nivel freático en pozos del valle de San Javier durante las campañas I15 y V16. Las casillas en blanco indican que no se realizó medición.

UTM Norte (m)	UTM Este (m)	Altura (m)	Pozo	Invierno 2015		Verano 2016	
				nivel freático (mbs)	cota freática (ms.n.m.)	nivel freático (mbs)	cota freática (ms.n.m.)
6045353	245510	105	M1	3,1	101,9	3,6	
6044586	245989	101	M2	1,7	99,3	3,1	
6044408	246366	110	M3	1,4	108,6	2,0	
6044170	246952	104	M4	5,6	98,4	4,9	
6045550	244510	99	M5	2,6	96,4	2,6	
6045966	244465	118	M6	4,6	113,4	4,7	
6045802	243735	109	M7	5,4	103,6	6,9	
6046026	242901	122	M8	1,6	120,4	2,8	
6045298	243894	116	M9	4,0	112,0	5,6	
6046543	244508	128	M10	2,4	125,6	2,9	
6046208	244382	125	M11	3,0	122,0	3,2	
6045011	244584	106	M12	4,2	101,8	4,6	
6044722	244537	101	M13	0,2	100,8	1,4	
6046591	245964	138	M14	12,6	125,4	12,4	
6046777	246223	124	M15	5,5	118,5	4,7	
6046788	246219	123	M16	5,1	117,9	4,3	
6046750	247727	111	M17	3,6	107,4	3,5	
6045719	247461	114	M18	9,7	104,3	8,7	
6046075	246007	124	M20	4,3	119,7		
6045993	244192	109	M21			3,3	105,8
6045898	243602	114	M22			6,6	107,4
6045464	241177	123	M23			5,8	117,3
6043297	242662	108	M24			4,9	103,1
6044204	244406	101	M25			2,0	99,0
6043962	244701	106	M26			3,1	102,9
6043606	244022	112	M27			0,9	111,1
6043591	244927	106	M28			1,9	104,1
6044753	242620	84	M29			7,5	76,5
6044366	243769	97	M30			4,4	92,6
6045211	242504	109	M31			11,3	97,7
6045201	242482	108	M32			12,2	95,8
6045441	247755	131	M33			12,7	118,3
6043773	246444	104	M34			3,3	100,7
6045311	247469	106	M35			3,8	102,2
6043713	247146	109	M36			7,4	101,6
6045236	247812	106	M37			2,4	103,6
6045268	247473	96	M38			2,4	93,6
6045192	247905	116	M39			3,8	112,2

ANEXOS 3. CONTROL DE CALIDAD DE ANALISIS DE LABORATORIO

ANEXOS 3.2: CONTROL DE CALIDAD ANÁLITICO.

Anexo 3.1: Calculo del error analítico de los datos obtenidos de Laboratorio Bureau Veritas. Las casillas en naranja corresponden a los elementos con baja confiabilidad es decir con CV% mayor al 20%.

Elemento	Unidad	Muestras originales		Duplicados		Error analítico
		GW-V2-V16	GW-V2-I15	GW-V2-V16	GW-V2-I15	CV%
Al	PPB	0,5	2	0,5	2	0
As	PPB	0,25	0,25	0,25	0,25	0
B	PPB	6	11	6	12	4
Ba	PPB	12,99	20,16	12,81	20,59	1
Br	PPB	49	33	46	32	4
Ca	PPM	25,99	31,07	25,76	31,61	1
Ce	PPB	0,005	0,03	0,005	0,01	50
Cl	PPM	10	7	9	7	5
Co	PPB	0,04	0,01	0,05	0,01	11
Cr	PPB	1	1,2	1,1	1,0	10
Cs	PPB	0,005	0,01	0,005	0,01	0
Cu	PPB	0,2	0,3	0,2	0,2	20
Fe	PPB	5	05	5	05	0
K	PPM	0,99	1,25	0,96	1,26	2
La	PPB	0,005	0,02	0,005	0,01	60
Li	PPB	2,3	0,2	2,3	0,2	0
Mg	PPM	11,42	13,93	11,4	13,77	1
Mn	PPB	42,57	0,45	42,39	0,46	1
Mo	PPB	1,6	1,6	1,6	1,6	0
Na	PPM	22,13	22,48	21,42	22,61	2
Nd	PPB	0,005	0,02	0,005	0,01	33
Ni	PPB	0,1	0,1	0,1	0,1	0
P	PPB	34	97	32	95	3
Pb	PPB	0,05	0,05	0,05	0,1	0
Rb	PPB	0,08	0,06	0,07	0,06	7
S	PPM	0,5	2	0,5	2	0
Sb	PPB	0,025	0,06	0,025	0,03	41
Sc	PPB	3	0,5	3	0,5	0
Se	PPB	0,25	0,3	0,25	0,3	0
Si	PPB	20159	23566	19899	23371	1
Sn	PPB	0,15	2,97	0,16	2,68	6
Sr	PPB	100,7	143,98	97,97	144,55	1
U	PPB	0,43	1,30	0,42	1,27	2
V	PPB	1,8	9,0	1,9	9,1	3
W	PPB	0,03	0,03	0,01	0,03	50
Y	PPB	0,005	0,04	0,005	0,01	60
Zn	PPB	8,9	40,8	8,9	41,0	0
Zr	PPB	0,01	0,01	0,01	0,01	0

Anexo 3.2: Calculo del error total de los datos obtenidos del Laboratorio Bureau Veritas. CV%(1) corresponde al cálculo del error total considerando la muestra de agua de lluvia y el CV%(2) sin dicha muestra. Las casillas en naranja corresponden a los elementos con baja confiabilidad es decir con CV% mayor al 25%.

Elemento Unidad	Muestras originales			Duplicados			Error total	
	RW-C1-I15	GW-M8-I15	GW-M4-V16	RW-C1-I15	GW-M8-I15	GW-M4-V16	CV%(1)	CV%(2)
Al PPB	6	35	3	16	33	3	37,2	2,9
As PPB	0,3	2,3	2,9	0,3	2,2	2,7	3,4	4,2
B PPB	3	36	2,5	3	38	2,5	2,2	2,7
Ba PPB	5,28	91,61	40,62	4,51	91,99	39,04	6,6	2,0
Br PPB	3	101	32	3	100	33	1,3	1,6
Ca PPM	0,42	49,67	38,26	7,09	51,24	37,38	72,5	1,9
Ce PPB	0,02	0,07	0,005	0,02	0,08	0,005	5,4	6,7
Cl PPM	1	82	30	1	83	31	1,4	1,7
Co PPB	0,01	0,13	0,01	0,02	0,12	0,01	27,4	4,0
Cr PPB	0,3	0,3	3,1	0,6	0,3	3,4	33,8	4,6
Cs PPB	0,01	0,06	0,34	0,01	0,06	0,32	2,5	3,0
Cu PPB	0,5	11,6	4,5	0,9	11,6	4,4	23,3	1,1
Fe PPB	05	05	5	05	05	5	0,0	0,0
K PPM	0,07	26,41	0,68	0,13	26,47	0,68	24,5	0,1
La PPB	0,01	0,14	0,01	0,01	0,14	0,005	27,2	33,3
Li PPB	0,1	1,1	2	0,1	1,2	2,2	5,3	6,4
Mg PPM	0,06	22,47	16,56	0,11	23,61	16,68	24,1	2,5
Mn PPB	3,95	7,42	2,16	5,00	7,31	2,2	9,6	1,2
Mo PPB	0,1	0,5	0,2	0,1	0,5	0,3	16,3	20,0
Na PPM	0,41	77,68	21,66	0,74	79,82	21,48	23,5	1,4
Nd PPB	0,01	0,23	0,04	0,04	0,28	0,02	69,6	34,7
Ni PPB	0,1	0,1	0,4	0,3	0,1	0,4	40,8	0,0
P PPB	16	343	84	17	356	83	2,9	2,0
Pb PPB	0,1	0,1	0,05	0,1	0,1	0,05	0,0	0,0
Rb PPB	0,06	45,49	0,99	0,09	46,44	1,01	16,4	1,4
S PPM	1	16	1	1	16	2	27,2	33,3
Sb PPB	0,06	0,13	0,025	0,03	0,13	0,025	33,6	0,0
Sc PPB	1	1	5	1	1	4	9,1	11,1
Se PPB	0,3	1,0	0,25	0,3	0,7	0,25	14,4	17,6
Si PPB	113	33760	33563	147	34412	32493	10,8	1,9
Sn PPB	0,70	0,03	0,18	0,63	0,03	0,2	6,1	5,3
Sr PPB	1,56	397,13	279,29	6,90	404,07	251,98	51,7	5,2
U PPB	0,01	2,19	0,1	0,01	2,12	0,11	4,1	5,0
V PPB	0,1	8,5	11,5	0,2	8,7	10,8	27,4	3,3
W PPB	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,0	0,0
Y PPB	0,01	0,47	0,06	0,02	0,49	0,06	49,0	2,1
Zn PPB	71,7	28,2	58,2	81,5	30,2	58,3	5,9	3,4
Zr PPB	0,01	0,12	0,01	0,01	0,14	0,01	6,3	7,7

Anexo 3.3: Calculo del error total de los datos obtenidos del Laboratorio del SERNAGEOMIN. Todos los elementos tiene buena confiabilidad es decir tienen CV% menor al 25%.

Elemento Unidad	Muestra			Duplicado de terreno			Error Total
	GW-V12-I15	GW-L1-I15	DW-M4-V16	GW-V12-I15	GW-L1-I15	DW-M4-V16	CV%
HCO ₃ ⁻ mg/l	212	154	165	202	153	167	2,0
SO ₄ ²⁻ mg/l	8,2	33	6,7	6,1	33	6,6	12,0
Cl ⁻ mg/l	9,1	6,1	31	8,9	6	30	1,8
NO ₃ ⁻ mg/l	18	1,5	19	17	1,5	19	2,3

ANEXOS 3.2: ANÁLISIS DE ELECTRONEUTRALIDAD.

Anexo 3.4: Balance iónico para muestras de agua subterráneas, de riego y tranque en la viña de Casablanca.

Muestra	Invierno		Verano							
	GW-V8	GW-V12	GW-V2	GW-V8	GW-V12	GW-V14	GW-V44	IW-V1	IW-V2	DW-V1
CO32-			0	0	0	0	0	0	0	0
HCO ₃ ⁻	2,73693005	3,47442617	2,60581963	2,58943083	3,47442617	3,67109181	2,34359879	3,53998139	3,55637019	3,53998139
SO42-	0,07286991	0,17072379	0,03747595	0,11034586	0,22901971	0,31229961	0,04372195	0,22901971	0,22901971	0,18946176
Cl-	0,28206358	0,25667786	0,39488901	0,36668265	0,27924294	0,31026993	0,33847629	0,36668265	0,36668265	0,42309537
NO3-	0,2902987	0,2902987	0,40319264	0,32255411	0,32255411	0,30642641	0,46770346	0,33868182	0,33868182	0,32255411
Ca	1,11726547	1,5503992	1,29690619	1,21307385	1,83483034	2,02744511	1,25798403	1,88073852	1,90469062	1,94510978
K	0,04091862	0,03196767	0,0253184	0,04219733	0,03478083	0,03171193	0,02659711	0,03554805	0,03657102	0,04168585
Mg	0,83251069	1,14593616	0,93945377	0,84485028	1,22984534	1,40259954	0,86870681	1,33185258	1,34172425	1,319513
Na	1,11963184	0,9778292	0,96260499	1,16878428	1,03742111	0,95042563	0,86299517	1,12659147	1,12398161	1,13703093
suma(-)	3,38216224	4,19212652	3,44137723	3,38901345	4,30524294	4,60008776	3,19350049	4,47436557	4,49075437	4,47509263
suma +	3,11032662	3,70613224	3,22428335	3,26890574	4,13687762	4,41218221	3,01628312	4,37473063	4,4069675	4,44333956
CE	349,33	436,33	285	285	353,5	365,5	269,5	370	365,5	368,5
error admisible	8-10%	8-10%	8-10%	8-10%	8-10%	8-10%	8-10%	8-10%	8-10%	8-10%
Error	-4,1869247	-6,1531825	-3,2568998	-1,8039827	-1,9943487	-2,0849969	-2,8538414	-1,1259334	-0,9416665	-0,3560387

Anexo 3.5: Balance iónico para muestras de agua subterráneas, de riego y tranque en la viña de San Antonio.

Muestra	GW-C3-I15	GW-C8-I15	GW-C2-V16	GW-C8-V16	GW-10-V16	GW-C26-V16	DW-CT-V16
CO32-			0	0	0	0	0,83320419
HCO3 -	6,24413383	5,12969525	6,12941221	4,78553039	4,62164236	3,31053815	1,47499224
SO42-	1,29083838	1,02017872	1,12427859	0,8744389	1,39493825	0,31229961	0,17905178
Cl-	4,7386681	2,56677855	4,59763631	2,28471497	5,41562068	1,2692861	0,76157166
NO3-	0,91927922	0,66123593	0,95153463	0,70961905	0,02419156	0,02419156	0,02419156
Ca	3,4011976	2,23453094	3,06786427	2,15219561	3,21556886	1,54740519	0,96157685
K	0,17211396	0,06137793	0,13145108	0,0624009	0,02915452	0,10894583	0,0698174
Mg	2,57979599	2,19726884	3,06021718	2,11911813	2,59542613	1,01020072	0,66798289
Na	6,29194813	4,17273823	6,13361636	4,1944871	5,2184239	2,42630395	1,43194561
suma(-)	13,1929195	9,37788845	12,8028617	8,65430332	11,4563929	4,91631541	3,27301142
suma +	12,4450557	8,66591594	12,3931489	8,52820174	11,0585734	5,0928557	3,13132275
CE	1115,33	742,33	1169,5	879	1077,5	455	285,5
error admisible	8-4%	8-4%	8-4%	8-4%	8-4%	8-10%	8-10%
Error	-2,917016	-3,9458004	-1,6261021	-0,7338952	-1,7669111	1,76378531	-2,2123873

Anexo 3.6: Balance iónico para muestras de agua subterráneas, de riego y tranque en la viña de Santa Cruz.

Muestra	Invierno			Verano						
	SW-L1	GW-L1	GW-L4	GW-L2	GW-L7	GW-L9	GW-L11	GW-L21	IW-LI	DW-L1
CO32-				0	0	0	0	0,30995196	0	0
HCO3 -	1,13082739	2,52387562	1,73721309	1,99943393	2,16332196	1,75360189	1,47499224	4,29386631	2,16332196	2,04860034
SO42-	0,04580394	0,68705914	0,01040999	0,58295927	0,13324783	2,08199739	0,14365782	1,2700184	0,58295927	0,60377924
Cl-	0,16641751	0,17205878	0,06205399	0,13821115	0,18052069	0,42309537	0,22283023	1,2692861	0,15513497	0,14103179
NO3-	0,02419156	0,02419156	0,02419156	0,02419156	0,02419156	0,14998766	0,12418333	0,61285281	0,02419156	0,02419156
Ca	0,4011976	1,46257485	0,5748503	1,28792415	0,88772455	2,79740519	0,87075848	2,55189621	1,35329341	1,30489022
K	0,00460335	0,06419109	0,014833	0,06623702	0,05140402	0,05293847	0,03682676	0,01355429	0,07084037	0,06700425
Mg	0,25913129	0,92464627	0,32411978	0,7905561	0,61697927	1,05297795	0,34962159	2,20714051	0,86048042	0,78562027
Na	0,50979352	0,7642553	0,71771271	0,74990104	0,94651083	0,64159167	0,65899077	2,87955041	0,73946158	0,74729118
suma(-)	1,3672404	3,4071851	1,83386862	2,74479591	2,50128204	4,4086823	1,96566362	7,75597558	2,92560775	2,81760293
suma +	1,17472576	3,2156675	1,63151579	2,89461832	2,50261867	4,54491328	1,9161976	7,65214142	3,02407579	2,90480591
CE	369,33	308	147,33	308	294,5	594,5	184,5	776,5	312,5	327
error admisible	8-10%	8-10%	8-10%	8-10%	8-10%	8-4%	8-10%	8-4%	8-10%	8-10%
Error	-7,5734541	-2,8917689	-5,8392607	2,65670163	0,02671178	1,52152257	-1,2742863	-0,6738926	1,65501297	1,52388597

Anexo 3.7: Balance iónico para muestras de agua subterráneas, de riego y tranque en la viña de San Javier.

Muestra	Invierno			Verano						
	GW-M1	GW-M9-	GW-M10	GW-M1	GW-M4	GW-M9	GW-M10	GW-M14	IW-M1	DW-M
CO32-				0,53325068	0	0	0,32994886	0	0	0
HCO3 -	6,32607785	2,80248526	4,01525666	3,70386941	2,70415245	2,52387562	3,53998139	4,75275279	0,98332816	1,01610577
SO42-	0,56213929	1,20755848	0,91607885	0,8744389	0,13949382	0,45803942	0,74951906	0,72869908	0,27065966	0,27065966
Cl-	0,50771444	2,65139763	0,12974925	0,45130172	0,87439709	1,69238146	0,12410797	0,70515894	0,17487942	0,17487942
NO3-	0,02419156	2,49979437	0,04999589	0,09515346	0,30642641	1,08055628	0,10321732	0,12418333	0,02419156	0,04354481
Ca	2,93862275	2,47854291	2,63722555	3,39371257	1,90918164	1,72704591	2,48103792	2,69161677	0,76447106	0,82884232
K	0,19564217	0,67541302	0,0179019	0,21328832	0,01739041	0,33706716	0,01534448	0,13042811	0,03452509	0,03529231
Mg	1,5556104	1,84846989	1,22079631	1,76620599	1,36229023	1,41822968	1,24218493	2,01052978	0,35867062	0,35044423
Na	2,38367617	3,37890447	0,86560503	2,53113351	0,94216105	2,54461781	0,86864987	1,68510246	0,35494156	0,35320165
suma(-)	7,42012314	9,16123574	5,11108065	5,65801418	4,02446977	5,75485278	4,84677459	6,31079415	1,4530588	1,50518965
suma +	7,07355149	8,38133029	4,74152879	7,90434039	4,23102333	6,02696055	4,60721721	6,51767712	1,51260832	1,5677805
CE	677,67	785,666667	415,67	696,5	428,5	682	449	604,5	259	171
error admisible	8-4%	8-4%	10-8%	8-4%	10-8%	8-4%	10-8%	8-4%	10-8%	10-8%
Error	-2,3911924	-4,4457889	-3,7508018	16,5629515	2,50201366	2,30955766	-2,5339284	1,61268607	2,00796383	2,03681942

Anexo 3.8: Balance iónico para muestras de agua lluvia en todas las viñas.

Muestra	RW-V1-I15	RW-V2-I15	RW-C1-I15	RW-C2-I15	RW-L5-I15	RW-M1-I15	RW-M2-I15
CO32-							
HCO3 -	0,00081944	0,00081944	0,00081944	0,00081944	0,00081944	0,00081944	0,00081944
SO42-	0,01040999	0,01040999	0,01040999	0,01040999	0,01040999	0,01040999	0,01040999
Cl-	0,01410318	0,01410318	0,01410318	0,01410318	0,01410318	0,01410318	0,01410318
NO3-	0,02419156	0,02419156	0,02419156	0,02419156	0,02419156	0,02419156	0,02419156
Ca	0,00998004	0,00798403	0,35379242	0,02345309	0,03942116	0,03942116	0,01896208
K	0,00063935	0,00063935	0,00332464	0,00230167	0,00230167	0,00281316	0,00281316
Mg	0,0041132	0,0020566	0,00904903	0,00658111	0,0020566	0,0020566	0,0020566
Na	0,02479371	0,00782959	0,03218833	0,02522869	0,00608968	0,01957398	0,01652914
suma(-)	0,04952416	0,04952416	0,04952416	0,04952416	0,04952416	0,04952416	0,04952416
suma +	0,0395263	0,01850958	0,39835441	0,05756457	0,04986911	0,06386489	0,04036097
CE	44	39,33	13,4	13,2	91	0	8
error admisible	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
Error	-11,227189	-45,587069	77,885004	7,50816955	0,34705274	12,6473662	-10,194338

ANEXOS 4. RESULTADOS HIDROQUÍMICOS

Anexo 4.1: Resultados de elementos mayores, menores, trazas y fisicoquímica de muestras de la viña de Casablanca durante la campaña Invierno 2015.

		Tipo de Agua	Lluvia	Subterránea	
		Muestra	RW-V1-I15	GW-V8-I15	GW-V12-I15
		Elemento/unidad			
Elementos mayores	OH-	meq/L	0	0	0
	CO32-	meq/L	0	0	0
	HCO3 -	meq/L	0,0008	2,7369	3,4744
	SO42-	meq/L	0,0104	0,0729	0,1707
	Cl-	meq/L	0,0141	0,2821	0,2567
	NO3-	meq/L	0,0242	0,2903	0,2903
	Ca2+	meq/L	0,0100	1,1173	1,5504
	Mg2+	meq/L	0,0041	0,8325	1,1459
	Na+	meq/L	0,0248	1,1196	0,9778
	K+	meq/L	0,0006	0,0409	0,0320
Fisicoquímica	CE	(uS)	37	349,33	436,33
	T	°C	13,1	19,9	18,1
	pH	-	8,41	7,34	7,77
	Eh	mV	313	284	292
	STD	ppm	3,395	258,35	316,03
Elementos menores y trazas	Al	PPM	0,007	0,003	0,002
	B	PPM	0,0025	0,013	0,011
	Ba	PPM	0,00286	0,01061	0,02016
	Br	PPM	0,0025	0,049	0,033
	Ce	PPM	0,00003	0,00002	0,00003
	Co	PPM	0,00002	0,00001	0,00001
	Cr	PPM	0,00025	0,00025	0,0012
	Cu	PPM	0,001	0,0006	0,0003
	Li	PPM	0,0003	0,0061	0,0002
	Mn	PPM	0,00224	0,00063	0,00045
	Mo	PPM	0,00005	0,0026	0,0016
	P	PPM	0,021	0,089	0,097
	Pb	PPM	0,0001	0,00005	0,00005
	Rb	PPM	0,00009	0,00019	0,00006
	Sc	PPM	0,0005	0,0005	0,0005
	Si	PPM	0,041	22,215	23,566
	Sn	PPM	0,00005	0,00299	0,00297
	Sr	PPM	0,00081	0,1065	0,14398
	U	PPM	0,00001	0,00129	0,0013
	V	PPM	0,0001	0,0146	0,009
W	PPM	0,00001	0,00513	0,00003	
Y	PPM	0,00001	0,00002	0,00004	
Zn	PPM	0,7226	0,0239	0,0408	

Anexo 4.2: Resultados de elementos mayores, menores, trazas y fisicoquímica de muestras de la viña de Casablanca durante la campaña Verano 2016.

Tipo de Agua		Subterránea					Riego		Tranque
Muestra		GW-V2-V16	GW-V8-V16	GW-V12-V16	GW-V14-V16	GW-V44-V16	IW-V1-V16	IW-V2-V16	DW-V1-V16
Elemento/unidad									
Elementos mayores	OH- meq/L	0	0	0	0	0	0	0	0
	CO32- meq/L	0	0	0	0	0	0	0	0
	HCO3- meq/L	2,6058	2,5894	3,4744	3,6711	2,3436	3,5400	3,5564	3,5400
	SO42- meq/L	0,0375	0,1103	0,2290	0,3123	0,0437	0,2290	0,2290	0,1895
	Cl- meq/L	0,3949	0,3667	0,2792	0,3103	0,3385	0,3667	0,3667	0,4231
	NO3- meq/L	0,4032	0,3226	0,3226	0,3064	0,4677	0,3387	0,3387	0,3226
	Ca2+ meq/L	1,2969	1,2131	1,8348	2,0274	1,2580	1,8807	1,9047	1,9451
	Mg2+ meq/L	0,9395	0,8449	1,2298	1,4026	0,8687	1,3319	1,3417	1,3195
	Na+ meq/L	0,9626	1,1688	1,0374	0,9504	0,8630	1,1266	1,1240	1,1370
	K+ meq/L	0,0253	0,0422	0,0348	0,0317	0,0266	0,0355	0,0366	0,0417
Fisicoquímica	CE (uS)	285	285	353,5	365,5	269,5	370	365,5	368,5
	T °C	20	19,8	18,1	20,8	19,9	21,1	21,8	24,27
	pH -	8,29	8,56	8,95	8,22	8,56	8,87	8,93	8,69
	Eh mV	283	288	270	288	268	282	263	235
	STD ppm	260,33	259,4	329,83	349,77	242,75	342,17	343,75	342,89
Elementos menores y trazas	Al PPM	0,0005	0,002	0,002	0,003	0,002	0,0005	0,012	0,003
	B PPM	0,006	0,013	0,011	0,009	0,009	0,012	0,012	0,013
	Ba PPM	0,01299	0,01108	0,0244	0,0309	0,02926	0,02359	0,02551	0,03618
	Br PPM	0,049	0,07	0,051	0,065	0,047	0,059	0,057	0,06
	Ce PPM	0,000005	0,00001	0,00002	0,00001	0,000005	0,000005	0,00003	0,00002
	Co PPM	0,00004	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001
	Cr PPM	0,001	0,0013	0,0023	0,002	0,0012	0,0031	0,0024	0,0022
	Cu PPM	0,0002	0,0007	0,0003	0,0004	0,0003	0,0214	0,0227	0,065
	Li PPM	0,0023	0,0068	0,0002	0,0006	0,0003	0,0002	0,0003	0,0003
	Mn PPM	0,04257	0,00022	0,00013	0,00034	0,0003	0,00033	0,00103	0,00081
	Mo PPM	0,0016	0,0024	0,0015	0,0019	0,0005	0,0014	0,0013	0,0016
	P PPM	0,034	0,106	0,104	0,104	0,104	0,082	0,086	0,154
	Pb PPM	0,00005	0,00005	0,00005	0,00005	0,00005	0,00005	0,00005	0,00005
	Rb PPM	0,00008	0,00015	0,00007	0,00005	0,00012	0,00007	0,00013	0,0001
	Sc PPM	0,003	0,004	0,004	0,005	0,004	0,003	0,003	0,004
	Si PPM	20,159	24,004	25,264	27,042	28,775	25,019	25,147	25,541
	Sn PPM	0,00015	0,00016	0,0002	0,00021	0,00018	0,00009	0,0013	0,00011
	Sr PPM	0,1007	0,10713	0,1558	0,19416	0,13711	0,15733	0,159	0,1609
	U PPM	0,00043	0,00106	0,00142	0,00121	0,0002	0,00132	0,00135	0,00134
	V PPM	0,0018	0,0159	0,0092	0,0069	0,0056	0,0105	0,0107	0,0137
	W PPM	0,00003	0,00439	0,00008	0,00003	0,00001	0,00001	0,00002	0,00003
	Y PPM	0,000005	0,000005	0,00002	0,00004	0,00002	0,00001	0,00002	0,00001
Zn PPM	0,0089	0,0789	0,0498	0,0312	0,0149	0,0048	0,0119	0,1218	

Anexo 4.3: Resultados de elementos mayores, menores, trazas y fisicoquímica de muestras de la viña de San Antonio durante la campaña Invierno 2015.

		Tipo de Agua	Lluvia		Subterránea	
		Muestra	RW-C1-I15	RW-C2-I15	GW-C2-I15	GW-C8-I15
		Elemento/unidad				
Elementos mayores	OH-	meq/L	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
	CO32-	meq/L	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
	HCO3 -	meq/L	0,0008	0,0008	6,2441	5,1297
	SO42-	meq/L	0,0104	0,0104	1,2908	1,0202
	Cl-	meq/L	0,0141	0,0141	4,7387	2,5668
	NO3-	meq/L	0,0242	0,0242	0,9193	0,6612
	Ca2+	meq/L	0,3538	0,0235	3,4012	2,2345
	Mg2+	meq/L	0,0090	0,0066	2,5798	2,1973
	Na+	meq/L	0,0322	0,0252	6,2919	4,1727
	K+	meq/L	0,0033	0,0023	0,1721	0,0614
Fisicoquímica	CE	(uS)	114	25	1115,33	742,33
	T	°C	13,1	13,0	14,8	13,3
	pH	-	8,58	7,91	7,73	7,57
	Eh	mV	164	210	217	219
	STD	ppm	10,62	3,77	918,9	663,82
Elementos menores y trazas	Al	PPM	0,016	0,072	0,008	0,003
	As	PPM	0,00025	0,00025	0,0022	0,0014
	B	PPM	0,0025	0,0025	0,019	0,017
	Ba	PPM	0,00451	0,00321	0,09034	0,05035
	Br	PPM	0,0025	0,0025	0,372	0,213
	Ce	PPM	0,00002	0,00002	0,00001	0,00001
	Co	PPM	0,00002	0,00003	0,00007	0,00005
	Cr	PPM	0,0006	0,0008	0,0006	0,0005
	Cu	PPM	0,0009	0,0009	0,0025	0,0025
	Fe	PPM	0,005	0,005	0,005	0,005
	La	PPM	0,000005	0,000005	0,00001	0,00002
	Li	PPM	0,00005	0,00005	0,0053	0,0052
	Mn	PPM	0,005	0,00467	0,00019	0,00801
	Mo	PPM	0,00005	0,00005	0,0023	0,0012
	Nd	PPM	0,00004	0,00001	0,00002	0,000005
	Ni	PPM	0,0003	0,0004	0,0001	0,0001
	P	PPM	0,017	0,021	0,115	0,08
	Rb	PPM	0,00009	0,00008	0,00319	0,00103
	Se	PPM	0,00025	0,00025	0,0018	0,0017
	Si	PPM	0,147	0,057	20,749	21,008
	Sn	PPM	0,00063	0,00028	0,00113	0,0014
	Sr	PPM	0,0069	0,00169	0,46995	0,28779
	U	PPM	0,00001	0,00001	0,00511	0,00182
	V	PPM	0,0002	0,0001	0,0195	0,02
Y	PPM	0,00002	0,000005	0,00004	0,00005	
Zn	PPM	0,0815	0,0575	0,0327	0,0388	

Anexo 4.4: Resultados de elementos mayores, menores, trazas y fisicoquímica de muestras de la viña de San Antonio durante la campaña Verano 2016.

	Tipo de Agua		Subterránea				Tranque
	Muestra		GW-C2-V16	GW-C8-V16	GW-C10-V16	GW-C26-V16	DW-CT-V16
	Elemento/unidad						
Elementos mayores	OH-	meq/L	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
	CO32-	meq/L	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,8332
	HCO3 -	meq/L	6,1294	4,7855	4,6216	3,3105	1,4750
	SO42-	meq/L	1,1243	0,8744	1,3949	0,3123	0,1791
	Cl-	meq/L	4,5976	2,2847	5,4156	1,2693	0,7616
	NO3-	meq/L	0,9515	0,7096	0,0242	0,0242	0,0242
	Ca2+	meq/L	3,0679	2,1522	3,2156	1,5474	0,9616
	Mg2+	meq/L	3,0602	2,1191	2,5954	1,0102	0,6680
	Na+	meq/L	6,1336	4,1945	5,2184	2,4263	1,4319
	K+	meq/L	0,1315	0,0624	0,0292	0,1089	0,0698
Fisicoquímica	CE	(uS)	1169,5	879	1077,5	455	285,5
	T	°C	17,7	19,5	23,1	22,0	21,35
	pH	-	7,65	7,57	7,70	7,96	10,04
	Eh	mV	193	247	297	259	136
	STD	ppm	894,83	626,76	759,6	366,83	215,14
Elementos menores y trazas	Al	PPM	0,003	0,003	0,002	0,005	0,027
	As	PPM	0,0023	0,002	0,0034	0,0019	0,0034
	B	PPM	0,015	0,014	0,023	0,026	0,014
	Ba	PPM	0,11198	0,04869	0,11212	0,08434	0,03874
	Br	PPM	0,522	0,273	0,386	0,161	0,089
	Ce	PPM	0,00002	0,000005	0,00001	0,00003	0,00048
	Co	PPM	0,00001	0,00001	0,00057	0,00012	0,00063
	Cr	PPM	0,0028	0,0022	0,0019	0,0015	0,0008
	Cu	PPM	0,0012	0,0014	0,001	0,0013	0,0022
	Fe	PPM	0,005	0,005	0,005	0,005	0,164
	La	PPM	0,00002	0,00001	0,000005	0,00002	0,00021
	Li	PPM	0,0052	0,0055	0,0012	0,002	0,0004
	Mn	PPM	0,00039	0,00076	2,24265	0,03567	0,03448
	Mo	PPM	0,0013	0,0009	0,0006	0,0009	0,0006
	Nd	PPM	0,00003	0,00002	0,000005	0,00002	0,00023
	Ni	PPM	0,0001	0,0001	0,0016	0,0006	0,0016
	P	PPM	0,086	0,079	0,123	0,033	0,034
	Rb	PPM	0,00071	0,00113	0,00118	0,00194	0,00038
	Se	PPM	0,0024	0,0018	0,0011	0,0007	0,00025
	Si	PPM	20,857	21,826	17,813	7,585	0,181
	Sn	PPM	0,00027	0,00018	0,0002	0,00018	0,00012
	Sr	PPM	0,49708	0,26669	0,43767	0,18542	0,1298
	U	PPM	0,00489	0,00154	0,00017	0,00072	0,0002
	V	PPM	0,0192	0,0224	0,004	0,0054	0,0122
	Y	PPM	0,00004	0,00003	0,00001	0,00005	0,00031
	Zn	PPM	0,0967	0,0096	0,0291	0,0443	0,1766

Anexo 4.5: Resultados de elementos mayores, menores, trazas y fisicoquímica de muestras de la viña de Santa Cruz durante la campaña Invierno 2015.

	Tipo de Agua		Lluvia	Vertiente	Subterránea	
	Muestra		RW-L-115	SW-L1-115	GW-L1-115	GW-L4-115
	Elemento/unidad					
Elementos mayores	OH-	meq/L	0	0	0	0
	CO32-	meq/L	0	0	0	0
	HCO3 -	meq/L	0,00082	1,13083	2,52388	1,73721
	SO42-	meq/L	0,01041	0,04580	0,68706	0,01041
	Cl-	meq/L	0,01410	0,16642	0,17206	0,06205
	NO3-	meq/L	0,02419	0,02419	0,02419	0,02419
	Ca2+	meq/L	0,03942	0,40120	1,46257	0,57485
	Mg2+	meq/L	0,00206	0,25913	0,92465	0,32412
	Na+	meq/L	0,00609	0,50979	0,76426	0,71771
	K+	meq/L	0,00230	0,00460	0,06419	0,01483
Fisicoquímica	CE	(uS)	91	369,33	308	147,33
	T	°C	16,3	10,8	13,1666667	12,9
	pH	-	7,70	8,50	7,47	7,56
	Eh	mV	249	216	216	207
	STD	ppm	3,595	101,69	255,23	142,74
Elementos menores y trazas	Al	PPM	0,02	0,018	0,031	0,082
	As	PPM	0,00025	0,0005	0,0094	0,001
	B	PPM	0,0025	0,0025	0,058	0,008
	Ba	PPM	0,00411	0,0094	0,00453	0,01598
	Br	PPM	0,0025	0,019	0,023	0,015
	Ce	PPM	0,00003	0,00021	0,00006	0,00002
	Co	PPM	0,00005	0,00008	0,00001	0,00001
	Cr	PPM	0,00025	0,0005	0,00025	0,0008
	Cs	PPM	0,000005	0,000005	0,00001	0,000005
	Cu	PPM	0,0009	0,001	0,0006	0,0002
	Fe	PPM	0,005	0,049	0,005	0,005
	La	PPM	0,00001	0,00016	0,00004	0,00002
	Li	PPM	0,00005	0,0022	0,0009	0,0005
	Mn	PPM	0,00512	0,00215	0,00206	0,00106
	Mo	PPM	0,00005	0,0009	0,0012	0,0017
	Nd	PPM	0,000005	0,0002	0,00003	0,00001
	Ni	PPM	0,0001	0,0003	0,0001	0,0003
	P	PPM	0,023	0,019	0,173	0,165
	Pb	PPM	0,0005	0,00005	0,00005	0,00005
	Rb	PPM	0,00009	0,00019	0,00096	0,00036
	Si	PPM	0,04	17,072	26,765	29,628
	Sr	PPM	0,00138	0,04203	0,13336	0,07577
	U	PPM	0,00001	0,00007	0,00063	0,00012
	V	PPM	0,0001	0,0029	0,0141	0,0044
	Zn	PPM	0,0605	0,0588	0,0449	0,0299
	Zr	PPM	0,00001	0,00011	0,00001	0,00001

Anexo 4.6: Resultados de elementos mayores, menores, trazas y fisicoquímica de muestras de la viña de Santa Cruz durante la campaña Verano 2016.

Tipo de Agua		Subterránea					Riego	Tranque
Muestra		GW-L2-V16	GW-L7-V16	GW-L9-V16	GW-L11-V16	GW-L21-V16	IW-LI-V16	DW-L1-V16
Elemento/unidad								
Elementos mayores	OH- meq/L	0	0	0	0	0	0	0
	CO32- meq/L	0	0	0	0	0,30995196	0	0
	HCO3 - meq/L	1,99943	2,16332	1,75360	1,47499	4,29387	2,16332	2,04860
	SO42- meq/L	0,58296	0,13325	2,08200	0,14366	1,27002	0,58296	0,60378
	Cl- meq/L	0,13821	0,18052	0,42310	0,22283	1,26929	0,15513	0,14103
	NO3- meq/L	0,02419	0,02419	0,14999	0,12418	0,61285	0,02419	0,02419
	Ca2+ meq/L	1,28792	0,88772	2,79741	0,87076	2,55190	1,35329	1,30489
	Mg2+ meq/L	0,79056	0,61698	1,05298	0,34962	2,20714	0,86048	0,78562
	Na+ meq/L	0,74990	0,94651	0,64159	0,65899	2,87955	0,73946	0,74729
	K+ meq/L	0,06624	0,05140	0,05294	0,03683	0,01355	0,07084	0,06700
Fisicoquímica	CE (uS)	308	294,5	594,5	184,5	776,5	312,5	327
	T °C	16,25	14,4	16,8	21,2	18,0	19,8	23,1
	pH -	8,295	7,23	7,2	6,84	7,82	8,14	9,06
	Eh mV	244	281	261,5	288	273	243	253
	STD ppm	211,65	195,36	316,98	150,79	560	224,35	216
Elementos menores y trazas	Al PPM	0,002	0,001	0,001	0,003	0,002	0,005	0,016
	As PPM	0,0124	0,0077	0,0009	0,0006	0,0018	0,0118	0,0134
	B PPM	0,055	0,011	0,164	0,013	0,025	0,056	0,061
	Ba PPM	0,01444	0,02575	0,02035	0,02957	0,06189	0,016	0,0069
	Br PPM	0,018	0,023	0,021	0,038	0,051	0,019	0,019
	Ce PPM	0,000005	0,000005	0,000005	0,00002	0,00001	0,00003	0,00003
	Co PPM	0,00001	0,00001	0,00001	0,00003	0,00058	0,00001	0,00001
	Cr PPM	0,0011	0,0011	0,0012	0,0012	0,003	0,0013	0,0015
	Cs PPM	0,00001	0,00003	0,00014	0,000005	0,000005	0,00003	0,00001
	Cu PPM	0,0007	0,0003	0,0028	0,0033	0,0034	0,0196	0,0065
	Fe PPM	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005
	La PPM	0,000005	0,000005	0,000005	0,00002	0,00001	0,00001	0,00002
	Li PPM	0,0018	0,0016	0,0012	0,0003	0,0007	0,0017	0,0019
	Mn PPM	0,01463	0,10303	0,0004	0,00204	0,21218	0,08968	0,00437
	Mo PPM	0,0018	0,0016	0,0004	0,0003	0,0011	0,0015	0,0016
	Nd PPM	0,000005	0,000005	0,000005	0,000005	0,00004	0,000005	0,00002
	Ni PPM	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0007	0,0001	0,0001
	P PPM	0,2	0,277	0,019	0,143	0,2	0,303	0,137
	Pb PPM	0,00005	0,00005	0,00005	0,00005	0,00005	0,00005	0,00005
	Rb PPM	0,00211	0,0028	0,00444	0,00071	0,00079	0,00237	0,00208
	Si PPM	27,83	35,058	14,376	13,793	24,261	27,479	27,244
	Sr PPM	0,12049	0,11235	0,20267	0,07977	0,37405	0,13009	0,11452
	U PPM	0,00028	0,00005	0,00007	0,00002	0,00112	0,00024	0,00027
	V PPM	0,0089	0,005	0,0012	0,0025	0,0131	0,0066	0,0088
	Zn PPM	0,0075	0,0331	0,0197	0,0457	0,0282	0,1393	0,1909
	Zr PPM	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001

Anexo 4.7: Resultados de elementos mayores, menores, trazas y fisicoquímica de muestras de la viña de San Javier durante la campaña Invierno 2015.

		Tipo de Agua	Lluvia		Subterránea		
		Muestra	RW-M1-I15	RW-M2-I15	GW-M1-I15	GW-M9-I15	GW-M10-I15
		Elemento/unidad					
Elementos mayores	OH-	meq/L	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
	CO32-	meq/L	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
	HCO3 -	meq/L	0,0008	0,0008	6,3261	2,8025	4,0153
	SO42-	meq/L	0,0104	0,0104	0,5621	1,2076	0,9161
	Cl-	meq/L	0,0141	0,0141	0,5077	2,6514	0,1297
	NO3-	meq/L	0,0242	0,0242	0,0242	2,4998	0,0500
	Ca2+	meq/L	0,0394	0,0190	2,9386	2,4785	2,6372
	Mg2+	meq/L	0,0021	0,0021	1,5556	1,8485	1,2208
	Na+	meq/L	0,0196	0,0165	2,3837	3,3789	0,8656
	K+	meq/L	0,0028	0,0028	0,1956	0,6754	0,0179
Fisicoquímica	CE	(uS)	0	8	677,67	786	415,67
	T	°C	10,4	10,1	13,33	13,1	12,23
	pH	-	7,98	6,36	7,41	6,9	7,00
	Eh	mV	249	238	298,00	311	311,00
	STD	ppm	3,925	3,445	572,75	654,23	384,99
Elementos menores y trazas	Al	PPM	0,006	0,004	0,003	0,035	0,002
	As	PPM	0,00025	0,00025	0,0061	0,0023	0,0009
	B	PPM	0,0025	0,0025	0,025	0,036	0,016
	Ba	PPM	0,00392	0,00379	0,06295	0,09161	0,02011
	Br	PPM	0,0025	0,0025	0,09	0,101	0,011
	Ce	PPM	0,000005	0,00002	0,00001	0,00007	0,000005
	Co	PPM	0,00003	0,00006	0,00013	0,00013	0,00001
	Cr	PPM	0,0022	0,003	0,00025	0,00025	0,00025
	Cs	PPM	0,000005	0,000005	0,00001	0,00006	0,00009
	Cu	PPM	0,001	0,0022	0,001	0,0116	0,0029
	Fe	PPM	0,013	0,016	0,005	0,005	0,005
	Li	PPM	0,00005	0,00005	0,0005	0,0011	0,0086
	Mn	PPM	0,00341	0,00471	0,77057	0,00742	0,0027
	Mo	PPM	0,00005	0,00005	0,002	0,0005	0,0012
	Nd	PPM	0,00001	0,000005	0,00001	0,00023	0,00002
	Ni	PPM	0,0003	0,0006	0,0001	0,0001	0,0001
	P	PPM	0,017	0,016	0,109	0,343	0,098
	Pb	PPM	0,0005	0,0007	0,00005	0,00005	0,00005
	Rb	PPM	0,00015	0,00018	0,00499	0,04549	0,00134
	Sb	PPM	0,00005	0,000025	0,0001	0,00013	0,00007
	Se	PPM	0,00025	0,00025	0,00025	0,001	0,0011
	Si	PPM	0,092	0,108	20,813	33,76	22,425
	Sn	PPM	0,000025	0,000025	0,000025	0,000025	0,000025
	Sr	PPM	0,00121	0,001	0,40962	0,39713	0,19775
	U	PPM	0,00001	0,00001	0,0002	0,00219	0,00103
	V	PPM	0,0001	0,0001	0,0012	0,0085	0,0065
	Y	PPM	0,000005	0,000005	0,00003	0,00047	0,00002
	Zn	PPM	0,0595	0,066	0,0039	0,0282	0,0237

Anexo 4.8: Resultados de elementos mayores, menores, trazas y fisicoquímica de muestras de la viña de San Javier durante la campaña Verano 2016. nd= no hay datos

Tipo de Agua		Subterránea					Riego	Tranque
Muestra		GW-M1-V16	GW-M4-V16	GW-M9-V16	GW-M10-V16	GW-M14-V16	IW-M1-V16	DW-M-V16
Elemento/unidad								
Elementos mayores	OH- meq/L	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
	CO32- meq/L	0,5333	0,0000	0,0000	0,3299	0,0000	0,0000	0,0000
	HCO3 - meq/L	3,7039	2,7042	2,5239	3,5400	4,7528	0,9833	1,0161
	SO42- meq/L	0,8744	0,1395	0,4580	0,7495	0,7287	0,2707	0,2707
	Cl- meq/L	0,4513	0,8744	1,6924	0,1241	0,7052	0,1749	0,1749
	NO3- meq/L	0,0952	0,3064	1,0806	0,1032	0,1242	0,0242	0,0435
	Ca2+ meq/L	3,3937	1,9092	1,7270	2,4810	2,6916	0,7645	0,8288
	Mg2+ meq/L	1,7662	1,3623	1,4182	1,2422	2,0105	0,3587	0,3504
	Na+ meq/L	2,5311	0,9422	2,5446	0,8686	1,6851	0,3549	0,3532
	K+ meq/L	0,2133	0,0174	0,3371	0,0153	0,1304	0,0345	0,0353
Fisicoquímica	CE (uS)	696,5	428,5	682	449	604,5	259	171
	T °C	19,95	19,25	19,45	18,8	23,4	20,95	18,5
	pH -	7,725	7,125	7,725	7,825	7,655	7,975	7,92
	Eh mV	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
	STD ppm	461,91	298,86	426,53	358,09	479,92	109,89	114,27
Elementos menores y trazas	Al PPM	0,016	0,003	0,003	0,002	0,005	0,013	0,106
	As PPM	0,0074	0,0029	0,003	0,0011	0,0017	0,0015	0,0015
	B PPM	0,022	0,0025	0,018	0,015	0,016	0,033	0,033
	Ba PPM	0,06377	0,04062	0,09109	0,01723	0,05345	0,00865	0,01052
	Br PPM	0,135	0,032	0,128	0,018	0,043	0,012	0,012
	Ce PPM	0,00001	0,000005	0,00003	0,000005	0,000005	0,00002	0,00013
	Co PPM	0,00014	0,00001	0,00236	0,00001	0,00001	0,00005	0,0001
	Cr PPM	0,0047	0,0031	0,0015	0,003	0,0039	0,0007	0,0008
	Cs PPM	0,00001	0,00034	0,00001	0,00006	0,000005	0,000005	0,00003
	Cu PPM	0,0019	0,0045	0,0048	0,0007	0,055	0,0012	0,0014
	Fe PPM	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,018	0,133
	Li PPM	0,0011	0,002	0,0004	0,0084	0,0039	0,0021	0,0021
	Mn PPM	0,58628	0,00216	1,19139	0,00054	0,00672	0,00423	0,01822
	Mo PPM	0,0018	0,0002	0,0012	0,0011	0,0004	0,0005	0,0004
	Nd PPM	0,00015	0,00004	0,00003	0,000005	0,00002	0,00006	0,00037
	Ni PPM	0,0001	0,0004	0,0005	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	P PPM	0,162	0,084	0,323	0,123	0,176	0,077	0,085
	Pb PPM	0,00005	0,00005	0,00005	0,00005	0,00005	0,00005	0,00005
	Rb PPM	0,00732	0,00099	0,01609	0,00132	0,00172	0,00251	0,00262
	Sb PPM	0,00009	0,000025	0,00007	0,000025	0,00005	0,00006	0,00006
	Se PPM	0,0017	0,00025	0,0008	0,0007	0,0006	0,00025	0,00025
	Si PPM	24,949	33,563	39,136	23,803	19,061	9,822	9,831
	Sn PPM	0,00019	0,00018	0,00017	0,00019	0,00023	0,00012	0,00007
	Sr PPM	0,47258	0,27929	0,29524	0,19062	0,3791	0,07744	0,07765
	U PPM	0,00035	0,0001	0,00063	0,00073	0,00018	0,00005	0,00005
	V PPM	0,0026	0,0115	0,0087	0,0074	0,006	0,0032	0,0035
	Y PPM	0,00006	0,00006	0,00012	0,00003	0,00002	0,00005	0,00015
	Zn PPM	0,138	0,0582	0,0208	0,018	0,0295	0,0571	0,298

Anexo 4.9: Matriz de correlación de las muestras de aguas subterránea, riego y tranque de la viña de Casablanca.

	HO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Al	B	Ba	Br	Ce	Co	Cr	Cu	Li	Mn	Mb	P	Pb	Rb	Sc	Si	Sn	Sr	U	V	W	Y	Zn	CE	T	pH	EH	
HO ₃ ⁻	1,00																																			
SO ₄ ²⁻	0,92	1,00																																		
Cl ⁻	-0,11	-0,14	1,00																																	
NO ₃ ⁻	-0,60	-0,54	0,38	1,00																																
Ca ²⁺	0,92	0,92	0,13	-0,31	1,00																															
Mg ²⁺	0,95	0,92	0,09	-0,36	0,99	1,00																														
Na ⁺	0,25	0,19	0,31	-0,58	0,13	0,13	1,00																													
K ⁺	0,23	0,22	0,10	-0,66	0,10	0,08	0,28	1,00																												
Al	0,31	0,31	0,10	-0,13	0,32	0,34	0,28	0,24	1,00																											
B	0,28	0,25	-0,05	-0,60	0,12	0,12	0,21	0,33	0,28	1,00																										
Ba	0,55	0,56	0,22	0,14	0,75	0,70	-0,22	-0,09	0,21	0,01	1,00																									
Br	0,10	0,35	0,54	-0,12	0,29	0,22	0,50	0,48	0,13	0,27	0,13	1,00																								
Ce	0,49	0,30	-0,37	-0,58	0,25	0,29	0,29	0,37	0,62	0,47	0,08	-0,37	1,00																							
Co	-0,37	-0,47	0,36	0,40	-0,30	-0,28	-0,29	-0,56	-0,27	-0,75	-0,38	-0,17	-0,37	1,00																						
Cr	0,72	0,76	0,31	-0,09	0,86	0,84	0,26	0,11	0,21	0,19	0,61	0,40	0,00	-0,29	1,00																					
Cu	0,43	0,27	0,65	-0,12	0,52	0,50	0,48	0,24	0,43	0,59	0,29	0,21	-0,18	0,49	1,00																					
Li	-0,60	-0,50	-0,02	-0,22	-0,72	-0,72	0,43	0,47	-0,15	0,29	-0,79	0,29	-0,15	0,08	-0,63	-0,32	1,00																			
Mn	-0,37	-0,47	0,37	0,40	-0,30	-0,28	-0,28	-0,55	-0,25	-0,75	-0,38	-0,17	-0,36	1,00	-0,29	-0,17	0,08	1,00																		
Mo	-0,02	0,01	-0,18	-0,73	-0,25	-0,22	0,56	0,62	-0,10	0,40	-0,59	0,31	0,14	-0,02	-0,38	-0,13	0,78	-0,02	1,00																	
P	0,33	0,35	0,04	-0,28	0,36	0,29	0,25	0,57	0,08	0,62	0,62	0,26	0,29	-0,74	0,24	0,58	-0,14	-0,74	0,00	1,00																
Pb	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00															
Rb	-0,57	-0,54	0,08	0,01	-0,63	-0,64	0,44	0,52	0,30	0,48	-0,47	0,15	0,11	-0,17	-0,53	-0,02	0,74	-0,17	0,39	0,06	0,00	1,00														
Sc	0,09	0,34	0,46	0,34	0,43	0,32	-0,13	-0,10	-0,01	-0,22	0,54	0,69	-0,49	-0,02	0,50	0,19	-0,25	-0,03	-0,30	0,29	0,00	-0,31	1,00													
Si	0,20	0,40	-0,04	0,27	0,41	0,35	-0,29	-0,06	0,17	0,12	0,77	0,23	-0,10	-0,66	0,43	0,16	-0,48	-0,66	-0,56	0,61	0,00	-0,18	0,57	1,00												
Sn	0,03	-0,15	-0,63	-0,48	-0,32	-0,22	0,08	0,18	0,22	0,30	-0,39	-0,62	0,67	-0,20	-0,53	-0,23	0,24	-0,20	0,36	-0,09	0,00	0,34	-0,91	-0,36	1,00											
Sr	0,82	0,89	-0,09	-0,23	0,91	0,90	0,13	-0,02	0,27	0,07	0,84	0,21	0,19	-0,49	0,72	0,34	-0,73	-0,49	-0,33	0,46	0,00	-0,60	0,45	0,68	-0,24	1,00										
U	0,78	0,72	-0,26	-0,90	0,57	0,60	0,67	0,70	0,30	0,71	0,11	0,18	0,63	-0,55	0,43	0,33	-0,04	-0,54	0,46	0,40	0,00	-0,07	-0,20	-0,05	0,31	0,43	1,00									
V	0,13	0,13	0,00	-0,61	-0,02	-0,04	0,84	0,97	0,20	0,96	-0,14	0,39	0,37	-0,65	0,03	0,36	0,51	-0,65	0,58	0,58	0,00	0,58	-0,18	0,01	0,26	-0,08	0,63	1,00								
W	-0,49	-0,41	-0,17	-0,34	-0,65	-0,65	0,49	0,60	-0,07	0,48	-0,70	0,23	0,00	-0,17	-0,60	-0,27	0,96	-0,17	0,78	0,02	0,00	-0,38	-0,20	0,33	0,48	0,56	0,25	-0,19	1,00							
Y	0,44	0,46	-0,74	-0,34	0,29	0,34	-0,47	-0,24	0,15	-0,10	0,29	-0,40	0,43	-0,39	-0,07	-0,32	0,37	-0,39	-0,05	0,15	0,00	-0,38	-0,20	0,33	0,48	0,56	0,25	-0,19	-0,24	1,00						
Zn	0,16	0,12	0,27	-0,34	0,16	0,09	0,41	0,61	-0,10	0,49	0,28	0,32	0,23	-0,28	0,06	0,59	0,14	-0,28	0,28	0,79	0,00	0,06	0,25	0,10	-0,17	0,08	0,33	0,56	0,15	-0,18	1,00					
CE	0,83	0,64	-0,42	-0,73	0,57	0,65	0,20	0,24	0,20	0,37	0,27	-0,32	0,70	-0,41	0,32	0,26	-0,41	-0,41	0,13	0,27	0,00	-0,39	-0,44	-0,02	0,54	0,54	0,78	0,22	-0,26	0,61	0,11	1,00				
T	0,27	0,21	0,78	0,02	0,78	0,41	0,40	0,37	0,33	0,26	0,53	0,52	-0,03	-0,07	0,39	0,88	-0,16	-0,06	-0,07	0,42	0,00	0,12	0,34	0,20	-0,34	0,31	0,13	0,26	-0,16	-0,34	0,39	0,01	1,00			
pH	0,28	0,37	0,52	0,32	0,54	0,46	0,17	0,00	0,23	0,04	0,48	0,45	-0,17	-0,09	0,81	0,39	-0,47	-0,09	-0,53	0,17	0,00	-0,29	0,70	0,43	-0,77	0,38	0,03	0,06	-0,51	-0,41	0,12	-0,19	0,32	1,00		
EH	-0,21	-0,09	-0,56	-0,18	-0,39	-0,32	-0,23	-0,27	-0,32	-0,26	-0,66	-0,17	-0,21	0,15	-0,36	-0,85	0,38	0,14	0,37	-0,59	0,00	-0,08	-0,34	-0,33	0,33	-0,27	-0,09	-0,19	0,32	0,33	-0,54	0,01	-0,73	-0,50	1,00	

Anexo 4.10: Matriz de correlación de las muestras de aguas subterránea y tranque de la viña de San Antonio.

	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	N	As	B	Ba	Br	Ce	Co	Cr	Cu	Fe	La	Li	Mn	Mo	Nd	Ni	P	Rb	Se	Si	Sn	Sr	U	V	Y	Zn	CE	T	pH	EH
HCO ₃ ⁻	1.00																																					
SO ₄ ²⁻	0.86	1.00																																				
Cl ⁻	0.78	0.94	1.00																																			
NO ₃ ⁻	0.83	0.54	0.42	1.00																																		
Ca ²⁺	0.89	0.96	0.97	0.57	1.00																																	
Mg ²⁺	0.93	0.94	0.90	0.71	0.93	1.00																																
Na ⁺	0.95	0.93	0.92	0.73	0.98	0.97	1.00																															
K ⁺	0.44	0.09	0.20	0.57	0.32	0.21	0.40	1.00																														
Al	-0.75	-0.66	-0.55	-0.39	-0.64	-0.70	-0.64	0.00	1.00																													
As	-0.47	-0.07	0.15	-0.55	-0.05	-0.18	-0.17	-0.32	0.54	1.00																												
B	-0.04	0.03	0.14	-0.51	0.13	-0.12	-0.04	0.02	-0.35	-0.01	1.00																											
Ba	0.54	0.59	0.80	0.11	0.75	0.62	0.67	0.32	-0.52	0.18	0.51	1.00																										
Br	0.83	0.82	0.90	0.61	0.90	0.93	0.93	0.34	-0.59	0.00	-0.05	0.80	1.00																									
Ce	-0.82	-0.69	-0.58	-0.47	-0.69	-0.70	-0.70	-0.17	0.98	0.59	-0.38	-0.53	-0.59	1.00																								
Co	-0.68	-0.24	-0.09	-0.78	-0.29	-0.42	-0.44	-0.52	0.61	0.90	0.11	-0.06	-0.33	0.68	1.00																							
Cr	0.26	0.20	0.31	0.15	0.27	0.42	0.31	-0.08	-0.44	0.12	-0.07	0.50	0.60	-0.33	0.31	-0.08	-0.88	1.00																				
Cu	-0.02	-0.09	-0.24	0.28	-0.15	-0.19	-0.10	0.29	0.43	-0.27	-0.33	-0.55	-0.38	0.31	-0.08	-0.88	1.00																					
Fe	-0.81	-0.66	-0.56	-0.46	-0.68	-0.69	-0.69	-0.19	0.97	0.60	-0.40	-0.54	-0.59	1.00																								
La	-0.81	-0.70	-0.60	-0.44	-0.71	-0.70	-0.70	-0.16	0.97	0.55	-0.41	-0.55	-0.60	1.00																								
Li	0.82	0.51	0.31	0.95	0.49	0.65	0.65	0.44	-0.56	-0.75	-0.38	0.02	0.49	-0.63	-0.90	0.13	0.23	-0.62	-0.60	1.00																		
Mn	0.01	0.46	0.55	-0.47	0.39	0.27	0.21	-0.56	-0.25	0.60	0.45	0.50	0.28	-0.17	0.60	0.21	-0.50	-0.16	-0.21	-0.48	1.00																	
Mo	0.70	0.46	0.43	0.75	0.58	0.47	0.64	0.84	-0.20	-0.44	-0.05	0.24	0.42	-0.39	-0.58	-0.29	0.52	-0.39	-0.38	0.67	-0.40	1.00																
Nd	-0.78	-0.68	-0.56	-0.41	-0.67	-0.67	-0.66	-0.11	0.98	0.58	-0.43	-0.52	-0.55	0.99	0.63	-0.28	0.50	0.99	0.99	0.58	-0.22	-0.35	1.00															
Ni	-0.71	-0.29	-0.12	-0.86	-0.32	-0.46	-0.48	-0.55	0.54	0.89	0.23	0.00	-0.34	0.63	0.98	-0.09	-0.22	0.62	0.59	0.95	0.64	-0.66	0.57	1.00														
P	0.77	0.98	0.93	0.45	0.94	0.87	0.88	0.06	-0.54	0.08	0.05	0.56	0.75	-0.59	-0.10	0.13	-0.06	-0.56	-0.61	0.39	0.54	0.44	-0.58	-0.15	1.00													
Rb	0.44	0.31	0.31	0.27	0.44	0.18	0.40	0.65	-0.28	-0.31	0.48	0.30	0.16	-0.46	-0.37	-0.35	0.27	-0.46	-0.48	0.30	-0.09	0.77	-0.45	-0.37	0.36	1.00												
Se	0.93	0.71	0.61	0.92	0.72	0.88	0.85	0.38	-0.67	-0.51	-0.33	0.36	0.79	-0.69	-0.76	0.41	-0.05	-0.68	-0.67	0.90	-0.19	0.57	-0.64	-0.79	0.59	0.16	1.00											
Si	0.93	0.86	0.69	0.77	0.80	0.90	0.86	0.14	-0.81	-0.48	-0.14	0.35	0.72	-0.83	-0.64	0.29	-0.06	-0.81	-0.82	0.83	0.09	0.49	-0.81	-0.68	0.78	0.27	0.91	1.00										
Sn	0.50	0.42	0.21	0.52	0.34	0.32	0.29	-0.22	-0.58	-0.06	-0.13	0.05	-0.33	-0.42	-0.66	0.77	-0.31	-0.30	0.56	-0.25	0.68	-0.35	-0.52	0.36	0.44	0.39	0.47	1.00										
Sr	0.87	0.91	0.97	0.60	0.98	0.84	0.94	0.37	0.38	-0.56	0.00	0.03	0.79	0.96	-0.60	-0.28	0.36	-0.18	-0.59	-0.61	0.48	0.33	0.56	-0.57	-0.31	0.87	0.33	0.75	0.74	0.26	1.00							
U	0.79	0.51	0.53	0.89	0.64	0.66	0.76	0.83	-0.27	-0.37	-0.27	0.40	0.69	-0.39	-0.64	0.12	0.24	-0.39	-0.38	0.74	-0.41	0.87	-0.32	-0.71	0.43	0.45	0.79	0.58	0.44	0.44	0.72	1.00						
V	0.51	0.25	0.04	0.88	0.19	0.40	0.38	0.34	-0.11	-0.54	-0.77	-0.35	0.23	-0.17	-0.66	-0.02	0.46	-0.15	-0.13	0.86	-0.64	0.53	-0.11	-0.76	0.18	0.03	0.71	0.56	0.48	0.22	0.63	1.00						
Y	-0.80	-0.71	-0.62	-0.42	-0.72	-0.72	-0.71	-0.12	0.99	0.50	-0.41	-0.58	-0.63	0.99	0.61	-0.38	0.39	0.99	1.00	-0.57	-0.27	-0.33	0.99	0.54	-0.63	-0.44	-0.66	-0.82	-0.25	-0.63	-0.35	-0.10	1.00					
Zn	-0.61	-0.58	-0.40	-0.28	-0.53	-0.48	-0.50	0.03	0.85	0.52	-0.41	-0.69	0.30	0.90	0.53	-0.12	0.20	0.88	0.91	0.50	-0.28	0.91	0.48	-0.55	-0.54	-0.45	-0.73	-0.32	-0.36	-0.12	-0.11	0.90	1.00					
CE	0.91	0.94	0.94	0.66	0.87	0.99	0.98	0.27	-0.09	-0.04	-0.66	0.35	0.90	0.99	0.70	-0.38	0.43	-0.24	-0.69	-0.71	0.59	0.32	0.51	-0.67	-0.41	0.90	0.31	0.83	0.87	0.24	0.96	0.67	0.32	-0.73	-0.52	1.00		
T	-0.62	-0.39	-0.19	-0.80	-0.34	-0.44	-0.46	-0.45	0.22	0.67	0.37	0.16	-0.21	0.32	0.64	0.41	-0.71	0.30	0.27	-0.79	0.52	-0.75	0.30	0.75	-0.30	-0.30	-0.64	-0.57	-0.90	-0.34	-0.68	-0.78	0.23	0.21	-0.33	1.00		
pH	-0.85	-0.72	-0.59	-0.53	-0.71	-0.75	-0.73	-0.14	0.98	0.60	-0.29	-0.49	-0.62	0.99	0.70	-0.34	0.28	0.99	0.99	-0.68	-0.15	-0.38	0.99	0.65	-0.61	-0.40	-0.75	-0.88	-0.35	-0.82	-0.41	-0.24	0.99	0.88	-0.73	0.37	1.00	
EH	0.34	0.47	0.42	-0.17	0.44	0.33	0.32	-0.29	-0.78	-0.14	0.69	0.47	0.27	-0.75	-0.12	0.29	-0.55	-0.75	-0.78	0.04	0.62	-0.11	-0.79	-0.02	0.47	0.34	0.12	0.44	-0.05	0.29	-0.22	-0.39	-0.80	-0.85	0.40	0.27	-0.72	1.00

Anexo 4.13: Cálculo del Índice de Saturación mineral con GWB para la viña de Casablanca, en azul minerales en equilibrio, rojo sobresaturados y negro subsaturado.

Sample ID	Invierno 2015		Verano 2016							
	GW-V8	GW-V12	GW-V2	GW-V8	GW-V12	GW-V14	GW-V44	DW-V1	IW-V1	IW-V2
Albite	0,12	0,12	-0,87	0,03	0,10	0,22	0,13	-0,13	-0,72	0,58
Albite high	-1,24	-1,25	-2,22	-1,32	-1,27	-1,13	-1,22	-1,45	-2,07	-0,76
Anorthite	-6,21	-6,25	-7,77	-6,45	-6,24	-5,84	-6,28	-6,15	-7,61	-4,90
K-feldspar	1,78	1,77	0,65	1,70	1,76	1,83	1,72	1,47	0,86	2,16
Calcite	-0,48	0,17	0,54	0,76	1,36	0,78	0,74	1,24	1,35	1,41
Dolomite	-0,20	1,09	1,82	2,25	3,44	2,30	2,21	3,24	3,45	3,59
Beidellit-Ca	3,10	2,30	-0,75	0,39	-0,10	1,55	0,66	-0,16	-1,88	1,07
Beidellit-H	2,21	1,27	-1,95	-0,90	-1,53	0,34	-0,63	-1,54	-3,30	-0,37
Beidellit-K	2,50	1,66	-1,42	-0,21	-0,73	0,87	0,00	-0,81	-2,53	0,42
Beidellit-Mg	3,08	2,29	-0,76	0,37	-0,12	1,54	0,65	-0,17	-1,89	1,07
Beidellit-Na	2,63	1,80	-1,25	-0,08	-0,60	1,02	0,15	-0,67	-2,38	0,57
Saponite-Ca	-0,74	2,09	4,68	6,55	9,11	5,53	6,91	8,39	8,82	9,68
Saponite-H	-1,62	1,06	3,48	5,27	7,69	4,33	5,62	7,02	7,41	8,24
Saponite-K	-1,33	1,45	4,00	5,96	8,48	4,86	6,25	7,74	8,17	9,03
Saponite-Mg	-0,75	2,08	4,67	6,54	9,09	5,52	6,90	8,38	8,81	9,67
Saponite-Na	-1,20	1,59	4,18	6,09	8,61	5,00	6,40	7,88	8,32	9,18
Muscovite	3,34	2,35	-1,20	0,53	0,00	1,57	0,55	-0,09	-2,28	1,59
Paragonite	0,76	-0,21	-3,63	-2,04	-2,57	-0,95	-1,95	-2,58	-4,77	-0,90
Kaolinite	2,59	1,73	-0,93	-0,10	-0,64	0,90	0,05	-0,62	-2,14	0,39
Illite	2,54	2,02	-0,64	0,81	0,58	1,63	0,96	0,41	-1,21	1,77
Halite	-8,15	-8,26	-8,08	-8,02	-8,20	-8,20	-8,19	-7,99	-8,05	-8,06
Anhydrite	-3,77	-3,32	-4,01	-3,58	-3,17	-2,96	-3,96	-3,17	-3,14	-3,13
Gypsum	-3,54	-3,07	-3,79	-3,35	-2,93	-2,74	-3,73	-2,98	-2,92	-2,93
Amrph^silica	-0,34	-0,30	-0,39	-0,33	-0,32	-0,27	-0,25	-0,35	-0,35	-0,36
Quartz	0,99	1,05	0,94	1,00	1,03	1,05	1,08	0,94	0,97	0,96
Clinochl-14A	-7,21	-3,65	-1,02	2,26	5,77	1,20	2,60	5,12	4,49	7,81
Clinochl-7A	-10,62	-7,08	-4,44	-1,16	2,34	-2,21	-0,82	1,74	1,09	4,41
Clinoptil-Ca	6,08	6,53	4,08	5,95	6,39	6,90	6,74	5,63	4,51	7,06
Clinoptil-K	6,57	6,76	4,10	6,46	6,65	6,90	6,82	5,77	4,66	7,21
Clinoptil-Mg	1,54	1,94	-0,46	1,39	1,77	2,36	2,17	1,19	0,01	2,57
Clinoptil-Na	2,22	2,45	0,04	2,12	2,32	2,66	2,62	1,55	0,48	3,02
Heulandite	3,10	3,39	1,27	2,94	3,31	3,75	3,49	2,80	1,59	4,19
Laumontite	0,85	0,98	-0,82	0,64	0,95	1,31	0,96	0,67	-0,62	2,03
Mordenite-K	3,28	3,38	2,05	3,23	3,33	3,45	3,41	2,88	2,33	3,60
Mordenite-Na	1,11	1,22	0,02	1,06	1,16	1,33	1,31	0,77	0,24	1,51
Gibbsite	0,08	-0,40	-1,63	-1,28	-1,57	-0,83	-1,29	-1,50	-2,27	-0,99
Hydroxyapatite	5,65	8,09	8,74	11,07	12,68	10,60	11,15	12,89	12,33	12,61
Whitlockite	2,25	3,57	3,66	5,05	5,83	4,89	5,10	6,09	5,63	5,77
Sepiolite	-5,46	-1,60	2,01	4,33	7,73	2,91	4,89	6,61	7,56	8,08
Talc	-0,94	1,91	4,69	6,40	8,92	5,31	6,77	8,17	8,85	9,25
Lawsonite	-1,66	-1,64	-3,22	-1,90	-1,63	-1,33	-1,73	-1,75	-3,10	-0,42
Zoisite	-7,05	-6,62	-8,40	-6,18	-5,41	-5,50	-5,90	-5,50	-7,53	-3,41

Anexo 4.14: Cálculo del Índice de Saturación mineral con GWB para la viña de San Antonio, en azul minerales en equilibrio, rojo sobresaturados y negro subsaturado.

Sample ID	Invierno 2015		Verano 2016				
	GW-C2	GW-C8	GW-C2	GW-C8	GW-C10	GW-C26	DW-CT
Albite	1,62	1,18	0,93	0,68	0,02	-0,90	-6,59
Anorthite	-4,74	-5,63	-5,82	-6,00	-6,62	-6,68	-9,64
K-feldspar	3,25	2,56	2,41	1,96	0,81	0,82	-4,82
Calcite	0,55	0,14	0,46	0,19	0,44	0,38	1,56
Dolomite	1,85	1,12	1,81	1,27	1,70	1,47	3,92
Beidellit-Ca	4,21	3,82	2,83	2,71	1,11	0,35	-9,68
Beidellit-H	3,16	2,86	1,80	1,72	0,04	-0,76	-11,43
Beidellit-K	3,78	3,28	2,35	2,14	0,38	-0,14	-10,18
Beidellit-Mg	4,19	3,81	2,83	2,72	1,11	0,34	-9,68
Beidellit-Na	3,94	3,52	2,55	2,40	0,79	-0,03	-10,08
Nontronit-Ca	15,87	15,73	15,15	15,16	14,36	13,25	7,89
Nontronit-K	15,46	15,20	14,68	14,60	13,63	12,76	7,40
Nontronit-Mg	15,86	15,73	15,16	15,18	14,36	13,24	7,89
Nontronit-Na	15,61	15,44	14,88	14,85	14,04	12,87	7,49
Saponite-Ca	2,38	1,01	2,26	1,62	2,45	1,68	5,97
Saponite-H	1,33	0,05	1,24	0,64	1,39	0,57	4,23
Saponite-K	1,95	0,47	1,79	1,05	1,72	1,19	5,48
Saponite-Mg	2,36	1,01	2,27	1,63	2,46	1,66	5,97
Saponite-Na	2,11	0,71	1,99	1,31	2,13	1,29	5,57
Smectite-high-Fe-Mg	1,59	0,80	0,99	0,23	-0,85	-1,28	-4,31
Smectite-low-Fe-Mg	2,95	2,26	2,23	1,66	0,63	-0,01	-4,72
Smectite-Reykjanes	6,36	5,21	5,71	4,95	4,65	4,25	5,19
Tremolite	-2,82	-5,92	-2,85	-4,21	-1,81	-3,49	7,07
Annite	-6,30	-6,85	-6,07	-8,88	-13,03	-11,79	-14,33
Chamosite-7A	-6,37	-6,62	-6,71	-8,32	-11,44	-10,53	-13,16
Kaolinite	3,39	3,11	2,25	2,17	0,86	0,60	-6,16
Illite	4,30	3,53	2,85	2,49	0,82	0,62	-7,53
Halite	-6,22	-6,64	-6,25	-6,70	-6,28	-7,18	-7,62
Gypsum	-2,06	-2,27	-2,17	-2,35	-2,18	-2,84	-3,34
Quartz	1,05	1,09	1,00	0,99	0,84	0,48	-1,60
Gibbsite	0,43	0,26	-0,10	-0,13	-0,65	-0,42	-1,72
Goethite	4,67	4,60	4,50	4,56	4,49	4,52	5,55
Hydroxyapatite	8,69	6,80	7,95	7,23	7,41	7,68	12,76
Whitlockite	3,94	2,85	3,49	3,09	3,06	3,15	5,25
Sepiolite	-1,53	-3,11	-1,53	-2,37	-1,36	-2,93	0,24
Talc	1,93	0,72	1,98	1,38	2,24	1,23	4,64
Zoisite	-4,28	-5,85	-5,99	-6,40	-7,14	-7,08	-9,59
Hematite	10,26	10,12	9,93	10,06	9,92	10,00	12,05
Magnetite	6,65	6,55	6,70	6,05	4,93	5,41	8,49
Ripidolit-7A	-8,96	-10,49	-9,13	-11,31	-13,24	-12,64	-7,71

Continuación tabla...

Sample ID	Invierno 2015		Verano 2016				
	GW-C2	GW-C8	GW-C2	GW-C8	GW-C10	GW-C26	DW-CT
Andradite/granate	4,24	2,56	3,64	3,19	4,28	4,02	11,32
Ferrite-Ca	0,34	-0,39	0,06	0,05	0,58	0,87	6,73
Ferrite-Cu	6,79	6,43	6,10	6,23	6,13	6,63	11,04
Ferrite-Mg	0,59	-0,05	0,45	0,45	0,93	1,11	7,04
Ferrite-Zn	6,97	6,53	7,14	6,23	6,98	7,79	14,61
NiFe2O4	6,52	6,00	6,20	6,29	7,74	7,94	13,88
Rhodochrosite	-3,16	-1,77	-2,90	-2,74	2,80	-0,75	0,37
Se(black)	15,67	15,66	14,71	16,28	17,64	16,50	14,00
SnSe	3,30	3,67	2,64	2,27	1,66	1,27	-1,96
SnSO4	5,71	6,20	4,94	4,70	4,25	3,32	-1,74
Tenonite	-0,80	-1,02	-1,21	-1,21	-1,22	-0,79	1,58
ZnSe	2,69	2,64	3,17	1,97	2,24	2,63	4,91

Anexo 4.15: Cálculo del Índice de Saturación mineral con GWB para la viña de Santa Cruz, en azul minerales en equilibrio, rojo sobresaturados y negro subsaturado.

Sample ID	Invierno 2015			Verano 2016						
	SW-L1	GW-L1	GW-L4	GW-L2	GW-L7	GW-L9	GW-L11	GW-L21	IW-LI	DW-L1
Albite	1,06	1,81	2,38	0,38	0,63	-0,94	-0,90	0,61	0,45	0,48
Albite high	-0,35	0,41	0,98	-1,00	-0,76	-2,31	-2,25	-0,75	-0,90	-0,85
Albite low	1,06	1,81	2,38	0,38	0,63	-0,94	-0,90	0,61	0,45	0,48
Anorthite	-4,60	-3,49	-2,86	-6,05	-6,56	-7,07	-6,91	-6,08	-5,47	-4,82
K-feldspar	2,28	3,95	3,92	2,49	2,56	1,13	0,92	1,42	2,53	2,48
Sanidine high	0,98	2,67	2,64	1,23	1,29	-0,12	-0,30	0,18	1,30	1,27
Aragonite	-0,36	-0,55	-0,96	0,20	-1,04	-0,71	-1,55	0,29	0,15	1,02
Calcite	-0,19	-0,38	-0,79	0,37	-0,87	-0,54	-1,38	0,46	0,32	1,18
Dolomite	0,24	-0,11	-1,00	1,39	-1,06	-0,64	-2,28	1,73	1,32	3,06
Magnesite	-1,28	-1,44	-1,91	-0,67	-1,88	-1,78	-2,55	-0,40	-0,66	0,24
Strontianite	-2,60	-2,43	-3,15	-2,02	-3,82	-3,88	-4,82	-1,65	-2,21	-1,30
Witherite	1,42	0,28	0,84	1,51	0,74	0,36	0,12	1,89	1,39	1,86
Beidellit-Ca	3,94	6,79	7,79	1,86	3,90	2,13	2,94	2,27	2,42	0,93
Beidellit-H	2,79	5,88	6,91	0,67	3,09	1,25	2,23	1,19	1,27	-0,54
Beidellit-K	3,17	6,29	7,14	1,35	3,39	1,53	2,34	1,48	1,89	0,38
Beidellit-Mg	3,90	6,75	7,74	1,83	3,87	2,07	2,89	2,27	2,40	0,91
Beidellit-Na	3,47	6,28	7,33	1,34	3,44	1,54	2,41	1,90	1,88	0,39
Nontronit-Ca	18,24	16,25	16,66	15,99	16,22	14,37	13,50	15,56	15,60	14,88
Nontronit-K	17,47	15,75	16,01	15,48	15,72	13,78	12,89	14,77	15,08	14,33
Nontronit-Mg	18,20	16,21	16,61	15,96	16,20	14,31	13,44	15,56	15,58	14,86
Nontronit-Na	17,76	15,73	16,20	15,47	15,77	13,78	12,96	15,19	15,06	14,34
Saponite-Ca	3,68	0,13	-0,34	4,83	-1,73	-2,52	-5,46	3,15	4,46	10,01
Saponite-H	2,53	-0,77	-1,21	3,64	-2,54	-3,40	-6,17	2,08	3,31	8,54

Continuación tabla...

Sample ID	Invierno 2015			Verano 2016						
	SW-L1	GW-L1	GW-L4	GW-L2	GW-L7	GW-L9	GW-L11	GW-L21	IW-LI	DW-L1
Saponite-K	2,91	-0,37	-0,98	4,32	-2,24	-3,12	-6,07	2,36	3,93	9,46
Saponite-Mg	3,64	0,10	-0,38	4,80	-1,76	-2,59	-5,52	3,15	4,44	9,99
Saponite-Na	3,21	-0,38	-0,79	4,31	-2,19	-3,12	-6,00	2,77	3,92	9,47
Smectite-high-Fe-Mg	2,11	1,88	2,20	0,84	-0,58	-1,85	-2,81	0,18	0,97	1,75
Smectite-low-Fe-Mg	3,21	3,45	3,82	2,20	1,31	-0,19	-0,91	1,66	2,31	2,85
Anthophyllite	-6,95	-15,43	-16,78	-3,27	-18,49	-20,04	-26,66	-7,06	-4,10	8,80
Pargasite	-19,19	-24,13	-24,06	-19,13	-31,02	-31,89	-35,91	-21,37	-18,72	-8,16
Tremolite	0,24	-8,35	-9,58	3,67	-11,55	-12,71	-19,58	-0,52	2,64	15,41
Annite	-6,14	-5,34	-4,96	-10,08	-9,11	-9,77	-10,87	-11,34	-9,71	-13,46
Margarite	-3,21	0,01	1,37	-6,90	-5,76	-6,52	-5,26	-6,23	-5,63	-6,16
Mordenite-Na	2,13	3,20	3,87	1,68	2,21	-0,21	-0,37	1,74	1,62	1,40
Muscovite	4,29	8,08	8,78	2,27	3,98	2,31	3,20	1,90	3,00	1,77
Paragonite	2,14	5,01	6,32	-0,76	1,13	-0,68	0,47	0,18	0,01	-1,13
Phengite	3,72	4,12	3,90	4,36	2,26	0,64	-0,56	2,74	4,25	6,01
Phlogopite	0,69	-1,89	-2,66	1,97	-4,94	-5,61	-8,41	-0,47	1,82	7,67
Prehnite	-0,93	-1,15	-0,66	-2,09	-4,76	-5,28	-6,24	-2,88	-1,77	0,62
Pyrophyllite	3,44	6,23	7,15	1,70	3,91	1,96	2,71	2,08	2,15	0,49
Kaolinite	3,14	5,58	6,41	1,13	3,06	1,95	2,85	1,66	1,68	0,24
Illite	3,61	6,33	6,96	2,13	3,23	1,50	1,93	1,82	2,61	1,86
Halite	-8,68	-8,52	-8,97	-8,63	-8,40	-8,23	-8,48	-7,12	-8,60	-8,64
Gypsum	-4,07	-2,48	-4,59	-2,59	-3,34	-1,80	-3,29	-2,11	-2,58	-2,61
Amrph^silica	-0,37	-0,19	-0,14	-0,21	-0,09	-0,50	-0,56	-0,28	-0,25	-0,36
Chalcedony	0,75	0,91	0,96	0,86	1,01	0,58	0,49	0,78	0,80	0,68
Cristobalite	0,45	0,62	0,66	0,57	0,71	0,29	0,20	0,49	0,51	0,39
Quartz	1,03	1,20	1,24	1,14	1,29	0,86	0,76	1,06	1,08	0,95
Tridymite	0,85	1,02	1,07	0,97	1,11	0,68	0,59	0,89	0,91	0,78
Analcime	-0,16	0,42	0,95	-0,95	-0,85	-1,98	-1,85	-0,63	-0,81	-0,65
Antigorite	0,34	-30,92	-36,00	10,68	-42,65	-43,95	-66,48	-1,78	7,84	52,80
Chrysotile	-0,92	-4,84	-5,48	0,37	-6,32	-6,42	-9,21	-1,17	0,03	5,68
Clinochl-14A	-0,19	-4,64	-5,00	-0,25	-9,82	-10,07	-13,55	-2,08	-0,07	8,24
Clinochl-7A	-3,69	-8,12	-8,48	-3,70	-13,29	-13,51	-16,95	-5,51	-3,48	4,85
Clinoptil-Ca	8,27	10,62	11,64	7,57	8,27	4,24	3,51	6,82	7,52	7,05
Clinoptil-K	7,68	11,68	11,82	8,58	9,29	4,73	3,95	6,12	8,42	7,83
Clinoptil-Mg	3,40	5,82	6,78	2,84	3,54	-0,68	-1,27	2,30	2,91	2,53
Clinoptil-Na	4,26	6,40	7,75	3,36	4,42	-0,42	-0,73	3,49	3,24	2,80
Heulandite	5,17	7,03	7,91	4,13	4,40	1,67	1,22	3,64	4,28	4,20
Laumontite	2,84	4,20	4,93	1,43	1,28	-0,18	-0,35	1,18	1,77	2,06
Mordenite-K	3,84	5,84	5,91	4,29	4,65	2,36	1,97	3,06	4,21	3,91
Gibbsite	0,34	1,39	1,76	-0,79	0,03	-0,10	0,43	-0,45	-0,47	-1,07
Hydroxyapatite	6,23	7,03	5,84	10,80	5,73	4,21	3,40	9,75	11,06	13,29

Continuación tabla...

Sample ID	Invierno 2015			Verano 2016						
	SW-L1	GW-L1	GW-L4	GW-L2	GW-L7	GW-L9	GW-L11	GW-L21	IW-LI	DW-L1
Whitlockite	2,07	3,10	2,37	5,06	2,45	1,30	1,10	4,59	5,31	6,17
Sepiolite	0,14	-4,58	-5,27	2,16	-6,25	-7,86	-11,97	-0,20	1,44	8,49
Epsomite	-6,82	-5,24	-7,40	-5,38	-6,07	-4,80	-6,29	-4,75	-5,37	-5,43
Leonhardtite	-8,06	-6,43	-8,60	-6,51	-7,24	-5,92	-7,33	-5,85	-6,43	-6,43
Talc	3,17	-0,44	-0,98	4,67	-1,73	-2,70	-5,70	2,95	4,19	9,57
Clinozoisite	-3,64	-2,75	-1,89	-5,79	-7,68	-8,27	-8,59	-6,19	-5,05	-3,18
Epidote	5,33	3,79	4,35	3,07	0,29	-0,36	-1,55	2,24	3,31	5,55
Epidote-ord	5,33	3,79	4,35	3,07	0,29	-0,36	-1,55	2,24	3,31	5,55
Lawsonite	0,28	1,30	1,94	-1,37	-1,81	-2,42	-2,41	-1,47	-0,92	-0,38
Zoisite	-3,69	-2,80	-1,94	-5,83	-7,73	-8,31	-8,63	-6,24	-5,10	-3,22
Hematite	12,59	9,91	10,05	10,31	10,11	9,83	9,33	10,20	10,12	9,78
Magnetite	9,34	6,39	6,67	5,71	5,80	5,79	5,01	5,54	5,64	4,08
Cronstedt-7A	7,77	4,66	5,13	2,80	3,35	3,14	1,93	2,47	2,74	-0,21
Goethite	5,84	4,50	4,57	4,69	4,59	4,45	4,19	4,63	4,59	4,41
Daphnite-14A	-9,81	-8,64	-7,09	-18,60	-15,03	-15,28	-15,96	-18,48	-17,57	-25,29
Daphnite-7A	-13,31	-12,12	-10,57	-22,05	-18,50	-18,73	-19,37	-21,92	-20,99	-28,68
Ripidolit-14A	-3,73	-5,94	-5,53	-7,29	-11,60	-11,85	-14,21	-8,34	-6,77	-4,87
Ripidolit-7A	-7,23	-9,41	-9,01	-10,73	-15,07	-15,30	-17,62	-11,77	-10,19	-8,26
CuFeO2(c)	11,60	9,72	9,53	9,55	8,24	9,33	8,46	9,54	10,76	9,83
Fe(OH)3(ppd)	1,29	-0,03	0,04	0,20	0,08	-0,03	-0,24	0,16	0,14	0,00
Ferrite-Ca	3,10	-0,93	-0,99	1,33	-1,30	-1,00	-2,28	0,65	1,14	2,86
Ferrite-Cu	9,60	5,49	5,28	6,99	5,07	5,77	4,95	7,04	8,11	8,26
Ferrite-Mg	3,21	-0,79	-0,91	1,48	-1,11	-1,05	-2,27	0,97	1,34	3,08
Ferrite-Zn	8,27	2,58	2,93	4,82	2,39	2,13	1,26	3,81	4,52	6,22
NiFe2O4	10,76	5,64	6,47	7,86	5,45	5,19	4,28	7,69	7,55	9,15
SnO2	1,36	1,82	1,58	1,73	1,73	1,94	1,47	2,19	1,70	1,59
Andradite	8,15	1,70	1,41	7,25	0,38	0,32	-3,17	5,03	6,57	11,74

Anexo 4.16: Cálculo del Índice de Saturación mineral con GWB para la viña de San Javier, en azul minerales en equilibrio, rojo sobresaturados y negro subsaturado.

Sample ID	Invierno 2015			Verano 2016						
	GW-M1	GW-M9	GW-M10	GW-M1	GW-M4	GW-M9	GW-M10	GW-M14	IW-M1	DW-M
Albite	0,92	2,65	0,41	1,33	0,60	1,24	0,01	0,02	-0,87	0,25
Albite high	-0,48	1,25	-0,99	-0,02	-0,76	-0,11	-1,35	-1,31	-2,22	-1,11
Albite low	0,92	2,65	0,41	1,33	0,60	1,24	0,01	0,02	-0,87	0,25
K-feldspar	3,05	5,17	1,97	3,36	1,98	3,47	1,38	1,95	1,20	2,37
Maximum Microcline	3,05	5,17	1,97	3,36	1,98	3,47	1,38	1,96	1,20	2,37
Petalite	0,24	4,51	2,69	1,57	1,76	0,90	1,63	0,02	-1,44	0,91
Sanidine high	1,77	3,89	0,68	2,13	0,74	2,24	0,14	0,75	-0,02	1,13
Aragonite	0,03	-1,07	-0,73	0,30	-0,69	-0,14	0,26	0,29	-0,53	-0,59
Calcite	0,20	-0,90	-0,56	0,47	-0,52	0,02	0,43	0,45	-0,36	-0,43
Dolomite	0,97	-1,07	-0,62	1,54	-0,31	0,85	1,44	1,69	-0,17	-0,35
Dolomite-dis	-0,67	-2,71	-2,26	-0,04	-1,89	-0,73	-0,16	0,14	-1,75	-1,95
Dolomite-ord	0,97	-1,07	-0,62	1,54	-0,31	0,85	1,44	1,69	-0,17	-0,35
Strontianite	0,66	-0,37	-0,35	0,84	-0,12	0,49	0,55	0,78	-0,15	-0,21
Witherite	1,71	0,83	0,51	1,74	0,83	1,76	1,30	1,68	0,67	0,72
Beidellit-Ca	4,12	8,21	4,75	4,27	4,25	3,33	2,09	2,19	1,85	4,56
Beidellit-H	3,19	7,48	3,98	3,19	3,41	2,30	1,01	1,14	0,78	3,52
Beidellit-K	3,74	8,01	4,03	3,84	3,50	3,02	1,31	1,68	1,25	3,97
Beidellit-Mg	4,08	8,18	4,69	4,23	4,24	3,33	2,05	2,19	1,81	4,51
Beidellit-Na	3,73	7,87	4,21	3,84	3,72	2,96	1,54	1,71	1,24	3,95
Saponite-Ca	-0,36	-2,47	-3,45	2,90	-0,78	3,06	2,60	2,37	1,06	0,68
Saponite-H	-1,29	-3,20	-4,22	1,83	-1,62	2,04	1,52	1,32	-0,01	-0,36
Saponite-K	-0,75	-2,67	-4,17	2,47	-1,53	2,75	1,82	1,86	0,46	0,10
Saponite-Mg	-0,41	-2,49	-3,51	2,87	-0,79	3,06	2,56	2,37	1,02	0,63
Saponite-Na	-0,76	-2,80	-3,98	2,48	-1,30	2,69	2,05	1,89	0,45	0,08
Anthophyllite	-15,81	-21,56	-22,93	-8,21	-16,26	-7,32	-8,27	-8,65	-11,93	-13,74
Pargasite	-26,73	-28,07	-32,95	-19,26	-28,00	-21,20	-22,50	-21,69	-23,60	-21,98
Tremolite	-8,61	-14,65	-15,54	-1,31	-9,60	-0,80	-1,28	-2,24	-4,97	-6,57
Annite	-5,66	-6,88	-9,54	-2,42	-7,33	-2,31	-3,91	-3,76	-0,97	2,04
Margarite	-3,98	1,22	-3,89	-2,62	-4,31	-5,32	-6,36	-5,39	-4,91	-0,68
Muscovite	5,22	10,34	4,65	5,60	3,96	4,31	1,76	2,96	2,70	6,11
Paragonite	2,16	6,89	2,17	2,66	1,67	1,17	-0,52	0,12	-0,28	3,07
Phengite	3,18	4,45	1,09	4,49	1,94	4,71	2,52	3,00	1,85	2,79
Phlogopite	-2,58	-3,65	-6,87	1,01	-4,30	0,81	-0,97	-0,04	-1,30	-1,01
Pyrophyllite	3,82	7,68	4,54	3,77	4,08	3,18	1,90	1,85	1,34	3,73
Chamosite-7A	-5,85	-4,87	-7,17	-3,79	-6,26	-4,99	-5,34	-5,12	-2,54	0,93
Kaolinite	3,40	6,83	4,02	3,37	3,40	2,38	1,51	1,78	1,78	4,11
Illite	3,96	7,88	3,57	4,41	3,28	3,61	1,64	2,25	1,76	4,36
Amrph^silica	-0,30	-0,09	-0,26	-0,29	-0,15	-0,09	-0,30	-0,44	-0,71	-0,68
Chalcedony	0,80	1,02	0,85	0,76	0,90	0,96	0,76	0,59	0,34	0,38
Cristobalite	0,51	0,72	0,56	0,48	0,62	0,68	0,47	0,31	0,05	0,09

Continuación tabla...

Sample ID	Invierno 2015			Verano 2016						
	GW-M1	GW-M9	GW-M10	GW-M1	GW-M4	GW-M9	GW-M10	GW-M14	IW-M1	DW-M
Quartz	1,08	1,30	1,14	1,04	1,18	1,24	1,04	0,86	0,61	0,66
Tridymite	0,91	1,12	0,96	0,87	1,01	1,07	0,87	0,69	0,44	0,49
Analcime	-0,36	1,16	-0,91	0,11	-0,77	-0,19	-1,21	-1,02	-1,67	-0,59
Clinoptil-Ca	7,69	11,62	7,73	8,44	8,17	8,78	6,59	5,40	3,45	5,88
Clinoptil-K	9,44	14,54	7,49	9,92	7,72	10,95	5,95	6,42	3,91	6,42
Clinoptil-Mg	2,82	6,90	2,77	3,76	3,59	4,27	1,85	0,98	-1,26	1,05
Clinoptil-Na	4,18	8,50	3,39	4,85	3,95	5,48	2,20	1,53	-1,26	1,15
Heulandite	4,44	7,72	4,31	5,32	4,62	5,05	3,47	2,82	1,61	3,90
Laumontite	1,93	4,57	1,65	2,92	1,80	2,04	1,08	0,93	0,49	2,65
Mordenite-K	4,72	7,27	3,74	4,96	3,86	5,48	2,98	3,21	1,95	3,21
Mordenite-Na	2,09	4,25	1,69	2,42	1,97	2,74	1,10	0,76	-0,63	0,57
Hydroxyapatite	7,18	5,31	4,57	9,91	5,38	9,60	9,49	9,51	7,95	7,73
Plumbogummite	-5,69	1,52	-3,45	-7,26	-6,25	-8,37	-10,22	-9,60	-8,95	-4,87
Whitlockite	3,16	2,32	1,74	4,70	2,15	4,58	4,40	4,49	3,40	3,31
Barite	-0,15	0,30	-0,38	-0,10	-0,97	-0,16	-0,65	-0,30	-1,26	-1,14
Talc	-0,67	-3,00	-3,66	2,40	-0,95	2,91	2,40	2,03	0,54	-0,15
Clinozoisite	-5,73	-3,03	-6,84	-3,43	-6,28	-5,53	-6,21	-5,84	-5,78	-2,85
Lawsonite	-0,74	1,47	-1,12	0,32	-1,09	-0,97	-1,52	-1,33	-1,27	0,81
Zoisite	-5,78	-3,08	-6,89	-3,47	-6,33	-5,57	-6,25	-5,88	-5,83	-2,89
Diaspore	-0,48	1,02	-0,23	-0,42	-0,55	-1,12	-1,35	-1,02	-0,78	0,32
Gibbsite	0,41	1,91	0,67	0,42	0,29	-0,28	-0,50	-0,21	0,05	1,17
Daphnite-14A	-9,98	-11,90	-13,97	-5,14	-10,84	-5,92	-6,19	-6,78	-1,14	4,28
Daphnite-7A	-13,46	-15,38	-17,46	-8,55	-14,26	-9,34	-9,62	-10,17	-4,55	0,85
Ripidolit-14A	-7,63	-9,41	-12,04	-2,43	-8,54	-3,53	-3,97	-3,79	-2,19	0,51
Ripidolit-7A	-11,10	-12,88	-15,52	-5,84	-11,96	-6,95	-7,40	-7,18	-5,60	-2,92
Tenorite	-1,63	-1,49	-1,91	-0,88	-1,28	-0,48	-1,20	0,50	-0,78	-0,79