



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL COMAHUE  
UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PATAGONIA SAN JUAN BOSCO  
UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PATAGONIA AUSTRAL**

**Programa de Postgrado Interinstitucional en Ciencias Hídricas  
(con mención ambiental)**

**Tesina de Posgrado  
Especialización en Contaminación de Aguas Subterráneas**

**GASTRE**

**CARACTERIZACION DE ELEMENTOS MAYORITARIOS  
EN AGUAS SUBTERRANEAS  
CUENCA DE GASTRE**

**Érico Hernán Bianchi**

**Director de Tesina: Dra. Adriana Pajares**

**Jurado: Dr. Federico Horne, Dr. Claudio Lexov, Dr. Gabriel Kales**

**Trelew, marzo de 2018**



# **CARACTERIZACION DE ELEMENTOS MAYORITARIOS EN AGUAS SUBTERRANEAS CUENCA DE GASTRE**

**Lic en Geología, Érico Hernán Bianchi**

*Director de Tesina:*  
Doctora, Adriana, Pajares

*Universidad por la que cursa la carrera:*  
UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PATAGONIA SAN JUNA BOSCO

*Unidad Académica por la que cursa la carrera:*  
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES

**Jurado: Dr. Federico Horne, Dr. Claudio Lexov, Dr. Gabriel Kales**

Trelew, marzo de 2018



*A la memoria de mis viejos y en especial a mi madre,  
que siempre me incentivo al estudio,  
a Cris, Jan e Inuk que los amo con todo mi corazón*



## AGRADECIMIENTOS

En especial a las Universidades que componen la Especialización, las cuales me otorgaron el privilegio de poder ser parte del posgrado.

A mi directora de Tesina, Dra. Adriana Pajares, por haber aceptado dirigirme, estar siempre que la he necesitado, corregir pacientemente y transmitir conocimiento en cada charla e intercambio de ideas.

Al Dr. Emilio Custodio, que siempre que lo contacto me responden y orienta dentro de sus posibilidades.

A todos los docentes que dictaron los cursos de la Especialización por su buena predisposición, el material aportado y las charlas durante y pos-cursada.

A las instituciones públicas y a las personas que las integran, quienes concedieron el uso de la información que contiene la Tesina. Gracias Consejo Federal de Inversiones.

Al jurado, por las observaciones realizadas que permiten obtener un documento de mayor jerarquía.

A Cris, que bajo toda circunstancia siempre está presente de forma incondicional en mis decisiones, por más que no fuera de su agrado.

A mis hijos, que siendo muy jóvenes mantuvieron un apoyo moral permanente.

A los colegas y amigos idóneos que propusieron e intercambiaron ideas y unos buenos mates.

A mis compañeros de curso por los momentos que compartimos durante y después de clase y en especial a Christian Hofmann por la bonita amistad que hemos forjado.

Y porque no, gracias a Internet, que nos permite la posibilidad a través de las bibliotecas virtuales acceder a todo tipo de documentos, inalcanzables para muchos estudiantes que viven en lugares remotos.



---

**PROGRAMA DE POSTGRADO INTERINSTITUCIONAL EN CIENCIAS HÍDRICAS (CON MENCIÓN AMBIENTAL)**



## TABLA DE CONTENIDO

1	RESUMEN.....	7
2	ABSTRACT .....	7
3	ACREDITACIÓN .....	8
4	INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS .....	8
5	UBICACIÓN Y CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA CUENCA DE GASTRE ....	9
6	CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA Y GEMORFOLÓGICA .....	10
7	MATERIALES Y MÉTODOS.....	11
8	RESULTADOS.....	14
8.1	LITOLOGÍAS TIPO EN AMBIENTES GEOMORFOLÓGICOS.....	14
8.2	INTERPRETACIÓN HIDRODINÁMICA Y FÍSICO-QUÍMICA DE CUENCA .....	14
8.3	ANÁLISIS HIDROQUÍMICO POR SUBCUENCA.....	20
8.3.1	<i>Subcuenca Mamil Choique</i> .....	20
8.3.2	<i>Subcuenca El Molle</i> .....	21
8.3.3	<i>Subcuenca Taquetrén</i> .....	22
8.3.4	<i>Subcuenca Blancuntre</i> .....	24
8.4	PROCESOS FÍSICO-QUÍMICOS SOBRE UN FLUJO TIPO .....	29
8.4.1	<i>Subcuenca Mamil Choique</i> .....	29
8.4.2	<i>Subcuenca El Molle</i> .....	30
8.4.3	<i>Subcuenca Taquetrén</i> .....	30
8.4.4	<i>Subcuenca Blancuntre</i> .....	31
8.5	CARACTERIZACIÓN HIDROQUÍMICA .....	31
8.5.1	<i>Mapa de Flujo Hidroquímico</i> .....	31
8.5.2	<i>Mapa de Evolución Química</i> .....	31
8.5.3	<i>Distribución de Facies</i> .....	32
9	CONCLUSIONES.....	35
10	FUENTES CONSULTADAS .....	36

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Resultados analíticos de las muestras filtradas por error porcentual .....	13
Tabla 2. Balance de electroneutralidad expresado como error % .....	20
Tabla 3. Relaciones iónicas .....	25
Tabla 4. Relaciones iónicas por subcuenca. ....	29
Tabla 5. Distribución porcentual de facies .....	32

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Cuenca de Gastre (archivo vectorial de referencia, Consultora HCA, CFI, CHUBUT, 2013).....	10
Figura 2. Mapa de Isopiezas y Filete de Flujo Subterráneo .....	16
Figura 3. Mapa de isopH.....	17
Figura 4. Mapa de isoconductividad .....	18
Figura 5. Distribución de muestras y subdivisión de cuencas.....	19
Figura 6. Diagrama de Piper subcuenca Mamil Choique.....	26
Figura 7. Diagrama de Piper subcuenca El Molle.....	26
Figura 8. Diagrama de Piper subcuenca Taquetrén.....	27
Figura 9. Diagrama de Piper subcuenca Blancuntre .....	27
Figura 10 a y b. Diagrama de Stiff, de Izq. a Der., subcuencas; Mamil Choique y El Molle .....	28
Figura 11 a y b. Diagramas Stiff, subcuencas de Izq. a Der.; Taquetrén y Blancuntre .....	28
Figura 12. Mapa de flujo hidroquímico .....	33
Figura 13. Mapa de evolución química de agua subterránea .....	34

## 1 RESUMEN

El trabajo caracteriza elementos mayoritarios presentes en las aguas subterráneas alojadas en el acuífero libre de la cuenca de Gastre, localizada en la porción centro norte de la provincia de Chubut y centro sur de la provincia de Río Negro.

El análisis hidroquímico muestra predominio de composición bicarbonatada, las facies bicarbonatadas cálcicas corresponden el mayor porcentaje de la cuenca, representan las áreas de recarga, se distribuye en zonas de cabecera, abanicos aluviales y planicies aluviales, facies bicarbonatadas sódicas denotan procesos de intercambio catiónico y ablandamiento del agua subterránea. Las facies sulfatadas cálcicas y sódicas muestran evolución hidroquímica a lo largo del flujo subterráneo, mineralización y procesos de disolución-precipitación. Facies cloruradas sódicas e hiperclorurada sódica pertenecen al final del ciclo evolutivo, reconocidas como zonas de descarga situadas en salinas y mallines salinos. Se propone como fuente de cationes la hidrólisis de silicatos calcosódicos y ferromagnesianos provenientes de rocas graníticas y basálticas. El origen de los aniones se asigna a disolución de sales evaporíticas sulfatadas y cloruradas, disolución-precipitación de sales carbonatadas, precipitación de sales y oxidación de sulfuros.

El flujo hidroquímico evidencia la existencia de varios niveles de base local actuando como subsistemas de evaporación y concentración salina. Se reconocen diseños de flujo subterráneo centrípeto y subparalelo, presentan mezclas de aguas de diversas fuentes, en ocasiones muestran dilución de aguas salinas o concentración de estas.

**Palabras clave:** hidroquímica, agua subterránea, acuífero libre, cuenca de Gastre.

## 2 ABSTRACT

The work characterizes majority elements present in the groundwater located in the free aquifer of the Gastre basin, located in the north center portion of the province of Chubut and the south center of the province of Río Negro.

The hydrochemical analysis shows predominance of bicarbonate composition, calcium bicarbonate facies correspond to the highest percentage of the basin, represent the recharge areas, it is distributed in bedside areas, alluvial fans and alluvial plain, sodium bicarbonate facies denote cation exchange processes and softening of groundwater. The calcium and sodium sulfated facies show hydrochemical evolution along the underground flow, mineralization and dissolution-precipitation processes. Sodium chlorinated and sodium hyperchlorinated facies belong to the end of the evolutionary cycle, recognized as discharge areas located in salt marshes and saline wetland meadow. The hydrolysis of calcosodic and ferromagnesian silicates from granite and basaltic rocks is proposed as a source of cations. The origin of the anions is assigned to dissolution of sulphated and chlorinated evaporitic salts, dissolution-precipitation of carbonated salts, precipitation of salts and oxidation of sulfides.



The hydrochemical flow evidences the existence of several levels of local base acting as subsystems of evaporation and saline concentration. Centripetal and subparallel underground flow designs are recognized, they present mixtures of waters from different sources, sometimes they show dilution of saline waters or concentration of these.

**Keywords:** hydrochemistry, groundwater, free aquifer, Gastre basin.

### 3 ACREDITACIÓN

Una fracción del presente trabajo ha sido presentada en el XXVI Congreso Nacional del Agua. Tomo: Aguas Subterráneas, pag., 15-24. Ed. Científica Universitaria. ISBN 978-987-4029-23-2

### 4 INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

El recurso hídrico subterráneo en gran parte del mundo, no suele ser estudiado. El desconocimiento de su calidad, cantidad, aprovechamiento, velocidad y dirección de circulación, entre otras variables, en ciertos contextos permite efectuar estudios con el fin de obtener datos destinados a reconocer sus atributos y posteriormente caracterizarlo.

En el año 2010, se inician los trabajos de prospección hidrogeológica en las cuencas hidrográficas de Gastre y Sacanana de la provincia del Chubut. Se realizó el relevamiento y posicionamiento espacial de manifestaciones de agua superficial y subterránea. Posteriormente, se efectuó exploración hidrogeológica incluyendo los siguientes trabajos: muestreo de agua subterránea, mediciones de niveles estáticos, ejecución de perforaciones, ensayos de bombeos.

El análisis espacial, involucra una cantidad significativa de perforaciones y pozos excavados distribuidos en una amplia superficie de la cuenca de Gastre. Se tienen en cuenta dos criterios: uno regional con el fin de interpretar parámetros fisicoquímicos, establecer flujo subterráneo, niveles de base, y otro, a nivel de subcuenca, analizando la distribución, procedencia y comportamiento de elementos mayoritarios.

El trabajo se focaliza en los depósitos cuaternarios que constituyen el medio de porosidad primaria del acuífero libre, no obstante, se analiza de forma superficial el sistema de porosidad secundaria (medio fisurado), componente de zona de recarga en los valles intramontanos que originan los mallines. El sistema primario está compuesto por materiales de relleno moderno que incluyen sedimentos de diversos orígenes y variada granulometría, permitiendo destacar una elevada permeabilidad y porosidad efectiva, albergando las mayores reservas de agua subterránea en la cuenca. Estas permeabilidades favorecen la recarga directa de agua meteórica, tanto por precipitación pluviométrica como derretimiento de nieve. El sistema secundario lo constituyen rocas en su mayoría ígneas, predominio de rocas plutónicas sobre volcánicas, con distintos grados de fisuración. Estas rocas, afloran en las zonas de divisoria de aguas constituyendo áreas de recarga, mientras que, en el subálveo de los cauces transitorios y mallines, se localizan a profundidades variables (Calvetty y Bianchi, 2016).

La interpretación hidrogeoquímica se considera primordial para el estudio del flujo de agua en el sistema acuífero, actúa como vehículo de transporte de iones solubles y de las características físico-químicas del medio. La observación y distribución espacial de esos atributos, sumado a la respuesta de sus variaciones, informa acerca del movimiento del agua subterránea. Para lograr alcanzar conclusiones congruentes se analizaron los perfiles litológicos de las perforaciones realizadas en el Plan Agua (Bianchi, E., CORFO 2012).

Las muestras de agua analizadas provienen de manantiales, perforaciones, pozos excavados someros y profundos, constituyen el acuífero libre de característica regional, alojado en el Sistema Hidrogeológico de Porosidad Primaria (SHPP) (HCA Consultora, CFI, CHUBUT, 2013). La potencia de la zona saturada varía según las condiciones estructurales del basamento rígido, morfología del hidroapoyo, espesor del paquete cuaternario y posición topográfica. Se reconocen espesores saturados desde 2 m en los mallines hasta 90 m en la zona de planicie aluvial, en ciertos sectores de la cuenca se registró 120 metros (HCA Consultora, CFI, CHUBUT, 2013). Al agua subterránea se la clasifica como agua dulce, de pH neutro a levemente alcalino, conductividades eléctricas (CE) que oscilan entre 150 y 1.600  $\mu\text{s}/\text{cm}$  (HCA Consultora, CFI, CHUBUT, 2013), muy baja salinidad, valores de potencial redox (Eh) positivos y negativos.

El objetivo del trabajo consiste en caracterizar el agua subterránea en función de la concentración y distribución de iones mayoritarios presentes en el acuífero libre de la cuenca de Gastre. Para ello, se identifican los procesos químicos intervinientes en las diferentes etapas evolutivas desde las zonas de recarga hasta la descarga subterránea.

## **5 UBICACIÓN Y CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA CUENCA DE GASTRE**

La cuenca de Gastre, Figura 1, denominada por la localidad homónima, epígrafe denominado por Dalla Salda y Franzese, 1987, conocida también como Fosa de Gastre (Coira et al., 1975) y, Bajo de Gastre (Proserpio, 1978), se localiza en el centro norte de la provincia del Chubut y centro sur de la provincia de Río Negro. Ocupa una superficie de 9.675 km<sup>2</sup>, (HCA Consultora, CFI, CHUBUT, 2013), constituye un bajo topográfico con marcada orientación de su eje mayor en dirección noroeste-sureste, aproximadamente 182 km de largo y 75 km en la porción más ancha. Es una cuenca intermontana del tipo bolsón (Calvetty y Bianchi, 2016), las mayores elevaciones promedian los 1.850 msnm predominando sobre el flanco norte, el resto perimetral de la cuenca se encuentra en un rango de 1.200 – 1.450 msnm. Los principales cordones montañosos los constituyen Calcatapul y Lonco Trapial al este-noreste, y Taquetrén el borde suroriental.

Presenta clima del tipo árido, de estepa fresco, cuya temperatura media anual es inferior a 15°C (Colombani y Arbuniés, 2008). Según mapa de isohietas (EEAE-INTA, 2010) las precipitaciones no superan los 200 mm/año, registra oscilaciones entre 120 – 266 mm/año en la última década. Los vientos son fuertes a moderados predominantes del oeste (Estación Meteorológica de Laguna Fría, SIPAS-INTA). Según Bilmes (2012), el clima es de tipo árido, de estepa patagónica, con temperatura media anual inferior a 18 °C, precipitación media anual de 150 mm, (CNEA, 1990b).

La red de drenaje natural identifica a la cuenca como endorreica. Posee un nivel de base regional en la laguna de Taquetrén a 840 msnm y cuatro niveles de base locales. Los sedimentos continentales neógenos de granulometrías, en general tamaño arena-grava fina, rellenan las principales partes de la cuenca, las zonas deprimidas y red de drenaje de carácter no permanente se encuentran tapizadas por sedimentos más finos, el material clástico constituye el medio físico del acuífero libre.

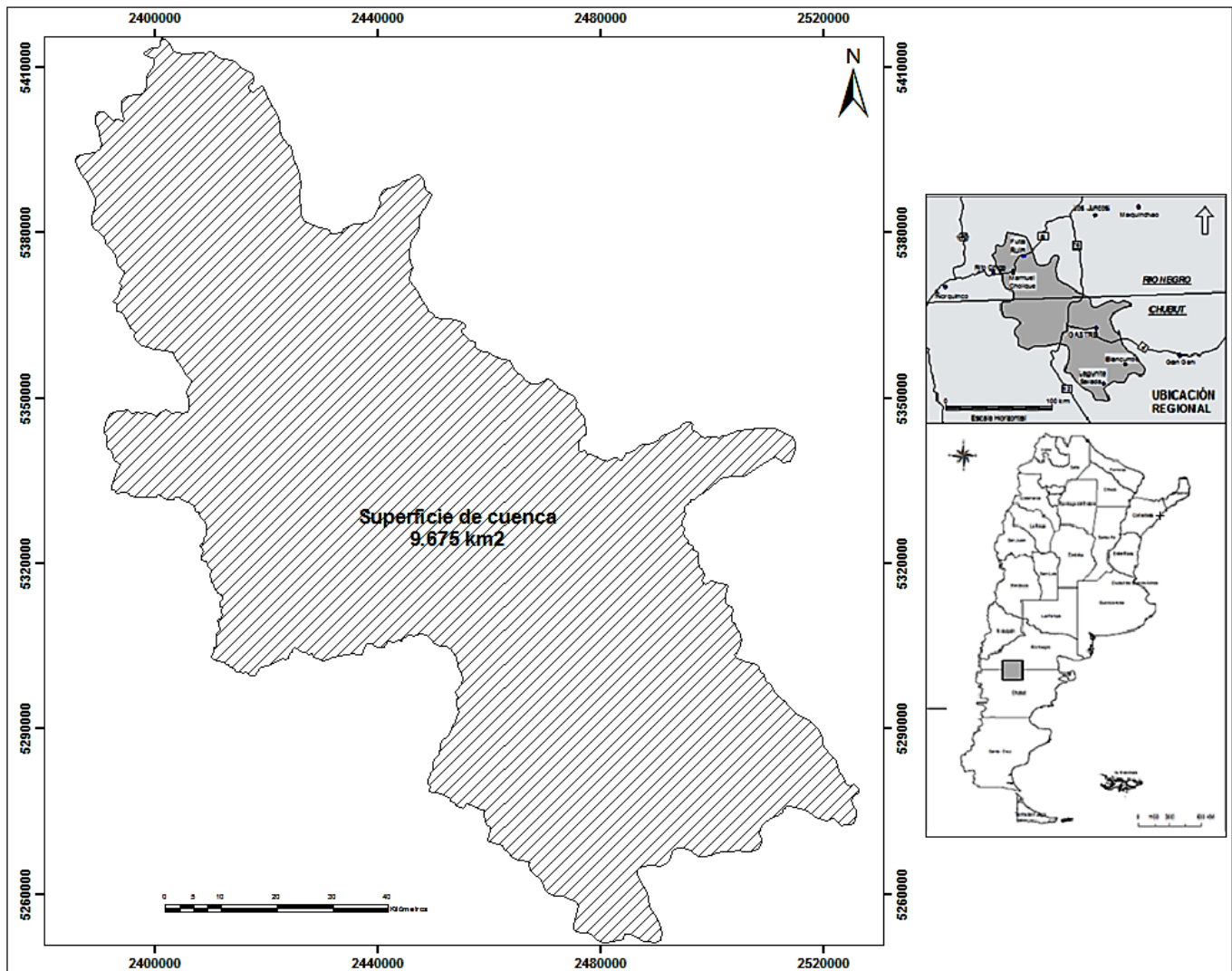


Figura 1. Cuenca de Gastre (archivo vectorial de referencia, Consultora HCA, CFI, CHUBUT, 2013)

## 6 CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA Y GEMORFOLÓGICA

La geología, reconoce una amplia variedad de rocas, las cuales comprenden desde el Precámbrico hasta relleno Cuaternario. Se presenta un exiguo afloramiento de rocas precámbricas al oeste-

noroeste de la cuenca, compuestos por rocas metamórficas. Las plutonitas y granitoides paleozoicos (carboníferos y pérmicos) se los consideró como una sola unidad, este conjunto de rocas mesosilíceas y calcoalcalinas, respectivamente, instruyen a las metamorfitas y se distribuyen uniformes en toda la cuenca ocupando una fracción importante de esta. Se localizan en áreas de cabecera, frentes montañosos, cordones serranos intramontanos. Las rocas mesozoicas continentales (cuenca de Cañadón Asfalto) representan las diversas etapas de un sistema de rift-posrift (Lince Klinger, F. *et al.*, 2011). Los campos volcánicos terciarios, constituidos por complejos basálticos, fueron mapeadas sobre el perímetro de la cuenca, en ciertos sectores abarcan zonas de cabecera. Todos estos conjuntos de rocas conforman el Sistema Hidrogeológico de Porosidad Secundaria (SHPS).

El Holoceno, está representado por un cono volcánico y un escorial ubicado en el sector oeste. Los sedimentos modernos constituyen el SHPP, se encontraron presentes en pie de monte, planicies aluviales, zonas bajas y planicies fluviales intermontañosa e intramontañosa. A nivel estructural conforma una depresión topográfica cenozoica, la más extensa del antepaís nordpatagónico, ubicada a centenares de kilómetros del margen de subducción con una orientación oblicua a la cadena andina y limitada por contrastantes y heterogéneos bloques de basamento pre-neógeno (Bilmes *et al.* 2014).

El paisaje de la región está regido por valles subsecuentes controlados por sistemas de fallas y fracturas regionales (Bilmes, 2012), la acción geomórfica fluvial y fluvio-glacial dejaron la impronta como modelador de la cuenca (Calvetty y Bianchi 2016). Desde el punto de vista geomorfológico la cuenca de Gastre constituye una depresión endorreica con características destacables que permiten una depositación continua de material granular moderno obteniendo la capacidad de un medio acuífero de gran desarrollo. Actualmente la erosión fluvial es localizada, está condicionada por las diferentes resistencias de las rocas, prevaleciendo la erosión eólica en las zonas de planicies aluviales, bajos y lagunas.

Se reconocen cinco unidades geomorfológicas; *Frente montañoso*: representados con mayor predominio en la margen norte. *Campo volcánico*: constituidos por complejos basálticos y escoriales. *Planicies aluviales*: situadas en la porción central de la cuenca. *Planicie Fluvial*: asociada a la red de drenaje no permanente de carácter transitorio. *Bajos y lagunas*: conforman la acumulación de materiales finos y los niveles de base local.

## 7 MATERIALES Y MÉTODOS

La primera etapa del trabajo consistió en procesar y clasificar la diversa información química, geológica y geomorfológica provista en el estudio Mapa Hidrogeológico de la Provincia del Chubut, Fase I, Etapas 1 y 2 (HCA Consultora, CFI, 2013, 2014). Del trabajo Plan Agua (Bianchi, E., CORFO, 2012), se extractaron los perfiles litológicos de pozos realizados en la cuenca.

Para el reconocimiento de unidades geomorfológicas se emplearon imágenes satelitales Landsat 8, sensor OLI/TIRS, pertenecientes a USGS. El relevamiento geológico se realizó utilizando las hojas geológicas de SEGEMAR, en escala 1:250.000.

En la segunda etapa se realizaron los balances de electroneutralidad, como error porcentual, a 69 resultados analíticos procedentes del laboratorio IL&A (HCA Consultora, CFI, 2013), para ello, se aplicó la siguiente expresión (1):

$$(\%) \text{ Error} = 200 * \frac{(\Sigma \text{Cat} - \Sigma \text{An}) (\text{meq/L})}{(\Sigma \text{Cat} + \Sigma \text{An}) (\text{meq/L})} \quad (1)$$

El error admisible se evaluó en función de la CE según la siguiente relación (Custodio y Llamas, 1983):

CE ( $\mu\text{S/cm}$ ):	50	200	500	2000
Error %:	30	10	8	4

Se estableció como error aceptable de 0 a 10%, se descartó un resultado que superó el intervalo mencionado.

Las determinaciones analíticas incluyeron los siguientes iones, concentraciones expresadas en mg/l, (Tabla 1): Cloruro ( $\text{Cl}^-$ ), Sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), Bicarbonato ( $\text{HCO}_3^-$ ), Carbonatos ( $\text{CO}_3^-$ ), Calcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ), Sodio ( $\text{Na}^+$ ), Potasio ( $\text{K}^+$ ), Magnesio ( $\text{Mg}^{2+}$ ). Los análisis contenían determinaciones de iones minoritarios y ciertos elementos traza, algunos de los analitos han sido utilizados para verificar meteorización de rocas ígneas.

Una vez depurados los datos analíticos se procesaron mediante el programa de versión gratuita Diagrammes, para obtener los diagramas triangulares de Piper a fin de determinar evolución hidroquímica. Las aguas se clasificaron utilizando el diagrama de distribución de Stiff.

Para identificar reacciones físico-químicas y procesos modificatorios de composición química, se aplicó el método de estudio de evolución “en absoluto” es decir, observar la evolución espacial de los valores a partir del ordenamiento de ciertas isorrelaciones iónicas. Se consideró utilizar los siguientes índices hidrogeoquímicos como las más representativas, relación iónica;  $\text{Mg}^{2+}/\text{Ca}^{2+}$  (meteorización de rocas ígneas),  $\text{Cl}^-/\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-$  (disolución-precipitación de Halita, período de permanencia en el acuífero, zonas de descarga subterránea),  $\text{SO}_4^{2-}/\text{Cl}^-$  (oxidación-reducción de sulfatos, precipitación de yeso, principios de mineralización),  $\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+}$  (intercambio iónico, procesos de ablandamiento y endurecimiento),  $\text{Cl}^- + \text{SO}_4^{2-}/\text{HCO}_3^-$  (procesos de disolución de sales evaporíticas sobre materiales carbonáticos).

En cada subcuenca se estableció una línea de flujo subterráneo preponderante, compuesta por un mínimo de cuatro muestras, abarcando desde la zona de recarga hasta la descarga subterránea. Permitió reconocer diversos procesos químicos, aportes de aguas de diferentes composiciones y mezclas de estas.

Los parámetros físico-químicos determinados in situ, como ser CE, pH y T, se emplearon para establecer evaluación regional en la cuenca.

A través del uso del programa QGIS, versión gratuita 2.14.3, se generaron los siguientes productos: mosaico satelital recortado al perímetro de cuenca, mapas de: isopH, isoconductividad, isopiezas, flujo subterráneo mediante digitalización manual, hidrogeoquímico de flujo (similar trazado al mapa hidrodinámico), composicional y de facies químicas, índice hidrogeoquímico. Se utilizó el sistema de coordenadas geográficas POSGAR\_1998\_Faja 2; Datum WGS\_1984; Proyección Gauss Krüger.

**Tabla 1. Resultados analíticos de las muestras filtradas por error porcentual**

IDENTIFICACION	DETERMINACIÓN ANALÍTICA (mg/l)								IDENTIFICACION	DETERMINACIÓN ANALÍTICA (mg/l)							
	ANIONES				CATIONES					ANIONES				CATIONES			
	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>-2</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	Ca <sup>+2</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Mg <sup>+2</sup>		HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>-2</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	Ca <sup>+2</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Mg <sup>+2</sup>
RCH-1	127	0	7,3	14,6	21,4	23,5	2,9	8,5	G34	171,7	0	27,7	58,1	50,43	39,06	5,53	13,61
RCH-2	114	0	11,7	33,1	25,7	24,5	3	6,7	G35	187,0	0	24,1	58,6	28,76	80,10	0,82	8,52
G01	141,8	0	25,9	142,7	48,76	65,79	5,25	13,07	G36	284,6	0	16,8	54,2	85,09	44,17	2,00	10,35
G02	119,3	0	31,3	49,8	36,42	31,33	2,01	11,77	G37	201,3	0	9,5	21,4	63,46	28,41	3,70	6,31
G03	120,2	0	29,5	56,4	35,64	44,30	4,17	8,09	G38	177,7	0	42,7	259,4	84,92	77,18	6,70	25,53
G04	149,1	0	30,4	55,3	45,94	33,64	4,84	11,54	G39	187,1	0	9,5	22,3	42,26	35,81	1,12	9,16
G05	261,1	0	59,9	91,9	46,05	100,08	14,57	19,25	G40	157,8	0	1213,7	811,2	113,22	1065,96	29,47	69,43
G06	148,2	0	86,3	200,0	59,87	84,53	3,12	32,57	G41	128,5	0	9,8	28,5	26,17	31,66	2,82	6,81
G07	119,3	0	8,6	28,5	23,81	35,78	2,46	6,61	G42	183,3	0	191,6	475,5	155,92	169,46	8,89	26,30
G08	124,7	0	29,5	63,9	32,10	57,12	4,37	7,38	G43	226,8	0	62,4	124,6	38,49	135,87	5,45	9,88
G09	263,8	0	9,5	34,5	64,26	37,48	3,99	14,67	G44	141,8	0	35,4	72,2	38,38	59,10	3,14	7,82
G10	256,6	0	10,4	54,1	81,14	30,07	2,17	11,29	G45	205,1	0	20,0	16,3	42,50	46,65	3,41	8,04
G11	102,1	0	20,4	52,3	35,05	23,41	2,61	10,61	G47	243,5	0	12,0	37,1	65,39	36,15	2,19	8,49
G12	242,8	0	33,0	56,4	70,31	53,97	1,53	11,88	G48	118,1	0	14,9	36,5	32,64	29,73	6,38	7,59
G13	178,3	0	13,0	10,3	42,54	28,68	0,95	9,23	G49	209,8	0	16,8	30,3	44,55	40,91	5,48	11,24
G14	159,9	0	12,8	18,0	45,51	20,57	0,88	4,90	G50	136,9	0	8,6	15,2	29,54	21,14	1,65	9,39
G15	216,2	0	69,2	141,3	82,52	76,85	6,59	15,55	G52	172,5	0	3,2	9,5	34,06	18,33	1,42	10,68
G16	186,7	0	59,3	119,2	22,52	111,87	19,69	15,84	G53	316,3	0	47,6	78,8	75,54	79,86	12,84	25,25
G17	120,7	0	617,5	320,0	220,20	252,18	5,54	24,95	G54	159,4	0	6,5	15,8	38,05	22,82	2,27	9,55
G18	278,5	0	67,1	121,8	15,10	163,05	1,05	15,51	G55	86,5	0	2,0	19,4	19,37	12,52	3,08	6,21
G19	214,7	0	65,2	134,7	66,13	101,62	5,04	17,46	G56	132,3	0	13,0	40,3	39,04	28,41	3,45	8,88
G20	126,4	0	53,2	94,7	27,50	95,75	0,90	3,34	G57	138,0	0	17,0	35,3	35,14	26,83	4,93	8,84
G22	295,6	0	137,0	236,4	39,05	220,25	8,00	22,88	G58	138,0	0	42,2	81,8	56,79	29,58	3,63	16,71
G23	91,4	0	95,8	129,0	53,36	76,48	3,49	11,54	G59	189,8	0	85,8	124,4	58,06	100,79	4,57	14,77
G24	141,4	0	19,3	40,5	39,26	30,41	0,93	7,67	G60	105,8	0	4,0	9,9	22,49	16,17	3,32	6,95
G25	180,9	0	272,5	165,5	52,37	214,91	13,67	14,29	G61	151,8	0	7,0	11,8	33,57	23,39	3,93	8,25
G26	130,9	0	14,3	25,7	34,69	26,88	1,92	8,38	G62	164,5	0	41,2	157,1	61,40	74,39	4,42	14,75
G27	121,9	3,9	34,6	60,9	52,36	30,09	1,76	9,90	G63	143,0	0	8,5	17,7	30,45	22,81	0,95	7,72
G28	220,8	0	19,8	50,1	56,85	45,32	1,50	14,93	G64	110,0	0	7,1	15,1	27,00	17,47	3,73	6,22
G29	175,0	0	24,0	45,0	47,12	38,52	3,92	10,44	G65	115,0	0	13,7	31,3	29,52	26,86	3,74	7,09
G30	191,1	0	23,1	48,1	59,98	33,15	2,63	14,18	MH-E2-G1	170,0	0	14,0	21,0	34,0	26,0	4,0	11,0
G32	191,5	0	14,1	31,9	47,99	29,60	4,63	12,02	MH-E2-G2	131,0	0	16,0	14,0	25,0	27,0	3,0	4,0
G33	128,3	0	7,2	6,4	32,92	11,75	2,04	8,14									

## 8 RESULTADOS

### 8.1 LITOLOGÍAS TIPO EN AMBIENTES GEOMORFOLÓGICOS

A través de los perfiles litológicos de perforaciones y descripciones de pozos excavados profundos (Bianchi, E., CORFO 2012), se identificaron los materiales que compone el medio acuífero y la zona no saturada, se establecieron las siguientes litologías tipo sobre rasgos geomorfológicos: Mallines intramontañosos y Planicies fluviales: sedimentos granulares (arenas medianas y finas) y finos (arcillas y limos) alternantes, variada potencia, gravas presentes o no, roca fisurada expuesta o no conformando el hidroapoyo del sistema poroso, espesor del medio primario, entre 6-20 m. Escoriales: roca basáltica cuaternaria vesicular y fracturada, se reconocieron diversos grados de meteorización física y química, tapizada parcialmente por sedimentos granulares cuaternarios y neógenos, espesores de las coladas, entre 8-14 m. Planicies aluviales: sedimentos granulares (arenas de variada granulometría) alternan con gravas medianas y finas, finos (limos y arcillas) intercalados de forma subordinada, potencias del paquete sedimentario, entre 16-120 m. Manantiales (vertientes y aguadas): alojados en sistemas de roca volcánicas, plutónicas y sedimentarias, presentan diversos sistemas de fisuras (variación de tamaño, espesores, diagramas de conjuntos, entre otros) y fracturas, en ocasiones cubiertos débilmente por sedimentos granulares y finos. Frentes montañosos: rocas ígneas con diferentes grados de meteorización, constituyentes del SHPS, zona de recarga.

### 8.2 INTERPRETACIÓN HIDRODINÁMICA Y FÍSICO-QUÍMICA DE CUENCA

Trazando las equipotenciales se obtuvo el mapa de isopiezas y se establecieron las direcciones de flujo subterráneo preponderantes. El diseño de las curvas equipotenciales mostró ser subparalelo al contorno de las áreas montañosas, asociado al SHPS, mientras en el SHPP se evidenció un diseño semiconcéntrico vinculado directamente con la planicie aluvial (Figura 2). La cuenca presentó un patrón de flujo asociado a la dirección y sentido del gradiente topográfico, los filetes de flujo convergente hacia las áreas deprimidas (niveles de base local). Estos niveles de base lo constituyen depresiones salinas de variada dimensión y someras en profundidad. En el contexto regional el nivel de base de la cuenca se localizó en la Laguna de Taquetrén, subcuenca homónima. Los rangos de niveles piezométricos<sup>1</sup> transformados a cota, oscilan entre 1.200 y 900 msnm, se observaron los mayores gradientes en los sectores de cabecera disminuyendo abruptamente en las zonas de planicie aluvial.

Las curvas de isopH (Figura 3), presentaron un diseño anárquico, el mayor porcentaje se encuentra en el rango de 7.25 – 7.75 pH<sup>2</sup>. Los valores alcalinos, máximo pH 8.4, se observaron en zonas de afloramientos graníticos, vulcanitas básicas y ácidas, en depósitos de sedimentos

<sup>1</sup> Niveles estáticos medidos durante campañas de campo en el mes de marzo de 2013

<sup>2</sup> Parámetros in situ determinados durante campaña de campo entre los meses de marzo y abril de 2013

modernos producto de su meteorización, vinculadas a salinas y aguas con concentraciones sódicas. Los pH levemente ácidos, valor entre 6.65 y 6.7, se reconocieron en zona de planicie aluvial, cercano a la salina de El Molle, el resto de valores similares se registraron en afloramientos de rocas graníticas, siempre asociados a manantiales con presencia de salicáceas, se atribuye el valor de pH a la acción de las raíces y ácidos provenientes de la actividad orgánica. El mapa de isoconductividad (Figura 4), mostró un diagrama concéntrico de curvas apiñadas en aquellos sectores representados por depresiones y bajos con presencia superficial de precipitación de sales. El mayor valor de conductividad eléctrica<sup>3</sup> (CE) se registró en la Laguna de Taquetrén sobre la margen oeste, 5.650  $\mu\text{s}/\text{cm}$ , el menor valor de 255  $\mu\text{s}/\text{cm}$ , en el límite este de la subcuenca de Blancuntre sobre afloramiento de rocas graníticas sin evidencia de meteorización. En las zonas de planicie aluvial se observaron curvas muy espaciadas con un diseño paralelo a los contornos.

Los valores extremos de temperaturas<sup>4</sup> fueron registrados en manantiales, 9.9 y 18.5 °C, el promedio de temperaturas en pozos excavados y perforaciones someras es de 13 °C.

Como resultado de la expresión (1), se descartaron 4 muestras que superaron el 10% de error, obteniendo un total de 65 muestras (Tabla 2), se distribuyen en la cuenca de Gastre según la Figura 5.

Con el fin de obtener una mejor interpretación espacial se decidió dividir la cuenca en cuatro subcuencas, de noroeste a sureste como indica la Figura 5; *Mamil Choique*; *El Molle*; *Taquetrén*; *Blancuntre*. Los principales rasgos hidroquímicos de las muestras analizadas fueron caracterizados a partir de los resultados obtenidos en los diagramas de Stiff, diagramas triangulares de Piper e índices hidrogeoquímicos.

<sup>3</sup> Parámetros in situ determinados durante campaña de campo entre los meses de marzo y abril de 2013

<sup>4</sup> Parámetros in situ determinados durante campaña de campo entre los meses de marzo y abril de 2013



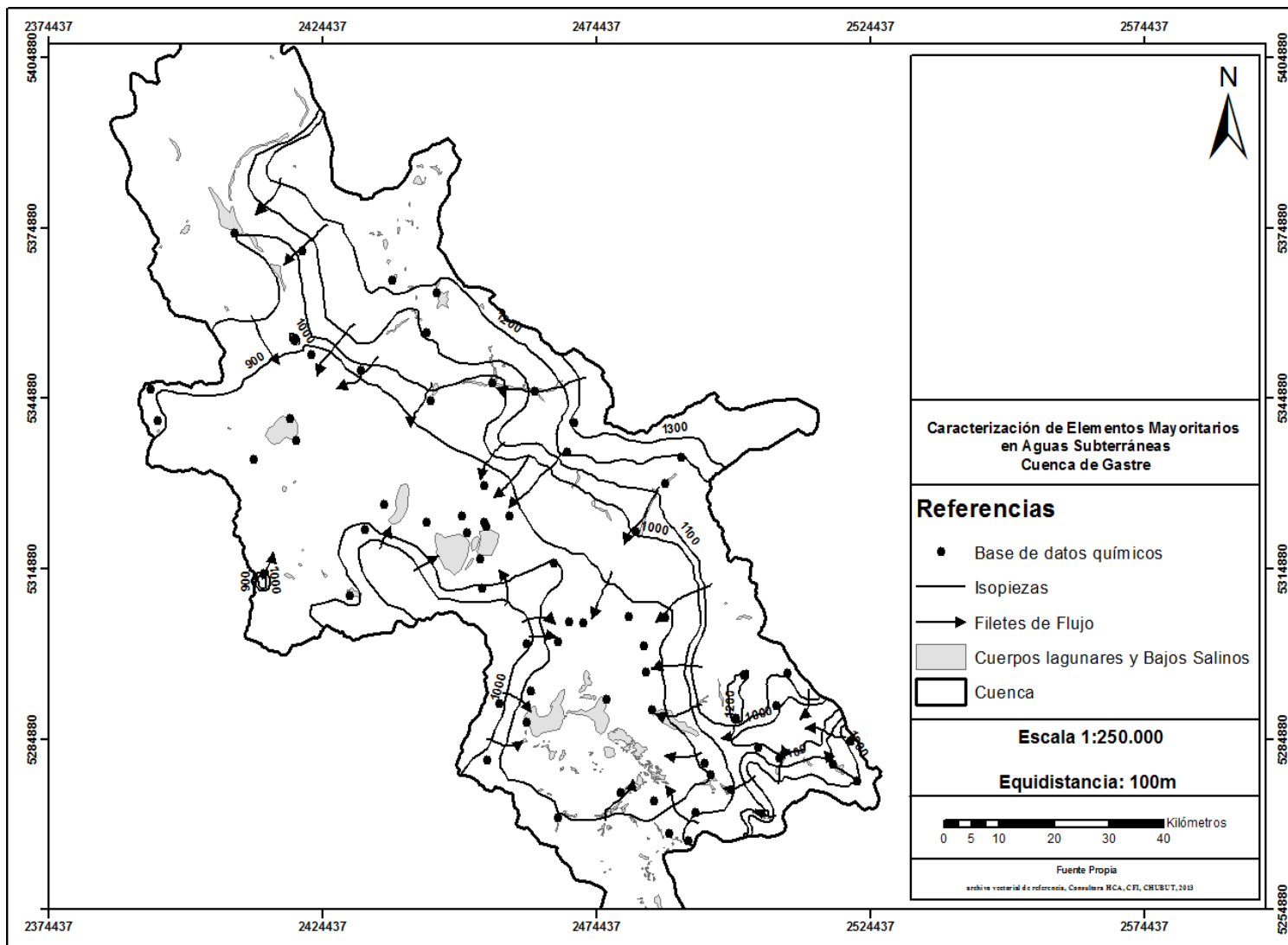


Figura 2. Mapa de Isopiezas y Filete de Flujo Subterráneo

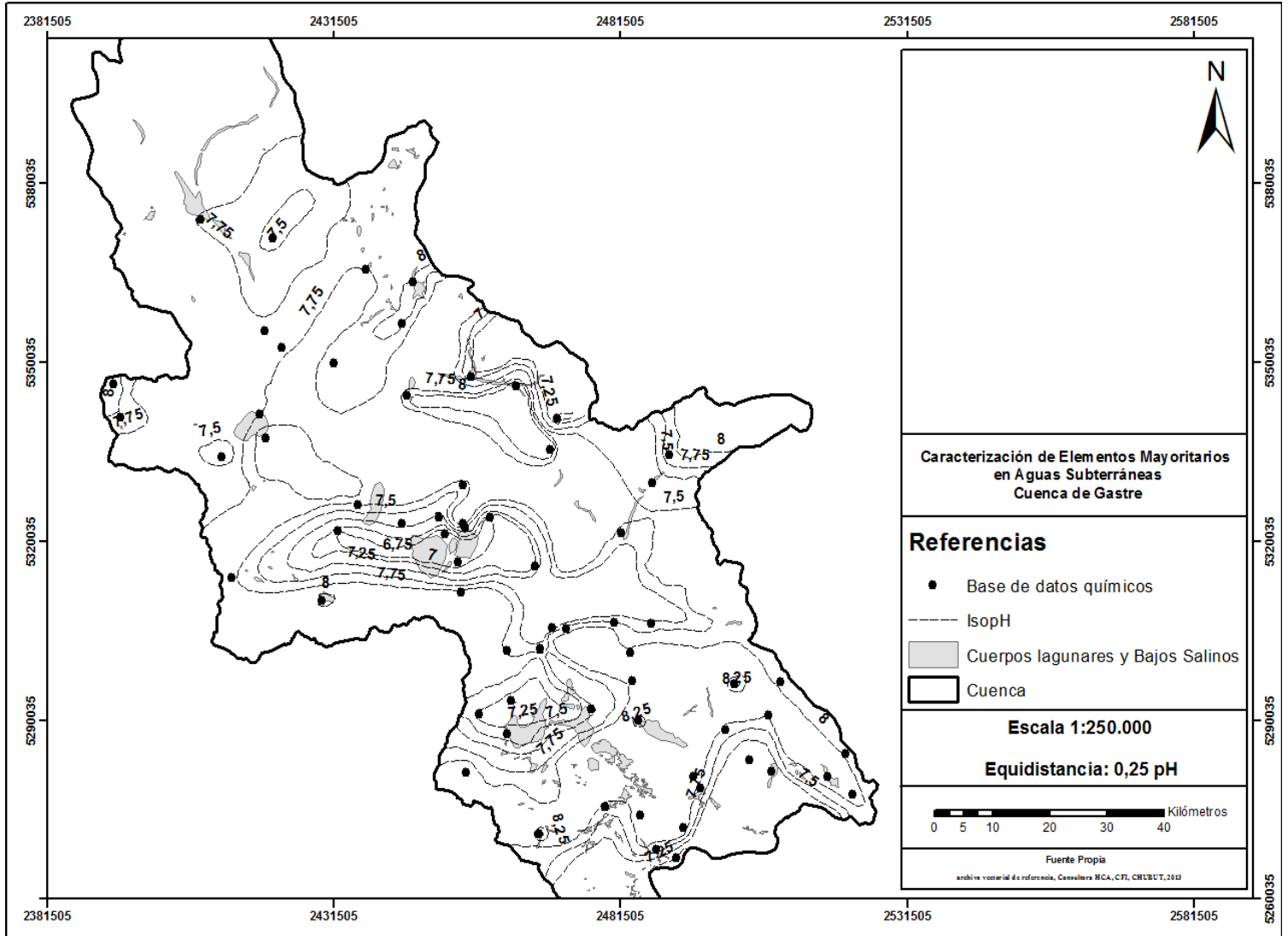


Figura 3. Mapa de isopH

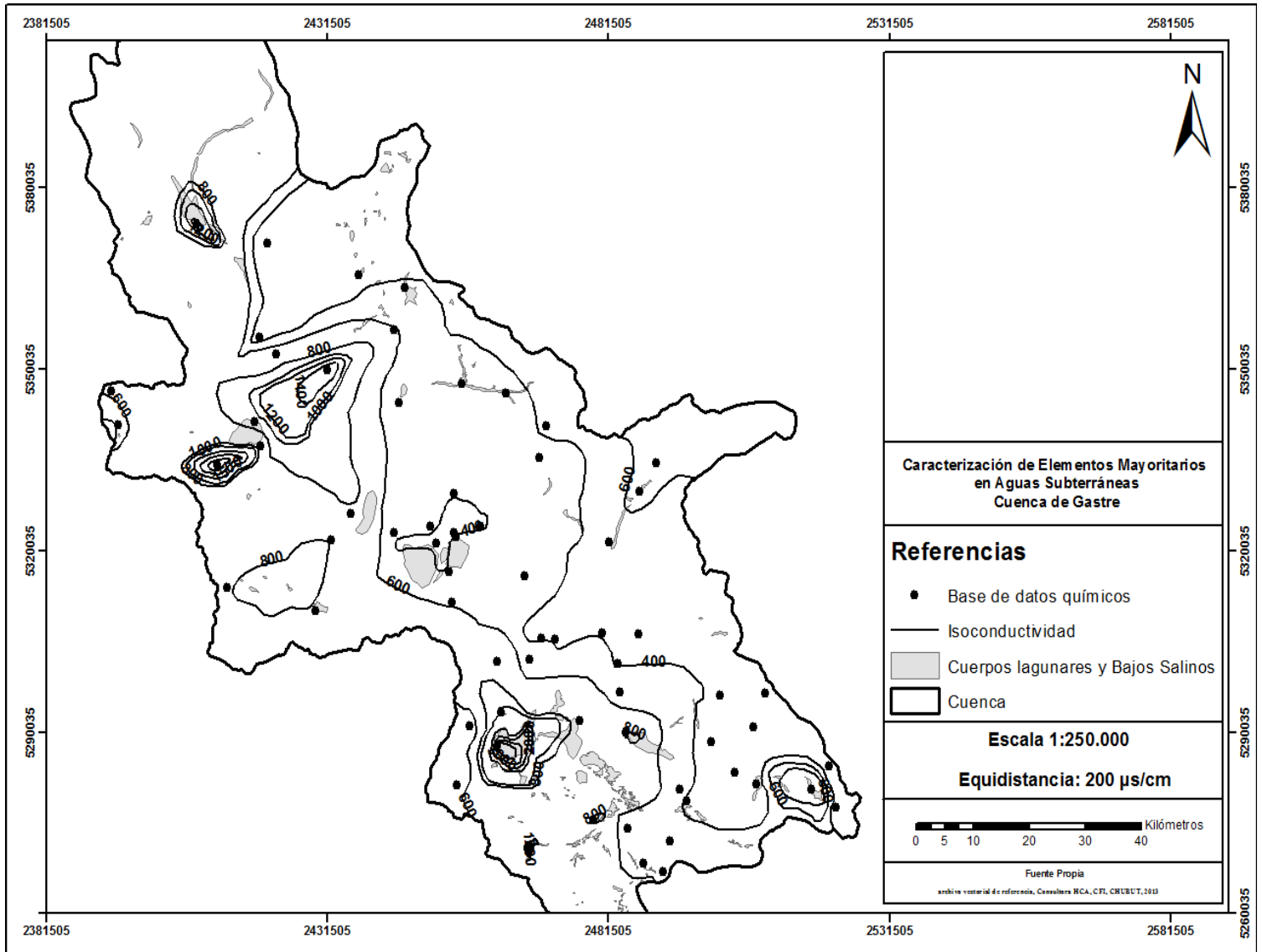


Figura 4. Mapa de isoconductividad

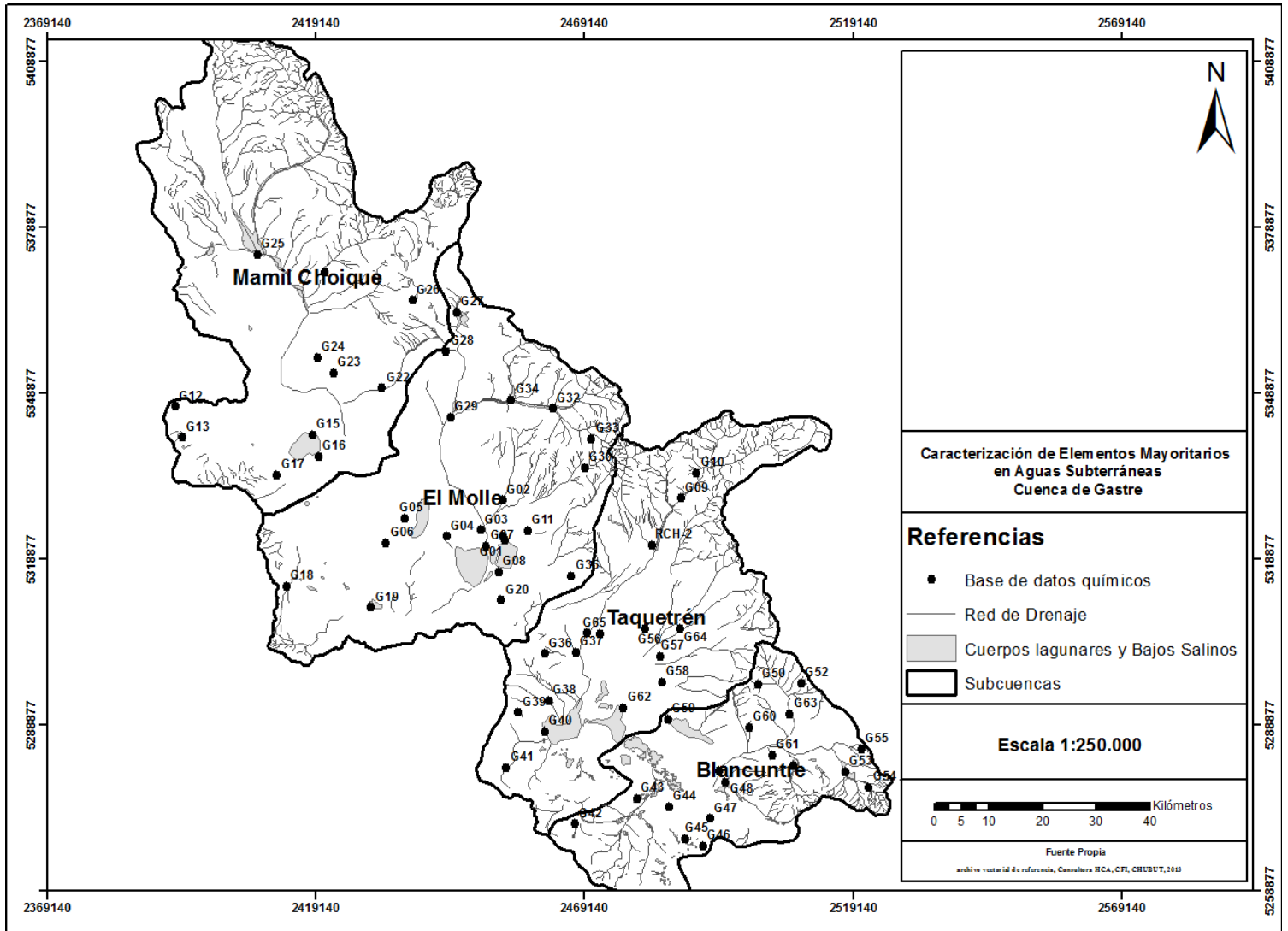


Figura 5. Distribución de muestras y subdivisión de cuencas

**Tabla 2. Balance de electroneutralidad expresado como error %**

IDENTIFICACION	ERROR %	IDENTIFICACION	ERROR %	IDENTIFICACION	ERROR %
RCH-1	4,98	G22	-0,20	G45	6,90
RCH-2	1,34	G23	1,00	G47	4,62
G01	3,79	G24	2,96	G48	8,57
G02	3,92	G25	-2,35	G49	5,37
G03	5,92	G26	8,17	G50	6,74
G04	4,08	G27	5,95	G52	4,61
G05	4,39	G28	7,54	G53	8,38
G06	2,19	G29	5,25	G54	8,88
G07	9,11	G30	8,42	G55	5,62
G08	6,61	G32	6,51	G56	8,28
G09	7,24	G33	8,24	G57	4,10
G10	5,91	G34	6,40	G58	3,86
G11	5,11	G35	6,40	G59	2,95
G12	6,06	G36	6,05	G60	9,05
G13	8,39	G37	10,01	G61	8,49
G14	3,28	G38	1,84	G62	3,34
G15	2,72	G39	7,70	G63	3,52
G16	3,82	G40	4,29	G64	7,91
G17	-3,82	G41	5,29	G65	6,13
G18	0,77	G42	-2,08	MH-E2-G1	2,66
G19	6,42	G43	4,25	MH-E2-G2	-1,05
G20	2,47	G44	3,69		

### 8.3 ANÁLISIS HIDROQUÍMICO POR SUBCUENCA

Los principales rasgos hidroquímicos de las muestras analizadas fueron caracterizados a partir de los resultados obtenidos en los diagramas de Piper (Figuras 6 a 9), diagramas de Stiff (Figuras 10 a y b, 11 a y b) e índices hidrogeoquímicos expresados como relaciones iónicas (Tabla 3). La interpretación del diagrama de Piper consistió en dividir el romboide principal en grupos, bajo la siguiente denominación: Grupo A – rombo a izquierda; Grupo B – rombo abajo; Grupo C – rombo arriba; Grupo D – rombo a derecha.

#### 8.3.1 Subcuenca Mamil Choique

Las mayores concentraciones de iones mayoritarios se registraron en la muestra G17 (valores expresados en mg/l):  $\text{Cl}^-$ : 617.5,  $\text{SO}_4^{2-}$ : 320,  $\text{Ca}^{2+}$ : 220.2,  $\text{Na}^+$ : 252.18,  $\text{Mg}^{2+}$ : 24.95, exceptuando el ion  $\text{K}^+$ : 19.69 presente en G16 y el ion  $\text{HCO}_3^-$ : 295.6 en G22.

Tras el análisis del diagrama de Piper (Figura 6), se han diferenciado tres grupos de aguas subterráneas. En el primer Grupo A, las muestras se proyectan en el centro del rombo clasificadas como bicarbonatadas cálcicas y/o magnésicas, corresponden con aguas poco evolucionadas. El segundo Grupo C, presenta una distribución lineal en la base del rombo, aguas sulfatadas y/o cloruradas cálcicas y/o magnésicas muestran evolución química. El Grupo D, concentra las muestras en el centro del rombo clasificando las aguas como cloruradas y/o sulfatadas sódicas y/o potásicas, presentan el mayor grado evolutivo y/o permanencia en el acuífero.

El triángulo composicional de cationes mostró un agrupamiento de muestras cálcicas-sódicas-magnésicas, un pequeño grupo sódicas y una sola muestra cálcica. En el triángulo aniónico se observó una mineralización del agua subterránea, evolución de agua bicarbonatada a sulfatada.

Para el trazado del diagrama de Stiff (Figura 10a), se aplicó una escala de máxima en 10 meq/l y mínimo de 2,5 meq/l, se observó un leve dominio de composiciones químicas bicarbonatadas, distribuidas en zonas de cabecera o asociadas a los afloramientos graníticos, muestran áreas de recarga. Las composiciones cloruradas y/o sulfatadas se reconocieron en ámbitos de sedimentos finos, bajos y lagunas, planicies aluviales y fluviales, demostrando aguas que permanecen cierto tiempo en el acuífero libre, manifestaron áreas de tránsito y descarga.

La relación  $Mg^{2+}/Ca^{2+}$  mayor que 1, mostró en G16 meteorización de silicatos magnésicos de rocas basálticas, donde el pH es alcalino, valores menores a 1, del orden de 0,3 (Schoeller, 1962) en Custodio y Llamas (1983), evidenció meteorización de rocas graníticas en el resto de las muestras. La relación  $Cl^{-}/CO_3^{2-}+HCO_3^{-}$  permitió establecer el proceso de concentración en sales en tres muestras G17-G23-G25, el incremento en la relación indica un avance en el proceso de concentración (Custodio y Llamas, 1983). La relación  $SO_4^{2-}/Cl^{-}$  presenta tres casos, G13-G17-G25, con valores por debajo de 1 existe reducción de sulfatos y/o mineralización por incremento de sales cloruradas (Fernández, 2009), en la primera muestra existe reducción de sulfatos, las dos muestras restantes procesos de mineralización. La relación  $Cl^{-}+SO_4^{2-}/HCO_3^{-}$  con valores superiores a 4, mostró que, en sectores donde prevalecen sedimentos granulares predominan los procesos de disolución de sales evaporíticas (halita, yeso) sobre materiales carbonáticos (Cerón García *et al.*, 1993). El análisis de todas las subcuencas, para la relación  $Na^{+}/Ca^{2+}$ , se consideró en ausencia de precipitación y disolución de sales cálcicas, valores mayores que 1 evidenciaron intercambio iónico de sodio por calcio provocando ablandamiento del agua, se presenta en G16, G22, G23, G25.

### 8.3.2 Subcuenca El Molle

Las concentraciones (valores expresados en mg/l) más elevadas de iones mayoritarios son las siguientes;  $Cl^{-}$ : 86.3 y  $SO_4^{2-}$ : 200 se registró en la muestra G06. La muestra G05 presento valores de  $Mg^{2+}$ : 19.25,  $K^{+}$ : 14.57. En G18, concentraciones de  $HCO_3^{-}$ : 278.5 y  $Na^{+}$ : 163.05. La muestra G31 presentó  $Ca^{2+}$ : 67.87 y  $CO_3^{-}$ : 3.9 en G27.

En el diagrama de Piper (Figura 7), se reconocen cuatro grupos de aguas. Grupo A agrupa la mayor cantidad de muestras ubicadas entre el centro, laterales y vértice derecho del rombo, se registra una suave mineralización del agua hacia estos sentidos, en general son aguas jóvenes del tipo bicarbonatadas cálcicas y/o magnésicas. El Grupo B reúne sus muestras en el vértice superior del rombo, presentan escasa evolución química, principios de intercambio iónico, son aguas del tipo bicarbonatadas sódicas y/o potásicas. Los representantes del Grupo C se alojan en el vértice inferior del rombo, aguas sulfatadas y/o cloruradas cálcicas y/o magnésicas, las muestras presentan un grado de evolución química notable y procesos de mineralización evidente. En el

cuatro Grupo D, las muestras se localizan en el vértice izquierdo muy cercanas el Grupo C evidencian similares características de mineralización y procesos químicos intervinientes, presentan un grado mayor de evolución química, son aguas del tipo cloruradas y/o sulfatadas sódicas y/o potásicas.

Entre los cationes predomina el calcio, seguido de sodio, subordinados magnesio y potasio participando ambos de zonas vinculadas a rocas basálticas cuaternarias. El anión dominante es el bicarbonato, se observa una clara evolución hacia aguas mineralizadas.

En el diagrama de Stiff, (Figura 10b) se aplicó una escala de máxima en 5 meq/l y mínimo de 1 meq/l, se observó un dominio de composiciones químicas bicarbonatadas cálcicas en la zona montañosa al norte (sierras de Calcatapul) y en la planicie aluvial, en aquellos sectores donde predomina la textura psamítica y psefítica. Otro grupo destacado de muestras, en zonas de planicie aluvial y áreas serranas al sur, se clasificó como bicarbonatadas sódicas y alternancia de sódica-cálcica, cálcica-sódica, experimentan procesos de intercambio iónico. Las muestras sulfatadas se reconocieron en rocas continentales jurásicas al oeste y suroeste de la subcuenca, al norte en una depresión constituida por sedimentos de grano fino y en la margen norte de la salina El Molle. Las muestras cloruradas se conocieron en la margen sur de la salina El Molle y al sur de la subcuenca en rocas continentales jurásicas.

Valores mayores a 1 en la relación  $Mg^{2+}/Ca^{2+}$ , Custodio y Llamas (1983), se registró al oeste de la subcuenca, presentó meteorización de silicatos magnésicos del complejo volcánico que se localiza aguas arriba, muestra G18. El resto de las muestras reflejaron meteorización de granitos y disolución por aporte de lluvia. Respecto a la relación  $Cl^{-}/CO_3^{2-}+HCO_3^{-}$ , se reconoce una muestra G06 que presenta un incremento en la concentración de sales. La relación  $SO_4^{2-}/Cl^{-}$  con valores superiores a 4 (Fernández, 2009) manifiestan precipitación de yeso, presente en la muestra G01. En la muestra G33 y MH-E2-G2 se observó reducción de sulfatos, en esta última posiblemente haya mezclas de aguas debido a la condición de la perforación (poseen 110 metros de profundidad). La relación  $Cl^{-}+SO_4^{2-}/HCO_3^{-}$  mostró un solo valor superior a 4, muestra G06, depresión de pequeñas dimensiones situado al suroeste de la salina El Pito, predominan procesos de disolución de sales y oxidación de sulfuros. El análisis de  $Na^{+}/Ca^{2+}$ , identifica procesos de intercambio iónico, ablandamiento del agua, en las muestras ubicadas sobre afloramientos de rocas jurásicas al oeste y sur de la subcuenca, en zona de planicie aluvial y en el sector de bajos y salinas, en especial aquellos sectores que presentan intercalación de texturas pelíticas y psamíticas finas.

### 8.3.3 Subcuenca Taquetrén

La muestra ubicada sobre el perímetro de la salina Taquetrén G40, presentó las mayores concentraciones (mg/l) de cationes  $Ca^{2+}$ :113.22,  $Na^{+}$ : 1065.96,  $Mg^{2+}$ : 69.43,  $K^{+}$ : 29.47, y, aniones  $Cl^{-}$ : 1213.7,  $SO_4^{2-}$ : 811.2, excepto  $HCO_3^{-}$ : 284.6, registrado en G36, localizado al oeste en afloramiento de rocas volcánicas.

En el diagrama romboidal de Piper (Figura 8), se reconocen tres grupos. El Grupo A agrupa en el centro del rombo la totalidad de muestras, son aguas muy jóvenes sin procesos químicos evidentes, del tipo bicarbonatadas cálcicas y/o magnésicas. Las tres muestras del Grupo C, se ubican hacia el vértice inferior del rombo, aguas sulfatadas y/o cloruradas cálcicas y/o magnésicas, presentan un grado de evolución química donde se manifiestan procesos de mineralización. La muestra del Grupo D, única en toda la cuenca, se identificó como hiperclorurada sódica, evidencia aguas muy evolucionadas, procesos de disolución y precipitación de sales evaporíticas.

El macrocomponente predominante es el bicarbonato, restringido a dos muestras el sulfato y una sola el cloruro. El catión abundante es el calcio, seguido de magnesio, en menor proporción sodio y potasio. El triángulo aniónico evidenció claramente mineralización hacia aguas sulfatadas en zonas periféricas a pequeñas depresiones salinas en cotas elevadas respecto al nivel de base local, mientras la composición hiperclorurada se registró en la vertiente oeste de la salina Taquetrén vinculada a suelos franco-arcillosos.

Las grafías de Stiff (Figura 11a) se representaron en una escala de máxima en 5 meq/l y mínimo de 1 meq/l, presentan una distribución de facies bicarbonatadas cálcicas en mayor proporción de la subcuenca, desde zonas de cabecera hasta la planicie aluvial moderada, asociadas con rocas volcánicas, plutónicas. Las muestras sulfatadas se localizan en zonas de sedimentos granulares y de texturas pelíticas como representantes de aguas en zonas de tránsito.

La relación  $Mg^{2+}/Ca^{2+}$  con valor superior a 1 se registró en la muestra G40, indica aporte de magnesio por meteorización de silicatos magnésicos y disminución de calcio por precipitación de yeso, el resto de las muestras presenta valores inferiores a 1 revelan meteorización de rocas graníticas y disolución por agua meteórica. La relación  $Cl^{-}/CO_3^{2-} + HCO_3^{-}$  se reconoció el máximo valor calculado para la cuenca, se registró en la muestra G40, evidencia la concentración de sales cloruradas como consecuencia de un ciclo de precipitación y disolución de halita. En la muestra G40, la relación  $SO_4^{2-}/Cl^{-}$  presentó el valor más bajo para la subcuenca, se reconoció mineralización por incremento de sales cloruradas y precipitación de yeso (Fernández, 2009). El resto de las muestras poseen valores superiores a 1, manifiestan posible reducción de sulfuros provenientes de mineralización en rocas jurásicas. La relación  $Cl^{-} + SO_4^{2-}/HCO_3^{-}$  con valores superiores a 4 confirma la existencia de procesos combinados de precipitación y disolución de sales evaporíticas (halita, yeso) sobre materiales carbonáticos (Cerón García *et al.*, 1993). Para la relación  $Na^{+}/Ca^{2+}$  calcularon dos valores mayores que 1, en la muestra G40 indica exceso de sodio por concentración de sales cloruradas, en la muestra G41 ubicada al suroeste de la subcuenca manifiesta procesos de intercambio de sodio por calcio. Cabe destacar que en todas las muestras la relación  $Na^{+}/Mg^{2+}$  mostró procesos de intercambio de sodio por magnesio.



### 8.3.4 Subcuenca Blancuntre

La muestra G42 localizada en una depresión endorreica al oeste de la subcuenca, registró las mayores concentraciones (mg/l) de los siguientes cationes,  $\text{Ca}^{2+}$ :155.92,  $\text{Na}^+$ : 169.46,  $\text{Mg}^{2+}$ : 26.30, y aniones  $\text{Cl}^-$ : 191.6,  $\text{SO}_4^{2-}$ : 475.5. La mayor concentración del (mg/l) anión  $\text{HCO}_3^-$ : 243.25 se reconoció en la muestra G47 ubicada al sur de la subcuenca y, el catión  $\text{K}^+$ : 12.54 en G53 localizada en el límite sureste de la subcuenca.

A través del análisis del diagrama romboidal de Piper (Figura 9), se establecieron tres grupos. El Grupo A presenta la mayor cantidad de muestras distribuidas entre el centro del rombo y hacia los vértices derecho e inferior, son aguas del tipo bicarbonatadas cálcicas y/o magnésicas, jóvenes y con incipientes procesos de intercambio iónico. La única muestra del Grupo C, G42, se ubica sobre el vértice derecho del rombo, manifiesta aguas sulfatadas y/o cloruradas cálcicas y/o magnésicas, se reconoce como agua evolucionada mineralizada, intervienen procesos químicos de intercambio iónico y concentración de sales por saturación. El Grupo D reúne sus muestras en el vértice izquierdo del rombo, se reconocen como aguas cloruradas y/o sulfatadas sódicas y/o potásicas. Son aguas evolucionadas donde muestran la interacción de varios procesos químicos que actúan de forma conjunta según las condiciones del medio acuífero. Respecto a los cationes, la mayor proporción de muestras se agrupan en la porción basal del triángulo central, no se reconoce un dominio catiónico. La muestra G43 se destaca del resto, expresa una mayor concentración de sodio. En el triángulo de aniones se reconocen tres grupos bien diferenciados, bicarbonato como macrocomponente dominante, tres muestras que ocupan el triángulo central y una sola muestra con predominio de sulfato y cloruro.

Para elaborar el diagrama de Stiff (Figura 11b) se empleó una escala de máxima en 5 meq/l y mínimo de 1 meq/l. Se reconoció un grupo mayoritario de facies bicarbonatadas cálcicas distribuidas en zonas serranas y asociadas a rocas graníticas. Un segundo grupo de aguas bicarbonatadas alternan el catión dominante, entre sódicas-cálcicas o cálcicas-sódicas, se localizan en sedimentos modernos y afloramientos de rocas volcánicas jurásicas. Una sola muestra sulfatada-clorurada sódica se registró en sedimentos cuaternarios como relleno de un valle intramontañoso, muestra G42. Se destaca la ausencia de composición clorurada. Existe una mineralización evidente desde las posiciones topográficas elevadas hacia las zonas de planicie aluvial.

Los valores calculados para la relación  $\text{Mg}^{2+}/\text{Ca}^{2+}$  son inferiores a 1 en todas las muestras, manifiestan meteorización de rocas graníticas, disolución de sales carbonatadas y un fuerte intercambio de sodio por magnesio, reflejado en la relación  $\text{Na}^+/\text{Mg}^{2+}$  utilizada como apoyo. Respecto a la relación  $\text{Cl}^-/\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-$  donde los valores mayores a 1 indican un avance en el proceso de concentración de sales (Custodio y Llamas, 1983), se reconoció en la muestra G42, incipiente proceso de concentración salina se registró en G49 muestra situada en la laguna de Colelache. Se reconoció en la relación  $\text{SO}_4^{2-}/\text{Cl}^-$  un valor por debajo de 1, muestra G45, denota reducción de sulfatos y/o posibles aportes de aguas con diferente composición debido a una

incorrecta construcción de la perforación. El valor más elevado se registró en la muestra G55, al este de la subcuenca, el aporte de sulfatos se debe a oxidación de sulfuros presentes en sectores mineralizados de rocas jurásicas. La relación  $\text{Cl}^- + \text{SO}_4^{2-} / \text{HCO}_3^-$  presentó valores superiores a 1 en tres muestras localizadas en depresiones salinas y mallines salinos en estado de degradación, se establece la existencia de disolución de sales. La relación  $\text{Na}^+ / \text{Ca}^{2+}$  presentó valores superiores a 1 en tres muestras, ubicadas en sedimentos modernos, se produce ablandamiento de las aguas. El resto de las muestras presenta indicios de procesos de intercambio iónico, en general las zonas de rocas graníticas manifiestan endurecimiento de las aguas. La presencia de limo-arcilloso como constituyente del medio acuífero demanda la absorción del catión magnesio sobre el calcio.

Tabla 3. Relaciones iónicas

IDENTIFICACION	RELACIONES IÓNICAS					IDENTIFICACION	RELACIONES IÓNICAS				
	Mg/Ca	Cl/CO3+HCO3	SO4/Cl	Cl+SO4/HCO3	Na/Ca		Mg/Ca	Cl/CO3+HCO3	SO4/Cl	Cl+SO4/HCO3	Na/Ca
RCH-1	0,66	0,10	0,15	0,35	0,13	G34	0,45	0,28	0,43	1,21	0,11
RCH-2	0,43	0,18	0,37	0,70	0,09	G35	0,49	0,22	0,40	1,08	0,26
G01	0,44	0,31	1,28	2,01	0,24	G36	0,20	0,10	0,24	0,72	0,25
G02	0,53	0,45	0,53	1,41	0,06	G37	0,16	0,08	0,13	0,40	0,19
G03	0,38	0,42	0,60	1,43	0,09	G38	0,50	0,41	1,86	3,06	0,27
G04	0,42	0,35	0,47	1,33	0,08	G39	0,36	0,09	0,15	0,42	0,22
G05	0,69	0,39	0,45	2,14	0,20	G40	1,01	13,21	6,53	40,72	0,73
G06	0,90	1,00	1,72	4,15	0,14	G41	0,43	0,13	0,28	0,56	0,15
G07	0,46	0,12	0,30	0,55	0,18	G42	0,28	1,80	3,30	8,69	0,25
G08	0,38	0,41	0,65	1,48	0,13	G43	0,42	0,47	0,70	2,46	0,27
G09	0,38	0,06	0,17	0,43	0,32	G44	0,34	0,43	0,65	1,64	0,12
G10	0,23	0,07	0,27	0,56	0,25	G45	0,31	0,17	0,10	0,66	0,15
G11	0,50	0,34	0,65	1,23	0,06	G47	0,21	0,08	0,19	0,53	0,24
G12	0,28	0,23	0,30	1,22	0,15	G48	0,38	0,22	0,39	0,81	0,10
G13	0,36	0,13	0,07	0,44	0,12	G49	0,42	0,14	0,18	0,66	0,17
G14	0,18	0,14	0,14	0,50	0,08	G50	0,53	0,11	0,14	0,38	0,11
G15	0,31	0,55	0,83	2,78	0,14	G52	0,52	0,03	0,07	0,16	0,28
G16	1,16	0,55	0,81	2,48	0,21	G53	0,55	0,26	0,32	1,66	0,21
G17	0,19	8,79	3,37	20,77	0,16	G54	0,41	0,07	0,13	0,31	0,17
G18	1,70	0,41	0,56	2,45	0,34	G55	0,53	0,04	0,28	0,34	0,18
G19	0,44	0,52	0,80	2,63	0,20	G56	0,38	0,17	0,39	0,75	0,11
G20	0,20	0,72	0,95	2,45	0,15	G57	0,42	0,21	0,33	0,80	0,09
G22	0,97	0,80	1,02	4,88	0,34	G58	0,49	0,53	0,75	1,94	0,06
G23	0,36	1,80	1,79	4,49	0,08	G59	0,42	0,78	0,83	3,25	0,15
G24	0,32	0,23	0,36	0,91	0,09	G60	0,51	0,06	0,12	0,23	0,13
G25	0,45	2,59	1,16	8,84	0,17	G61	0,41	0,08	0,10	0,30	0,15
G26	0,40	0,19	0,25	0,65	0,09	G62	0,40	0,43	1,21	2,37	0,20
G27	0,31	0,49	0,64	1,61	0,06	G63	0,42	0,10	0,16	0,40	0,12
G28	0,43	0,15	0,29	0,85	0,19	G64	0,38	0,11	0,17	0,37	0,09
G29	0,37	0,24	0,33	1,00	0,11	G65	0,40	0,20	0,35	0,73	0,09
G30	0,39	0,21	0,32	0,97	0,11	MH-E2-G1	0,53	0,14	0,16	0,55	0,10
G32	0,41	0,13	0,21	0,61	0,14	MH-E2-G2	0,26	0,21	0,14	0,59	0,08
G33	0,41	0,10	0,06	0,27	0,06						

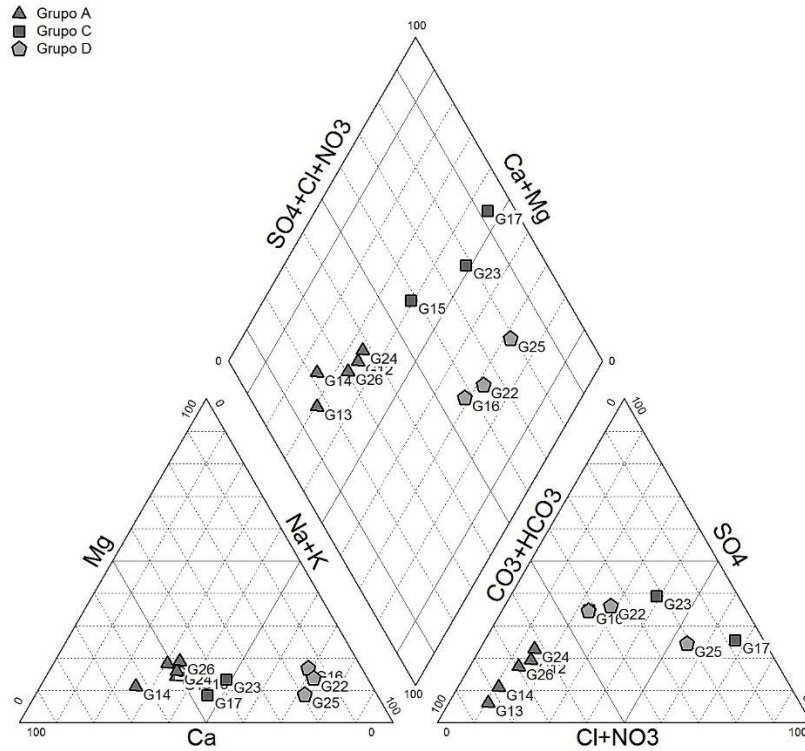


Figura 6. Diagrama de Piper subcuenca Mamil Choique

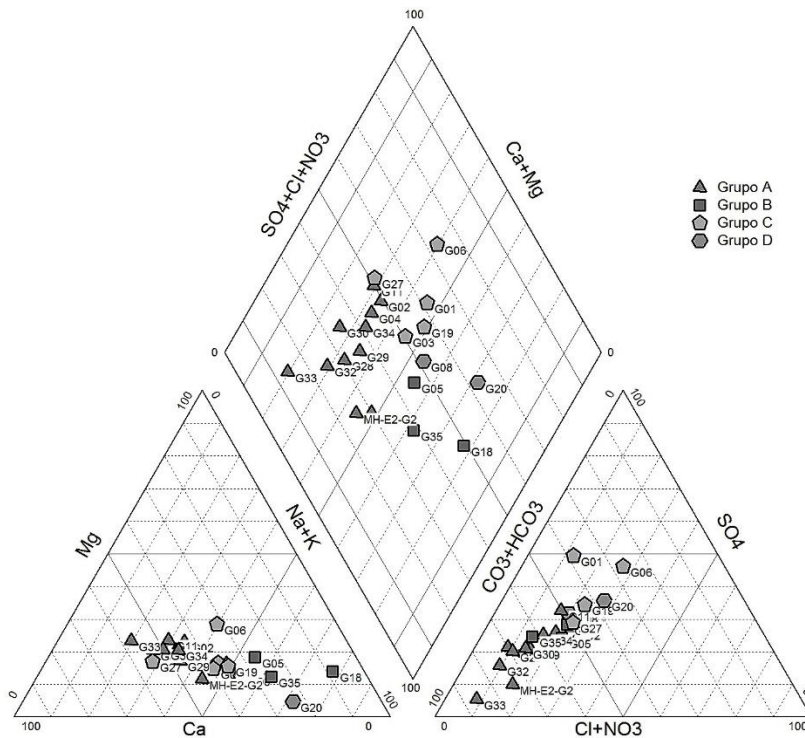


Figura 7. Diagrama de Piper subcuenca El Molle

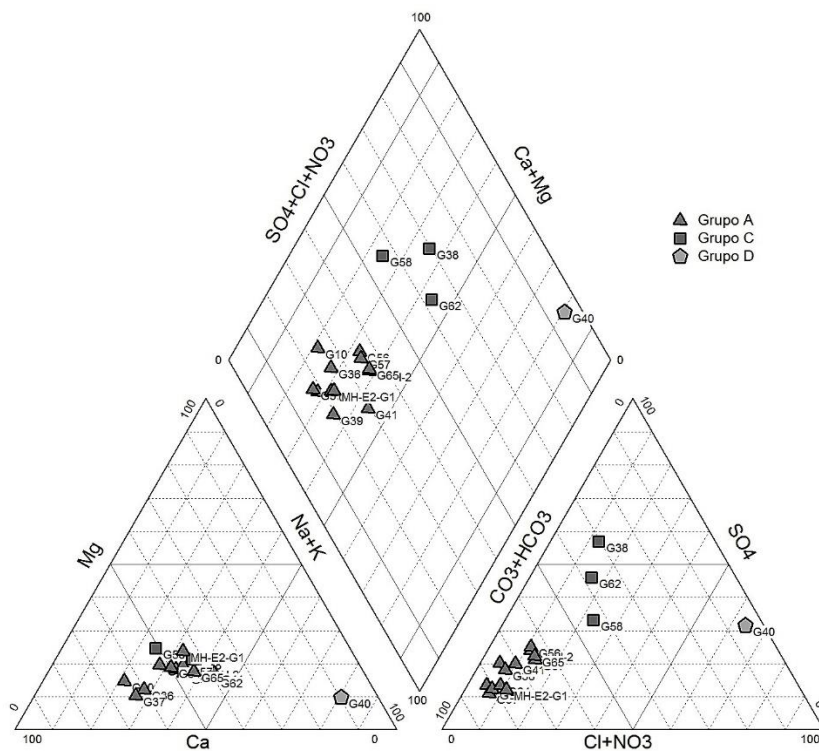


Figura 8. Diagrama de Piper subcuenca Taquetrén

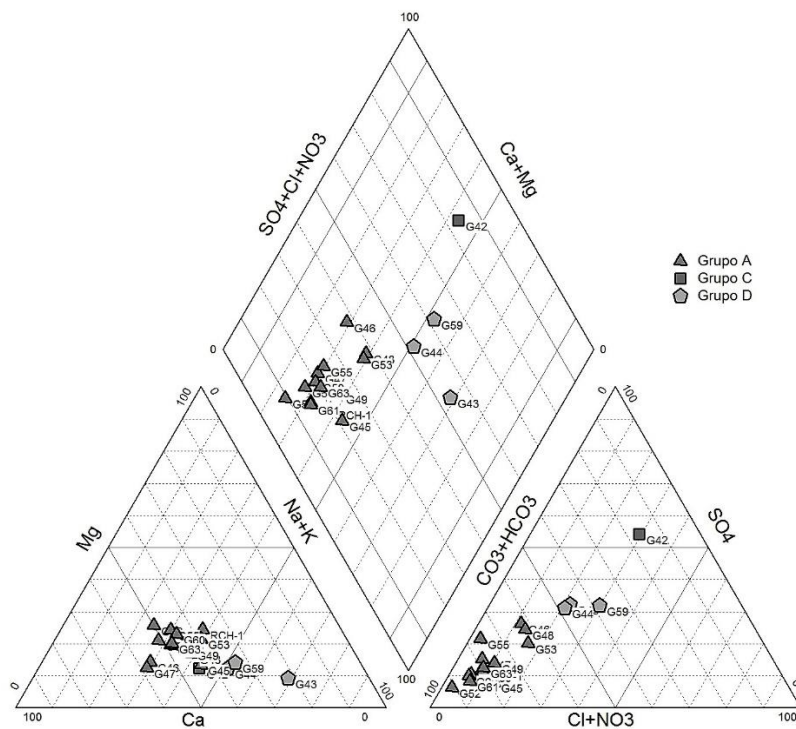


Figura 9. Diagrama de Piper subcuenca Blancutré

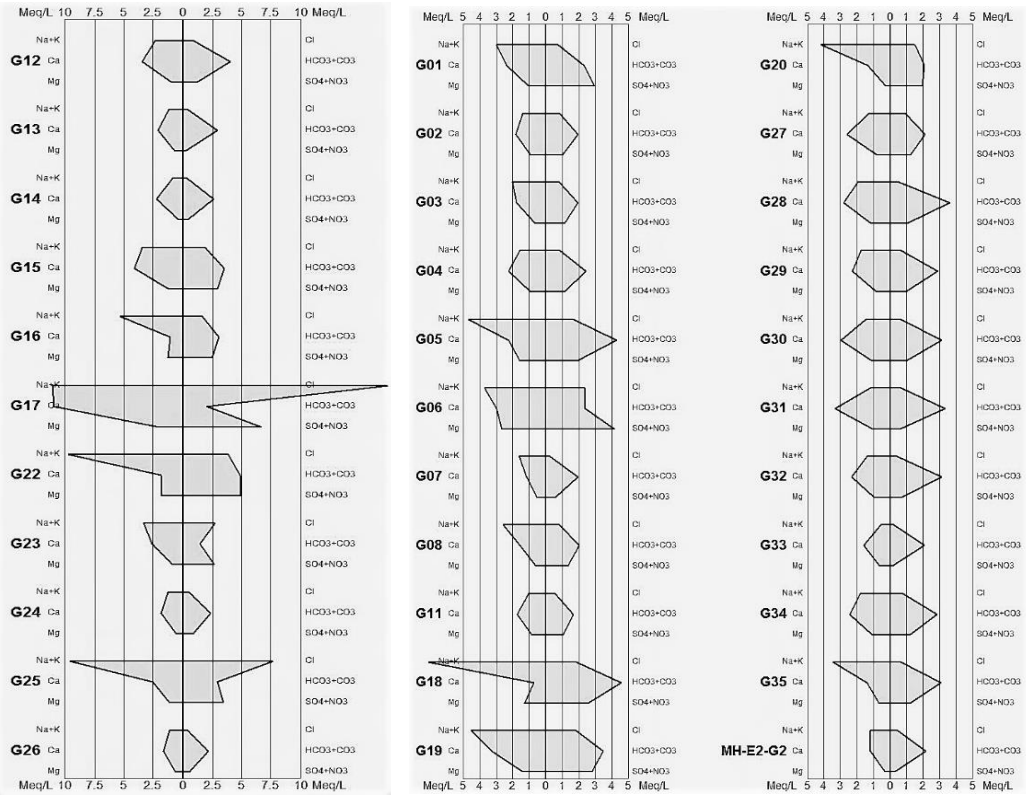


Figura 10 a y b. Diagrama de Stiff, de Izq. a Der., subcuencas; Mamil Choique y El Molle

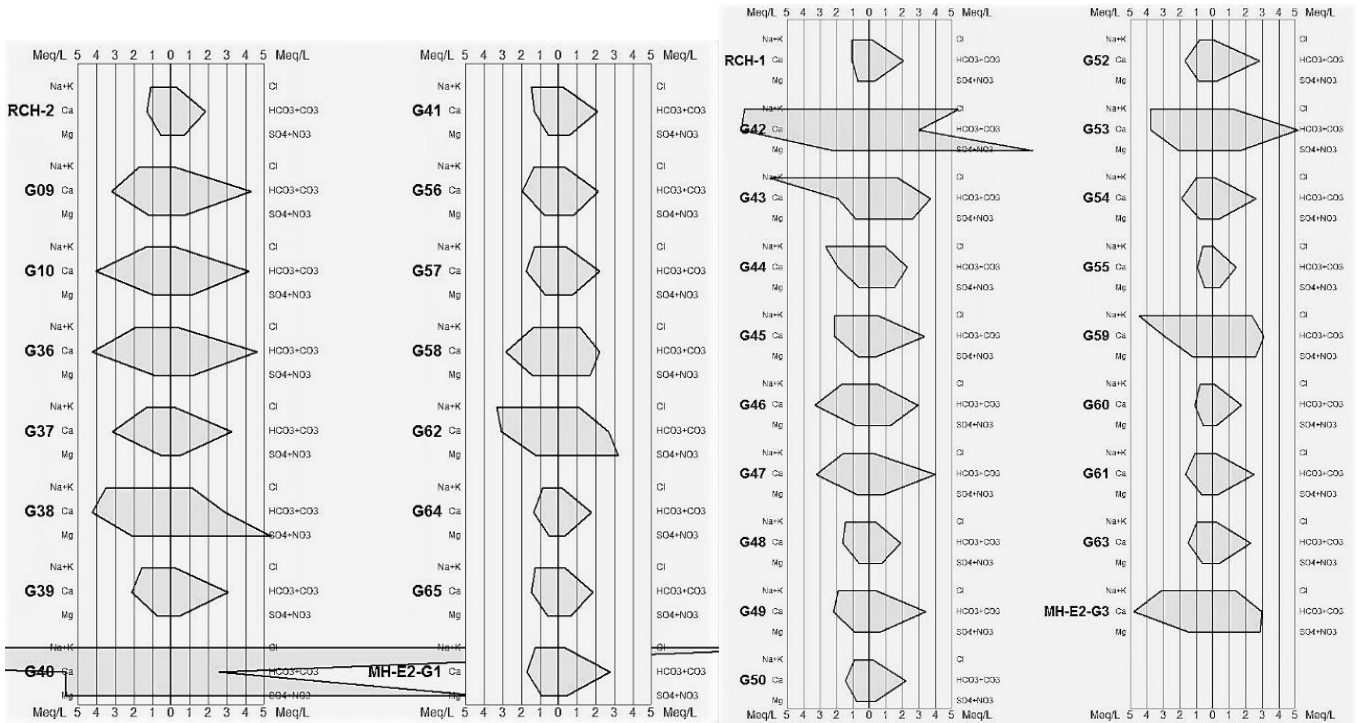


Figura 11 a y b. Diagramas Stiff, subcuencas de Izq. a Der.; Taquetrén y Blancentre

## 8.4 PROCESOS FÍSICO-QUÍMICOS SOBRE UN FLUJO TIPO

En el presente capítulo se analizaron en cada subcuenca, los procesos químicos intervinientes a lo largo de una línea de flujo subterráneo. Para ello, se consideró un mínimo de cuatro muestras. A través de los índices hidrogeoquímicos se pretende establecer el comportamiento químico del agua subterránea, desde zonas de recarga hasta zonas de descarga, con el fin de reconocer a nivel espacial modificaciones químicas del agua. Se emplearon las siguientes relaciones iónicas (Tabla 4):  $Cl^-/CO_3^{2-}+HCO_3^-$ ,  $\sqrt{SO_4^{2-}/Ca^{2+}}$ ,  $Na^+/Ca^{2+}$ .

**Tabla 4. Relaciones iónicas por subcuenca.**

SUBCCA	MUESTRA	Cl/CO3+HCO3	√SO4/Ca	Na/Ca
Mamil Choique	G25	2,59	1,89	3,57
	G23	1,80	1,12	1,24
	G15	0,55	0,9	0,81
	G16	0,55	2,08	0,32
El Molle	G32	0,13	0,73	0,54
	G34	0,28	0,82	0,67
	G29	0,24	0,84	0,71
	G03	0,42	1,04	1,01
	G07	0,12	1,14	1,31
Taquetrén	G10	0,07	0,57	0,32
	G09	0,06	0,71	0,50
	RCH-2	0,18	0,91	0,83
	G65	0,20	0,89	0,79
	G37	0,08	0,62	0,39
	G40	13,21	2,86	8,18
Blancuntre	G54	0,07	0,72	0,52
	G53	0,26	0,96	0,91
	G49	0,14	0,89	0,17
	G59	0,78	0,79	1,51

### 8.4.1 Subcuenca Mamil Choique

La línea de flujo hidroquímica seleccionada incluyó las muestras G25, G23, G15, G16. El análisis de la relación  $Cl^-/CO_3^{2-}+HCO_3^-$  mostró la presencia de aguas continentales, valores comprendidos entre 0,1 y 5 con pH superiores a 7 (Custodio y Llamas, 1983). Se observó una brusca disminución de valores a lo largo de la línea de flujo, se descarta el proceso de concentración en sales cloruradas, posiblemente indique el límite entre aguas de diferentes orígenes (Custodio, 1978) en Custodio y Llamas (1983). Se reconocen dos límites, entre las muestras G25-G23 y muestras G23-G15.

Las aguas en general presentan saturación de sulfatos, valores mayores a 1 en la relación cuadrática  $\sqrt{SO_4^{2-}/Ca^{2+}}$  y con valores superiores a 2 sobresaturación, (Fernández, 2009). En las muestras G25 y G23 existe dilución de yeso, en G16 precipitación.

El tránsito del agua subterránea a través de sedimentos de granulometría fina en general favorecen los procesos de intercambio catiónico, observados en la relación  $\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+}$  con valores superiores a 1, muestras G25 y G23. En la muestra G16, la presencia de terrenos basálticos y el destacado aporte de yeso al agua incrementa la concentración de calcio, disminuyendo el valor de la relación

#### **8.4.2 Subcuenca El Molle**

Se eligieron las siguientes muestras G32, G34, G29, G3, G7 sobre la línea de flujo hidroquímica. La relación  $\text{Cl}^-/\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-$  registró valores inferiores a 0,5 en todas las muestras. En el trazado de la línea de flujo se observó un incremento moderado y continuo desde zona de cabecera hasta el nivel de mayor depresión, salina El Molle, podría denotar un proceso de incorporación selectiva de cloruros (Custodio, 1978) en Custodio y Llamas (1983), precipitación de carbonato cálcico y/o incorporación de  $\text{CO}_2$  por actividad orgánica, en la muestra G34 se presenta un leve incremento posiblemente asignado a materiales finos en la zona de mallín. La muestra G7 ubicada en el borde noroeste de la salina El Molle, presentó el menor valor, indica agua de origen diferente al resto de las muestras.

La zona de planicie aluvial representadas por las muestras G03 y G07, manifiestan procesos de disolución de sales sulfatas cálcicas, valores en la relación  $\sqrt{\text{SO}_4^{2-}}/\text{Ca}^{2+}$  superiores a 1, e intercambio catiónico de sodio por calcio con valores superiores a 1 en la relación  $\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+}$ . Posiblemente exista un aporte selectivo de sodio como consecuencia de la meteorización de plagioclasas sódicas.

#### **8.4.3 Subcuenca Taquetrén**

La línea de flujo hidroquímica está compuesta por las muestras G10, G9, RCH-2, G65, G37, G40, se reconoció un incremento paulatino en el valor de la relación  $\text{Cl}^-/\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-$ , sin demostrar que exista concentración de sales, probablemente se produzca precipitación de carbonato cálcico. La muestra G37 presenta agua de diferente origen que el resto de las muestras. La muestra G40 representa todos los procesos químicos analizados, se establece como el nivel de base de toda la cuenca, el elevado valor presupone un aporte de cloruros de otras fuentes que provienen del oeste de la subcuenca

El análisis de la relación cuadrática  $\sqrt{\text{SO}_4^{2-}}/\text{Ca}^{2+}$  permitió reconocer, desde la zona de recarga hasta zona de descarga, un incremento de sales sulfatadas como evidencia aguas que manifiestan mineralización. La muestra G40 representa el mayor valor registrado, 2,86, por sobresaturación de sulfato cálcico se produce precipitación de yeso, (Fernández, 2009). Existe un gran aporte de sulfatos proveniente de la oxidación de sulfuros presentes en las rocas jurásicas como constituyentes de zonas mineralizadas localizadas al noroeste y oeste de la subcuenca.

Respecto a la relación  $\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+}$ , se registró intercambio catiónico en la muestra G40, el perfil litológico del pozo mostró un paquete de arcillas y arenas finas de 8 m de espesor intercalados con varios niveles salinos.

#### 8.4.4 *Subcuenca Blancuntre*

G54, G53, G49, G59 son las muestras seleccionadas sobre la línea de flujo hidroquímica. Se observa un incremento progresivo de los valores en la relación  $\text{Cl}^-/\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-$ , no obstante, los valores inferiores a 1 en todas las muestras indican falta de concentración de sales como proceso evolutivo, probablemente se presente precipitación de carbonato de calcio. La muestra con mayor grado de mineralización se registró en G59

El mallín en estado de degradación donde se localiza la muestra G53 presentó un valor cercano a 1 respecto de la relación  $\sqrt{\text{SO}_4^{2-}}/\text{Ca}^{2+}$ , representan procesos de disolución de yeso. El resto de las muestras presentan indicios de mineralización.

La muestra G59 evidencia intercambio de sodio por calcio, valor en la relación  $\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+}$  mayor que 1, se produce por presencia de arcillas en la salina de Colelache y meteorización de silicatos sódicos abundantes en los afloramientos graníticos que rodean la zona.

### 8.5 CARACTERIZACIÓN HIDROQUÍMICA

Los mapas de flujo hidroquímico y de evolución química de las aguas, reflejan los resultados sintetizados del trabajo.

#### 8.5.1 *Mapa de Flujo Hidroquímico*

La Figura 12, representa el flujo hidroquímico respecto a los procesos que intervienen: concentración de sales mineralización, ablandamiento, disolución, precipitación, dilución, intercambio iónico. El trazado de las líneas de flujo hidroquímico parten desde cada punto muestreado, en sentido y dirección de evolución. Se observa, sentido evolutivo, en general, hacia zonas deprimidas constituidas por salinas, mallines y/o bajos donde los componentes rocosos pertenecen al dominio de rocas graníticas paleozoicas y/o basaltos terciarios. Los afloramientos de rocas continentales jurásicas, que presenten o no mineralización, compuestos por rocas sedimentarias, ignimbritas y niveles evaporíticos, en ellas, se reconoció una evolución intrínseca, propia de procesos modificadorios como ser disolución, reducción u oxidación

#### 8.5.2 *Mapa de Evolución Química*

En la elaboración del mapa de evolución química (Figura 13), se consideró utilizar la relación  $\text{Cl}^-/\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-$  que permite establecer a través del incremento en la relación proceso de concentración (Custodio y Llamas, 1983), se consideró el inicio de la mineralización de aguas. A su vez, se utilizaron las relaciones  $\text{SO}_4^{2-}/\text{Cl}^-$  y  $\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+}$  como apoyo y contraste en la evaluación de los resultados. Como premisa se consideró que las zonas donde no existe información son aguas jóvenes que provienen de recarga o no presentan procesos químicos modificadorios, se



resaltan los sectores con datos donde se reconocieron procesos que evidencian evolución química.

### 8.5.3 Distribución de Facies

El análisis realizado en los diagramas ya descriptos, Piper y Stiff, permitió identificar facies hidroquímicas logrando integrar la información a nivel regional. La distribución porcentual se efectuó en cada subcuenca y en la cuenca, (Tabla 5).

Existe un dominio neto de facies bicarbonatadas, aguas jóvenes de rápida circulación en el acuífero acusan en ciertos sectores de menor permeabilidad evidencias incipientes de intercambio catiónico, representan uno de los porcentajes más bajos. Las facies sulfatadas y cloruradas alcanzan un porcentaje similar entre sí demostrando la evolución del agua con mayor permanencia en el acuífero. En estas facies se manifiestan la mayor cantidad de procesos químicos. El menor porcentaje se encuentra reflejado por la facie hiperclorurada, evidenció la zona de descarga regional del acuífero libre y la culminación evolutiva del agua subterránea.

**Tabla 5. Distribución porcentual de facies**

Tipo de Facies	Subcca Mamil Choique	Subcca El Molle	Subcca Taquetrén	Subcca Blancuntre	Cca Gastre
Bicarbonatada cálcica y/o magnésica	46%	52%	75%	78%	64%
Bicarbonatada sódica y/o potásica		14%			5%
Sulfatada y/o clorurada cálcica y/o magnésica	27%	24%	19%	5%	18%
Clorurada y/o sulfatada sódica y/o potásica	27%	10%		17%	12%
Hiperclorurada sódica			6%		1%

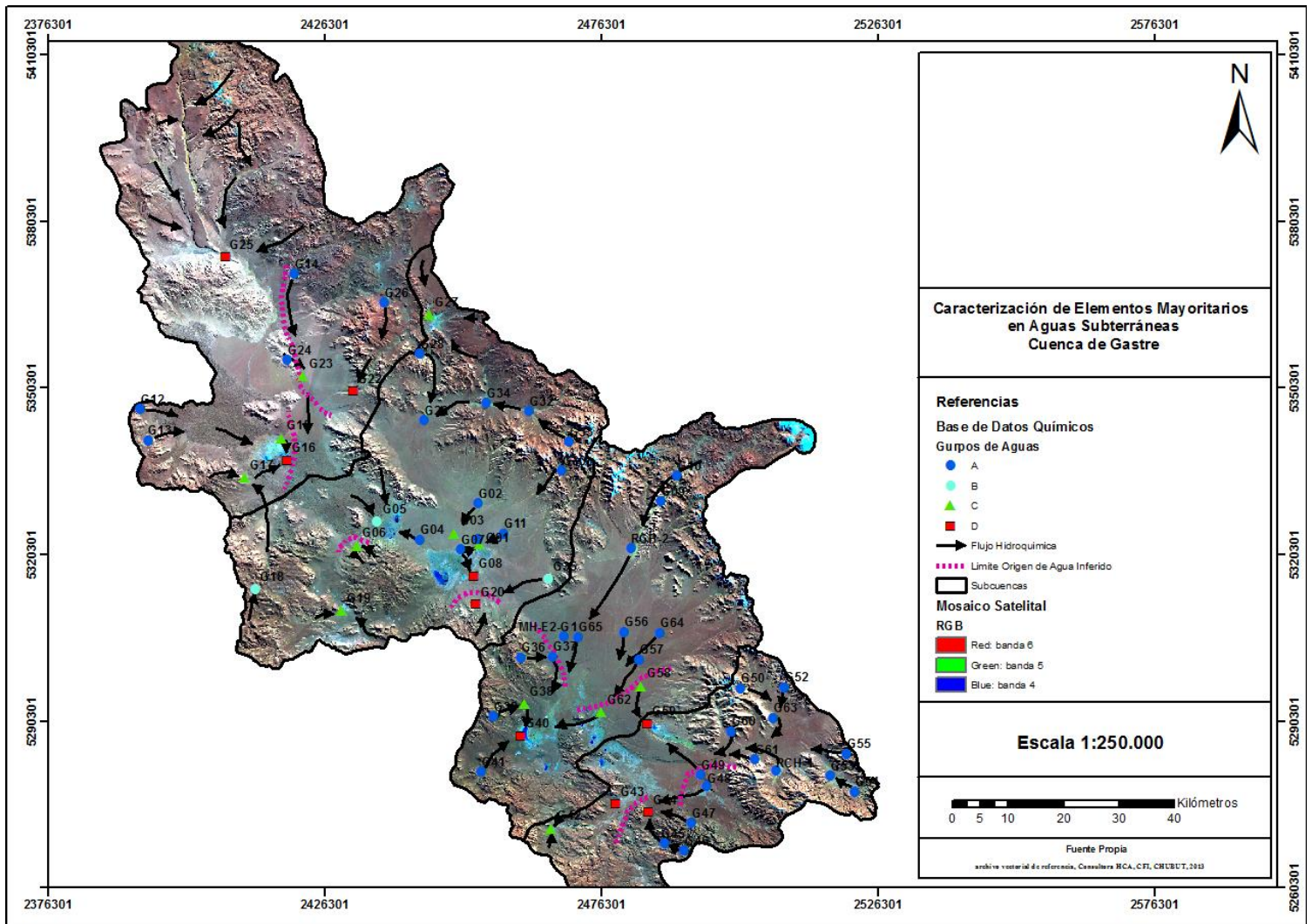


Figura 12. Mapa de flujo hidroquímico

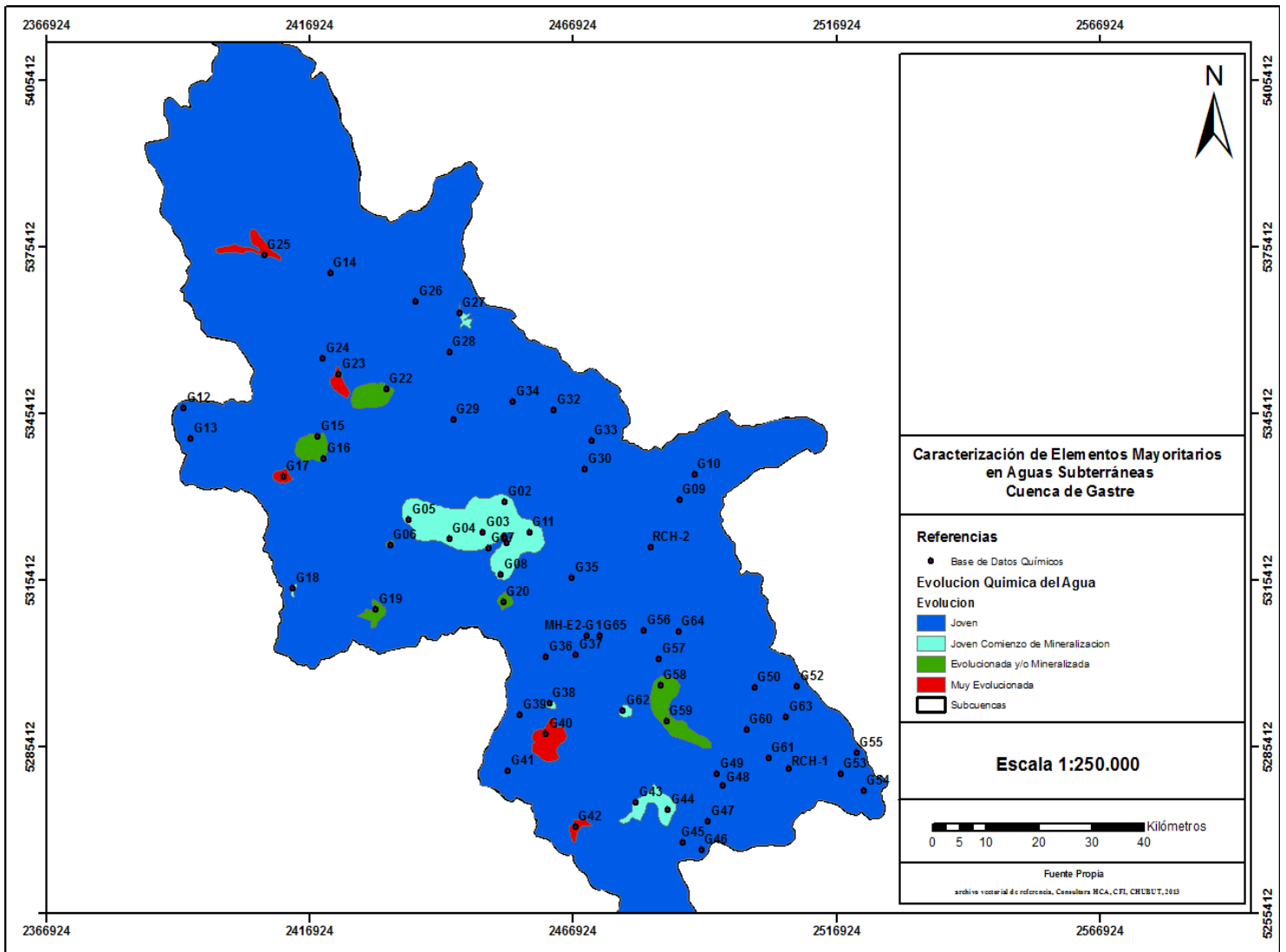


Figura 13. Mapa de evolución química de agua subterránea

## 9 CONCLUSIONES

La evolución hidroquímica del acuífero libre está condicionada por la geología, textura, espesor y ubicación del relleno cuaternario, mezcla de aguas de diverso origen y procesos físico-químicos intervinientes. En rasgos generales son aguas jóvenes, poco evolucionadas, de rápida circulación.

La cuenca de Gastre presenta facies bicarbonatada cálcica y/o magnésica como dominante y escasa evolución geoquímica, donde, sectores acuíferos que muestran facies sulfatadas se vinculan principalmente con disolución de sales evaporíticas, en menor proporción precipitación de estas, y mineralización debido a mayor permanencia en el acuífero. Las facies cloruradas se encuentran afectadas a zonas de descarga subterránea, concentración de sales en superficie por ascenso capilar y precipitación debido a: evaporación, cambios de pH y temperatura.

Las modificaciones en la composición química a lo largo del flujo subterráneo es consecuencia de la concentración de sales, precipitación de yeso, halita o carbonato cálcico, intercambio catiónico, incorporación de iones por hidrólisis de silicatos ferromagnesianos y calco-sódicos, en menor grado oxidación de sulfuros.

Durante el intercambio catiónico se aportan iones sodio al agua y retención por parte del medio físico de iones calcio y magnesio, provocan ablandamiento. El endurecimiento del agua es producto de la hidrólisis de silicatos cálcicos y por disolución de yeso.

Los procesos hidroquímicos mencionados contribuyen a identificar las áreas de recarga que se encuentran presentes en los frentes montañosos, zonas de pie de monte y planicies aluviales, principalmente donde los sedimentos granulares son gruesos, permitiendo infiltración directa de agua meteórica al acuífero libre. En los sectores montañosos, serranos y sobre afloramientos lávicos, se produce hidrólisis de silicatos calcosódicos en granitos paleozoicos e hidrólisis de silicatos ferromagnesianos en vulcanitas básicas. La recarga en la zona de planicie aluvial genera renovación del agua subterránea, dilución de aguas salobres y disolución de sales superficiales concentradas en las salinas y mallines salinos. Los escoriales, determinados sectores de planicies aluviales y planicies fluviales, representan las zonas de tránsito donde existe mayor tiempo de contacto entre el agua subterránea y el medio físico. La zona de descarga se encuentra representada por salinas o mallines salinos, muestran facies cloruradas como dominantes y sulfatadas restringidas a la periferia de estos ambientes.

La cuenca de Gastre, al ser una cuenca endorreica, permite que cada nivel de base local actúe como sistema de evaporación y concentrador de sales.

En cada subcuenca se reconoce ámbitos de recarga disímiles, las aguas atraviesan sectores compuestos por sedimentos de variada porosidad y composición química constituyendo aguas de diferente origen. Sobre estas, actúan diversos procesos químicos, se producen mezclas que provocan dilución o incremento en la concentración iónica dependiendo del volumen que aporte cada sector.

La geología y geomorfología juega un rol destacado en la cuenca, el sentido y dirección del flujo hidrodinámico en determinados ambientes discrepa del flujo hidroquímico.

## 10 FUENTES CONSULTADAS

- Bianchi, E., H., Corporación de Fomento del Chubut, CORFO, (2012).** “Plan Agua – Áreas afectadas por ceniza volcánica”. Informe final de perforaciones.
- Bilmes, A., (2012).** “Caracterización estratigráfica, sedimentológica y estructural del sistema de bajos neógenos de Gastre, provincias de Río Negro y de Chubut”. 1ª Ed. La Plata: Universidad Nacional de La Plata, pag. 193.
- Bilmes, A., D’Elia, L., Veiga, G., Franzese, J., (2014).** Relleno intermontano en el antepaís fragmentado patagónico: Evolución neógena de la cuenca de Gastre. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 71 (3): 311-330.
- Calvetty Ambini, B., Bianchi, E. H., (2016).** “Prospección Geoeléctrica en la Cuenca de Gastre” IX Congreso Argentino de Hidrogeología. *Hidrogeología regional*. Ed. Científica Universitaria, pag. 45-53
- Cerón García, J. C., Pulido Bosch, A., Padilla, A., (1993).** “Caracterización hidroquímica y análisis de los Estados de equilibrio Termodinámico en Aguas Termominerales de Alhama de Murcia” *Estudios Geol.*, 49: 49-61.
- CNEA, (1990b).** “Estudio de Factibilidad y Anteproyecto de Ingeniería, 26-Anexo 13 Hidrología”. Comisión Nacional de Energía Atómica, Buenos Aires.
- Coira, B.I, Nullo, F., Proserpio, C., Ramos, V.A., (1975).** “Tectónica de basamento en la región occidental del Macizo Nordpatagónico (Prov. de Río Negro y Chubut) República Argentina”. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 30(3): 361-383.
- Colombani, E., Arbuniés, R., (2008).** Distribución de las Precipitaciones en la Provincia del Chubut. XII Reunión Argentina de Agrometeorología.
- Custodio, E., Llamas, M. R., (1983).** “Hidrología Subterránea”. Ed. Omega, Barcelona. Tomo I.
- Dalla Salda, L.H. y Franzese, J., (1987).** “Las megafracturas del Macizo y la Cordillera nordpatagónica y la génesis de las cuencas volcano-sedimentarias terciarias”. *Revista Geológica de Chile*, 31: 3-13. Dirección General de Minas y Geología, Ministerio de Ambiente y Control del Desarrollo Sustentable, (2010-2011). Relevamiento de Cuencas. Provincia del Chubut.
- Estación Experimental Agropecuaria Esquel, INTA, (2010).** Análisis del clima en la provincia de Chubut.
- Fernández Escalante, E., (2009).** “Los hidrogramas y otros sistemas de representación del quimismo de las aguas”. Ed. Grafínat,. Edición 2.
- HCA Consultora S.R.L., Consejo Federal de Inversiones, (2013-2014).** “Mapa Hidrogeológico de la Provincia del Chubut – Cuencas de Gastre y Sacanana” Fase I, Etapas 1 y 2. Informes Finales.
- Lince Klinger, F. et al., (2011).** *Modelo gravimétrico en la fosa de Gastre*, provincia de Chubut, Argentina. *Boletín Geológico y Minero*, 122 (3): 299-310.
- Proserpio, C.A, (1978).** “Descripción geológica de la Hoja 42d, Gastre, Provincia del Chubut (1:200000)”. Ministerio de Economía, Secretaría del Estado de Minería, *Boletín*, 159: 76.