



Universidad  
Católica del Norte

Facultad Ciencias del Mar  
Ing. En Prevención de Riesgos y M.A



# **ANÁLISIS RELACIONAL DE LAS CARACTERÍSTICAS HIDROGEOQUÍMICAS DEL ACUÍFERO ELQUI BAJO CON SU ESTADO DE SALINIZACIÓN**

**GONZALO ESCOBAR RODRÍGUEZ  
FABIÁN HERNÁNDEZ ORTIZ  
MACARENA JULIO BERRIOS**

**PROFESOR GUÍA: ERNESTO CORTÉS PIZARRO  
PROFESORES CORRECTORES: ÁLVARO PACHECO HODGES  
OSVALDO MIRANDA ELDAN**

**AÑO 2018**

# INTRODUCCIÓN

El 21% del agua dulce continental es subterránea

- Son explotados para diversos usos



La Región de Coquimbo presenta periodos de sequía

- Demanda de recursos hídricos subterráneos

Acuífero Elqui

- Importante fuente de agua en la región

Está constantemente en contacto con el entorno

- Se puede ver alterada su composición química



# OBJETIVOS



## OBJETIVO GENERAL

- Realizar un análisis relacional del estado de salinización presente en el acuífero Elqui Bajo con factores y características hidrogeoquímicas presentes en el lugar

## OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Recopilar información bibliográfica de la zona de estudio, características de la hidrología, hidroquímica y geológicas del acuífero Elqui Bajo
- Establecer criterios de evaluación del estado de salinización en el acuífero Elqui Bajo
- Analizar el estado de salinización en el acuífero Elqui Bajo
- Correlacionar las características hidrogeoquímicas con el estado de salinización del acuífero Elqui Bajo



# METODOLOGÍA

## Recopilación de información bibliográfica de la zona de estudio, características de la hidrología, hidroquímica y geológicas del acuífero Elqui Bajo



Información sobre hidrología, hidroquímica y características geológicas del acuífero Elqui Bajo



Criterios de salinización



Datos históricos de parámetros hidroquímicos del acuífero Elqui Bajo



Normas de calidad de aguas

**Tabla I.** Formato de organización de información encontrada

Tema	Descripción del tema	Título	Bibliografía

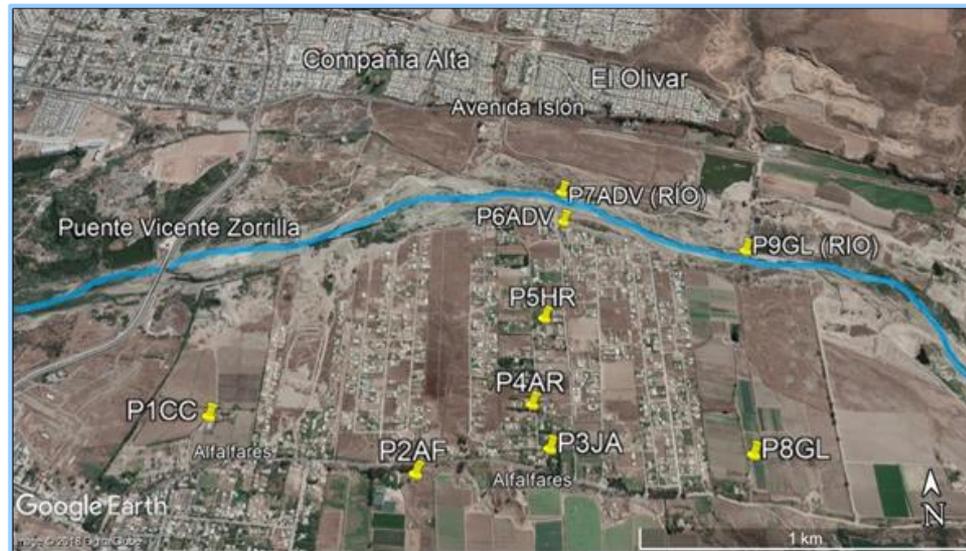
(Fuente: Elaboración propia)



### Sector de estudio

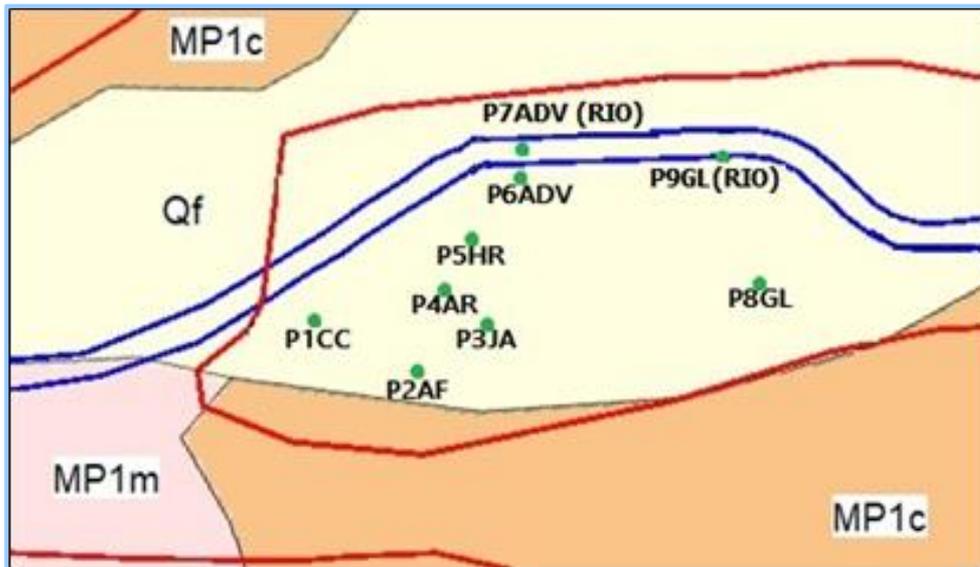


**Figura 1.** Zona de estudio  
(Fuente: Informe técnico n°47, DGA, 2007)



**Figura 2.** Puntos de muestreo  
(Fuente: Elaboración propia)

### Geología del sector de estudio



**Figura 3.** Ubicación de puntos de muestreo en mapa geológico con zoom en sector de estudio

(Fuente: Adaptado de mapa geológico de Chile, 2003)

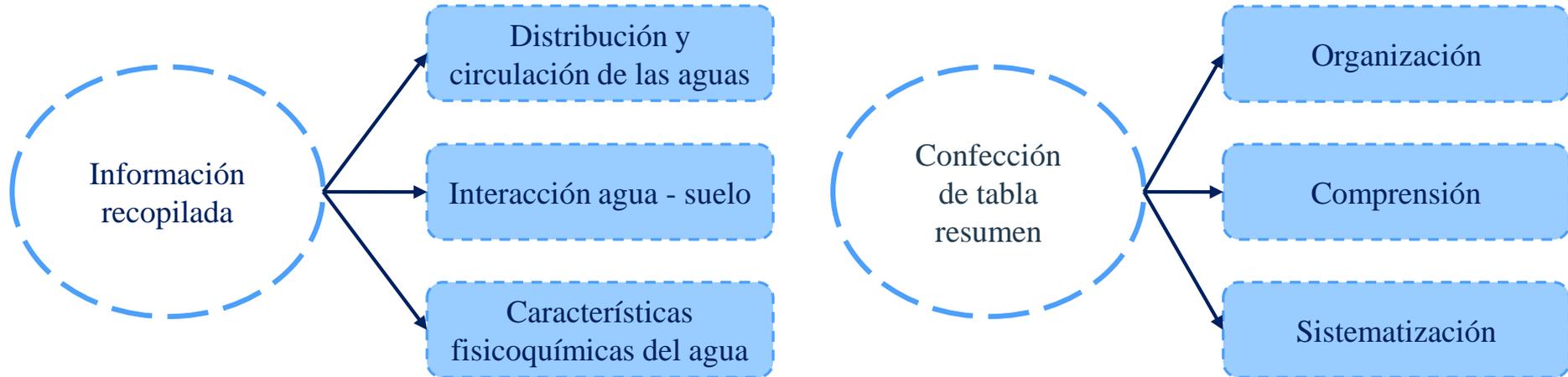
**Tabla II.** Resumen de leyenda del mapa geológico de Chile

Simbología	Descripción
Qe	<u>Pleistoceno-Holoceno</u> Depósitos eólicos: arenas finas, dunas y barjanes tanto activos como inactivos.
Qf	<u>Pleistoceno-Holoceno</u> Depósitos fluviales: gravas, arenas y limos
MP1c	<u>Mioceno Superior-Plioceno</u> Secuencias sedimentarias fluviales: conglomerados, areniscas y limolitas.
MP1m	<u>Mioceno Superior- Plioceno</u> Secuencias sedimentarias: areniscas, limolitas, coquinas, conglomerados, calizas y fangolitas.

(Fuente: Elaboración propia)

# DISCUSIÓN

## Recopilación de información bibliográfica de la zona de estudio, características de la hidrología, hidroquímica y geológicas del acuífero Elqui Bajo



# OBJETIVOS



## OBJETIVO GENERAL

- Realizar análisis relacional del estado de salinización presente en el acuífero Elqui Bajo con factores y características hidrogeoquímicas presentes en el lugar

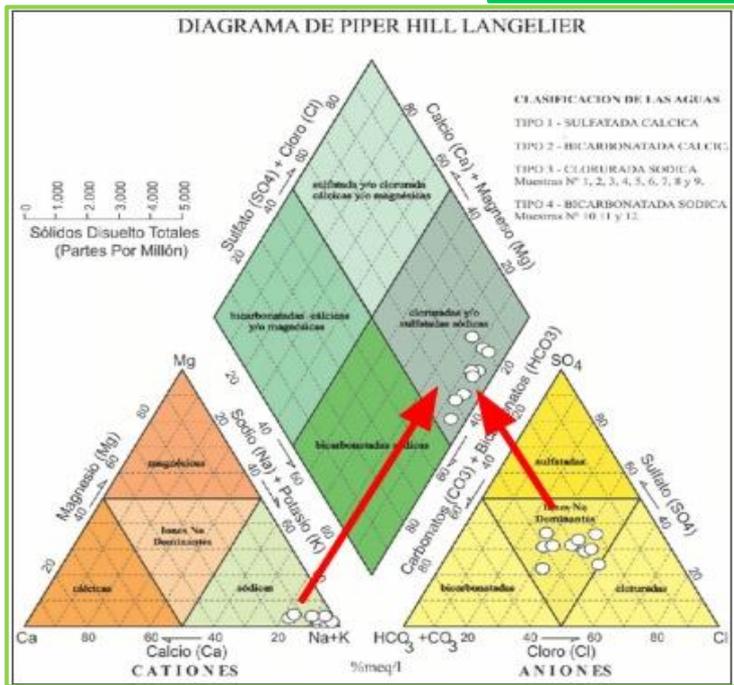
## OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Recopilar información bibliográfica de la zona de estudio, características de la hidrología, hidroquímica y geológicas del acuífero Elqui Bajo
- Establecer criterios de evaluación del estado de salinización en el acuífero Elqui Bajo
- Analizar el estado de salinización en el acuífero Elqui Bajo
- Correlacionar las características hidrogeoquímicas con el estado de salinización del acuífero Elqui Bajo

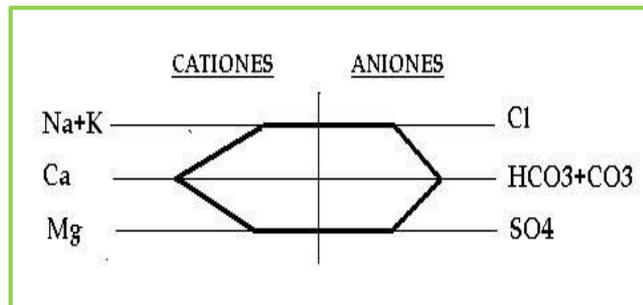




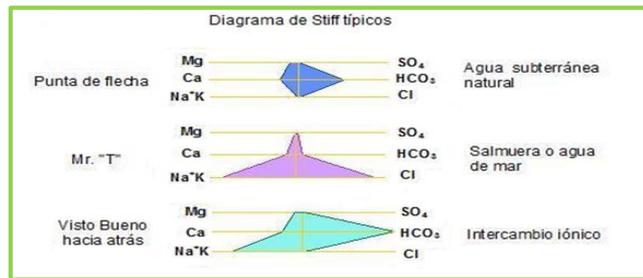
### Criterio de homogeneidad



**Figura 4.** Diagrama de Piper-Hill (Fuente: Fagundo et al, 2013)



**Figura 5.** Distribución de iones según diagrama de Stiff (Fuente: Fagundo et al, 2013)



**Figura 6.** Diagrama de Stiff, formas típicas (Fuente: Fagundo et al, 2013)



### Criterio de homogeneidad

**Tabla III.** Evaluación del grado de homogeneidad según diagrama de Piper - Hill Langelier

Número de tipos de agua	Grado de homogeneidad	Puntuación
4 o más	Baja	1
3	Media	2
2	Alta	3
1	Muy alta	4

(Fuente: Elaboración propia)

**Tabla IV.** Evaluación del grado de homogeneidad según diagrama de Stiff

% del tipo de agua predominante	Grado de homogeneidad	Puntuación
[ <40 ]	Baja	1
[40 – 60]	Media	2
[60 – 80]	Alta	3
[80 – 100]	Muy alta	4

(Fuente: Elaboración propia)



### Determinación de grado de homogeneidad

**Tabla V.** Determinación de grado de homogeneidad

Homogeneidad según Piper – Hill	Homogeneidad según Stiff	Grado de homogeneidad

(Fuente: Elaboración propia)

**Tabla VI.** Interpretación de escala de Likert para la determinación del grado de homogeneidad

Puntuación	Grado de homogeneidad
1	Baja
2	Media
3	Alta
4	Muy Alta

(Fuente: Elaboración propia)



### Criterio de salinización

**Tabla VII.** Evaluación del grado de salinización según conductividad eléctrica

Conductividad específica, uS/cm	Clasificación según grado de salinización	Puntuación
$C \leq 750$	Baja	1
$750 < C \leq 1500$	Media	2
$1500 < C \leq 3000$	Alta	3
$3000 < C \leq 7500$	Muy Alta	4

(Fuente: Adaptado de la NCh 1333/87)

**Tabla VIII.** Evaluación del grado de salinización según dureza

CaCO <sub>3</sub> (mg/L)	Nivel de dureza	Grado de salinización	Puntuación
0-60	Blanda	Baja	1
61-120	Media	Media	2
121-180	Dura	Alta	3
>180	Muy dura	Muy alta	4

(Fuente: Adaptado de la OMS)

## Determinación de grado de salinización

**Tabla IX.** Determinación de grado de salinización

Salinización según conductividad	Salinización según dureza	Grado de salinización

(Fuente: Elaboración propia)

**Tabla X.** Interpretación de escala de Likert para la determinación del grado de salinización

Puntuación	Grado de salinización
1	Baja
2	Media
3	Alta
4	Muy Alta

(Fuente: Elaboración propia)



### Determinación de estado de salinización

**Tabla XI.** Determinación de estado de salinización

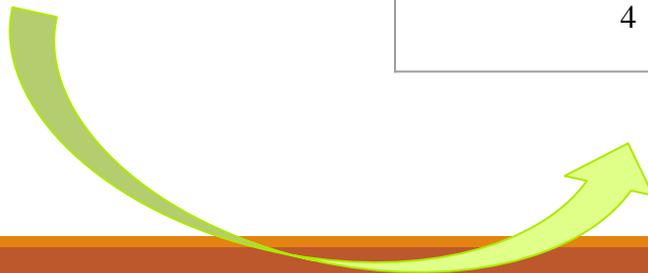
Grado de homogeneidad	Grado de salinización	Estado de salinización

(Fuente: Elaboración propia)

**Tabla XII.** Evaluación de estado de salinización

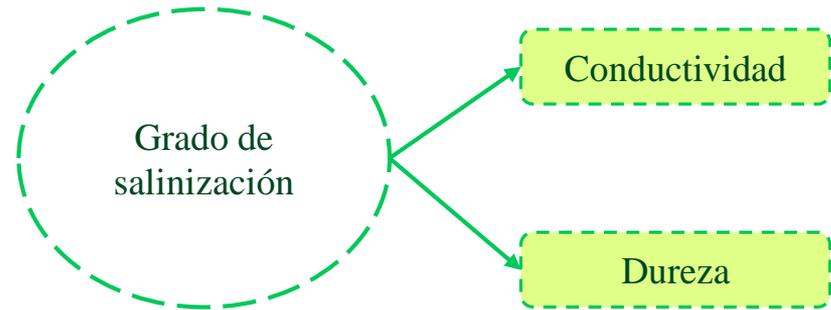
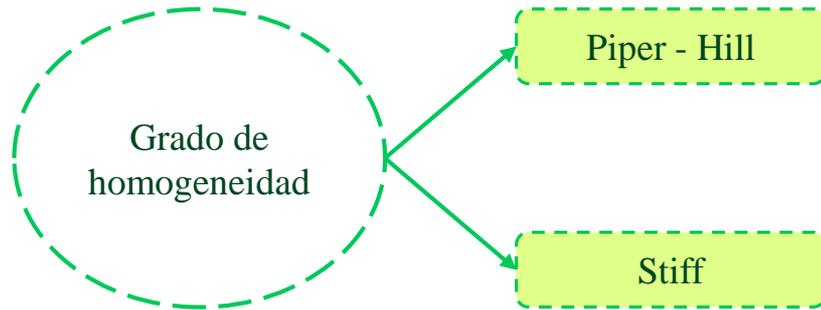
Puntuación	Estado de salinización
1	Baja
2	Media
3	Alta
4	Muy Alta

(Fuente: Elaboración propia)



# DISCUSIÓN

## Establecimiento de criterios de evaluación del estado de salinización en el acuífero Elqui Bajo



# OBJETIVOS



## OBJETIVO GENERAL

- Realizar análisis relacional del estado de salinización presente en el acuífero Elqui Bajo con factores y características hidrogeoquímicas presentes en el lugar

## OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Recopilar información bibliográfica de la zona de estudio, características de la hidrología, hidroquímica y geológicas del acuífero Elqui Bajo
- Establecer criterios de evaluación del estado de salinización en el acuífero Elqui Bajo
- Analizar el estado de salinización en el acuífero Elqui Bajo
- Correlacionar las características hidrogeoquímicas con el estado de salinización del acuífero Elqui Bajo



### OBTENCIÓN DE DATOS



**Figura 7.** Fotografía toma de muestra  
(Fuente: Elaboración propia)



**Figura 8.** Fotografía toma de muestra  
(Fuente: Elaboración propia)



**Figura 9.** Fotografía toma de muestra  
(Fuente: Elaboración propia)



**Figura 10.** Logo laboratorio Actlabs Ltda.  
(Fuente: Actlabs)

### ANÁLISIS ESTADÍSTICO

#### Estadística descriptiva

- *In situ*
- Laboratorio



#### Estadística Inferencial

- Pruebas paramétricas
- Comparación múltiple
- Componentes principales



### Evaluación del estado de salinización en acuífero Elqui Bajo

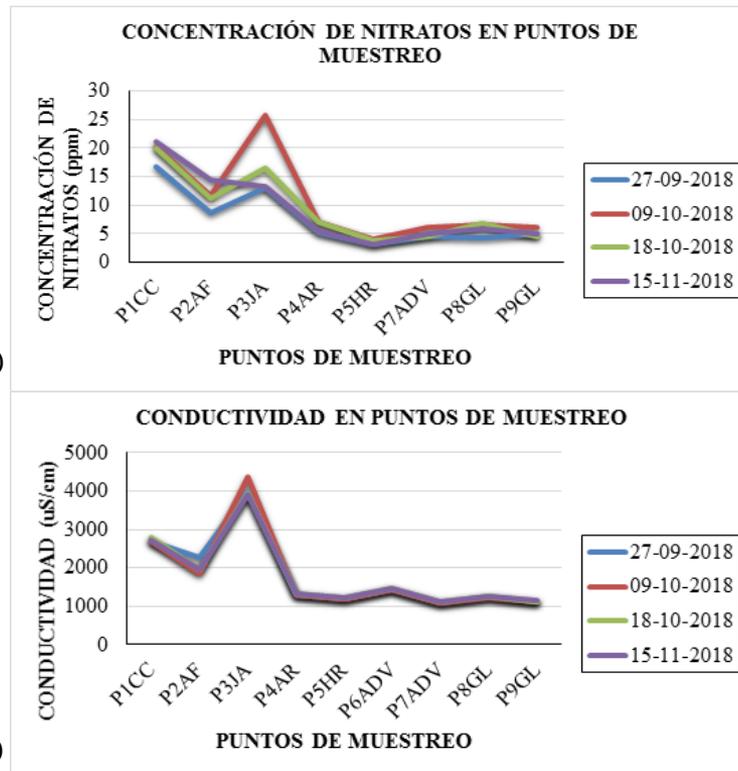


### Estadística descriptiva (datos *in situ*)

**Tabla XIII.** Resumen de estadística descriptiva para datos *in situ*

	Conductividad (uS/cm)	pH	Temperatura (°C)	Nitratos (ppm)	DO (%)	ORP (mV)
Número de datos	36	36	36	33	36	36
Promedio	1797,53	7,35	19,76	9,05	72,96	33,72
Desviación estándar	959,75	0,70	1,71	6,22	19,29	11,59
Coefficiente de variación	53%	10%	15%	69%	26%	34%

(Fuente: Elaboración propia)



**Figura 11.** Variación de parámetros *in situ* a través del tiempo (Fuente: Elaboración propia)

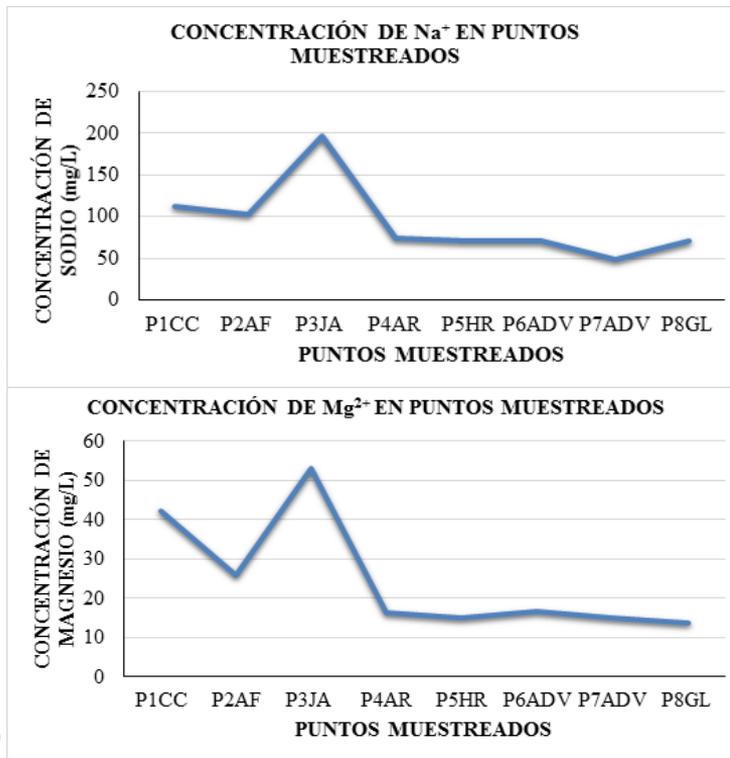


### Estadística descriptiva (datos laboratorio)

**Tabla XIV.** Resumen de estadística descriptiva para datos de laboratorio

	[Na <sup>+</sup> ] (mg/L)	[Mg <sup>2+</sup> ] (mg/L)	[K <sup>+</sup> ] (mg/L)	[Ca <sup>2+</sup> ] (mg/L)	[Cl <sup>-</sup> ] (mg/L)	[NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ] (mg/L)	[SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ] (mg/L)	[HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ] (mg/L)
Número de datos	8	8	8	8	8	8	8	8
Promedio	93,43	24,81	3,13	96,43	214,59	41,35	391,45	206,59
Desviación estándar	46,06	14,89	0,92	67,51	195,46	24,13	193,94	43,55
Coefficiente de variación	49%	60%	30%	70%	91%	58%	50%	21%

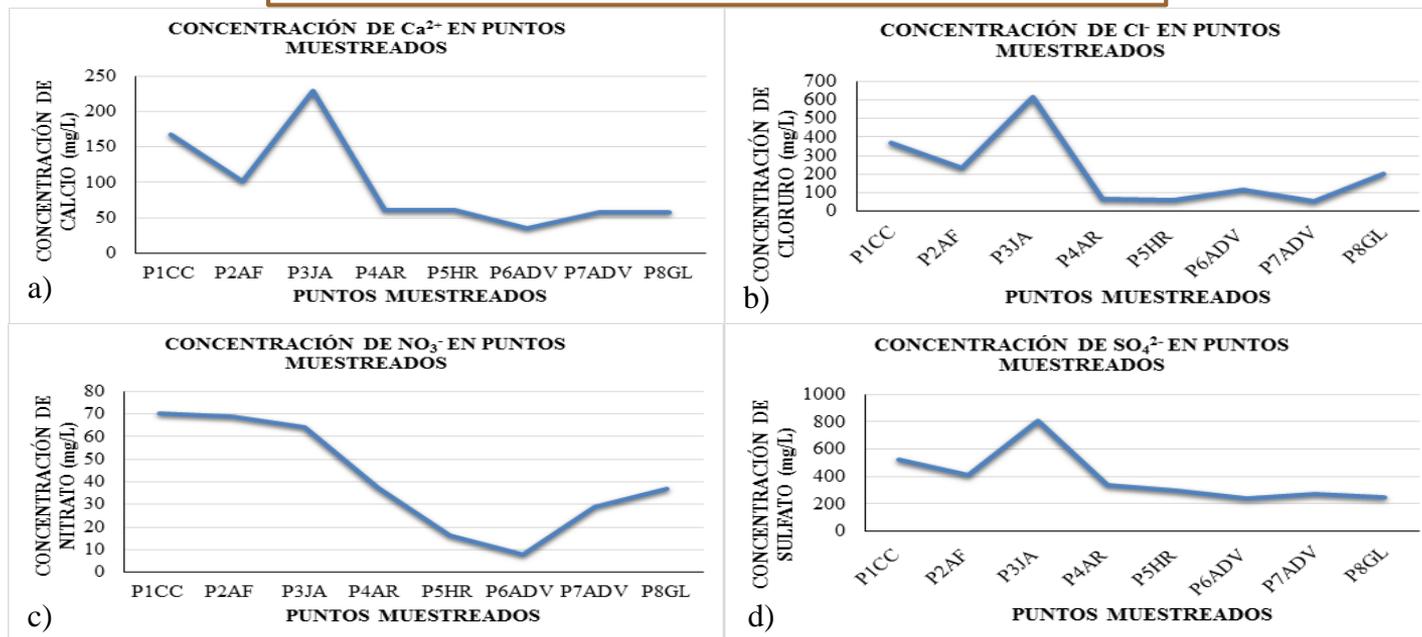
(Fuente: Elaboración propia)



**Figura 12.** Variación de iones obtenidos de laboratorio (Fuente: Elaboración propia)



### Estadística descriptiva (datos laboratorio)



**Figura 13.** Variación de iones obtenidos de laboratorio  
(Fuente: Elaboración propia)



### Estadística inferencial

**DATOS PARAMÉTRICOS** → %DO

ANOVA de una vía

No se presentaron diferencias significativas

Test de Tukey

No fue necesario

**DATOS NO PARAMÉTRICOS** → pH, conductividad, ORP, temperatura y nitratos

Kruskal Wallis

Todos los parámetros presentan diferencias significativas

Prueba de Mann – Whitney

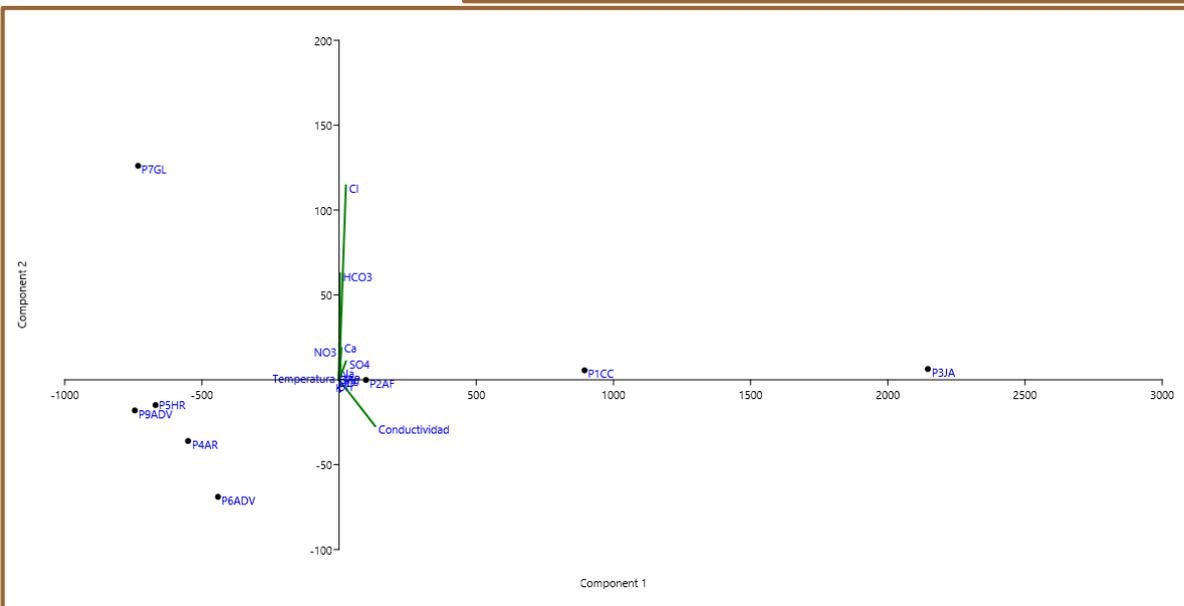
Por lo general, todos los puntos de muestreo presentan diferencias entre sí, exceptuando los puntos P7ADV y P9GL (ríos).



### Análisis de componentes principales

**Tabla XV.** Resumen del comportamiento de los componentes principales

	PC1	PC2
Ca <sup>2+</sup>	0.063	0.137
Mg <sup>2+</sup>	0.014	0.003
Na <sup>+</sup>	0.043	0.062
K <sup>+</sup>	0.001	-0.001
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0.023	0.458
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	0.184	0.079
Cl <sup>-</sup>	0.182	0.839
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0.017	0.122
Conductividad	0.962	-0.199
pH	-0.001	0.005
DO	0.001	0.022
ORP	-0.001	0.034
Temperatura	-0.001	0.008

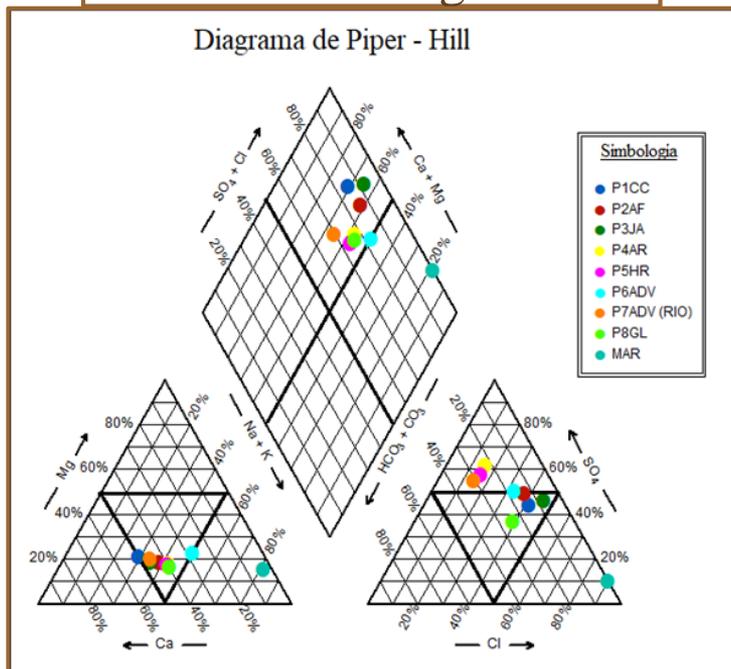


**Figura 14.** Análisis de componentes principales  
(Fuente: Elaboración propia)

(Fuente: Elaboración propia)



### Grado de homogeneidad



**Figura 15.** Aplicación del diagrama de Piper - Hill con los puntos de muestreo del sector de estudio  
(Fuente: Elaboración propia)

### TIPOS DE AGUA

- Sulfata cálcica → P1CC, P2AF
- Sulfatada sódica → P4AR, P5HR, P6ADV
- Clorurada cálcica → P3JA
- Clorurada sódica → P8GL

**Tabla XVI.** Evaluación del grado de homogeneidad según el diagrama de Piper - Hill

Número de tipos de agua	Grado de homogeneidad	Evaluación del grado de homogeneidad
4 o más	Baja	1
3	Media	2
2	Alta	3
1	Muy alta	4

(Fuente: Elaboración propia)



### Grado de homogeneidad

**Tabla XVII.** Resumen de la tipificación del cuerpo de agua según el diagrama de Stiff

Nombre de punto de muestreo	Diagrama de Stiff	Interpretación
P1CC		Intercambio iónico
P2AF		Intercambio iónico
P3JA		Intercambio iónico
P4AR		No clasifica
P5HR		No clasifica
P6ADV		No clasifica
P8GL		Intercambio iónico

(Fuente: Elaboración propia)

### CLASIFICACIÓN DE AGUA

Intercambio iónico → P1CC, P2AF, P3JA, P8GL (57%)

No clasifica → P4AR, P5HR, P6ADV (43%)

**Tabla XVIII.** Evaluación del grado de homogeneidad según el diagrama de Stiff

% del tipo de agua predominante	Grado de homogeneidad	Evaluación del grado de homogeneidad
[ <40 ]	Baja	1
[ 40 - 60 ]	Media	2
[ 60 - 80 ]	Alta	3
[ 80 - 100 ]	Muy alta	4

(Fuente: Elaboración propia)

### Grado de salinización



**Tabla XIX.** Clasificación de grado de salinización por punto de muestreo según el valor de conductividad

Nombre del punto de muestreo	Conductividad (uS/cm)	Grado de salinización	Puntuación
P1CC	2718	Alta	3
P2AF	1998	Alta	3
P3JA	4062	Muy alta	4
P4AR	1313	Media	2
P5HR	1202	Media	2
P6ADV	1413	Media	2
P8GL	1226	Media	2

(Fuente: Elaboración propia)

**Tabla XX.** Evaluación del grado de salinización según la conductividad

Conductividad específica (uS/cm)	Clasificación según grado de salinización	Puntuación
$C \leq 750$	Baja	1
$750 < C \leq 1500$	Media	2
$1500 < C \leq 3000$	Alta	3
$3000 < C \leq 7500$	Muy Alta	4

(Fuente: Elaboración propia)

### Grado de salinización

**Tabla XXI.** Grado de salinización en los puntos de muestreo según concentración de dureza

Punto de muestreo	Dureza (mg/L)	Grado de salinización	Puntuación
P1CC	602,6	Muy alto	4
P2AF	359,2	Muy alto	4
P3JA	789,6	Muy alto	4
P4AR	220,6	Muy alto	4
P5HR	212,8	Muy alto	4
P6ADV	157,5	Alto	3
P8GL	201,6	Muy alto	4

(Fuente: Elaboración propia)

**Tabla XXII.** Evaluación del grado de salinización según el nivel de dureza

CaCO <sub>3</sub> (mg/L)	Nivel de dureza	Grado de salinización	Puntuación
0-60	Blanda	Baja	1
61-120	Media (moderadamente dura)	Media	2
121-180	Dura	Alta	3
>180	Muy dura	Muy alta	4

(Fuente: Elaboración propia)



### GRADO DE HOMOGENEIDAD

**Tabla XXIII.** Determinación de grado de homogeneidad

Subcriterio de Piper – Hill	Subcriterio de Stiff	Grado de homogeneidad
1 (bajo)	2 (medio)	Medio (1,5)

(Fuente: Elaboración propia)

### GRADO DE SALINIZACIÓN

**Tabla XXIV.** Determinación de grado de salinización

Subcriterio de conductividad	Subcriterio de dureza	Grado de salinización
2,6 (medio)	3,9 (muy alto)	Alto (3,3)

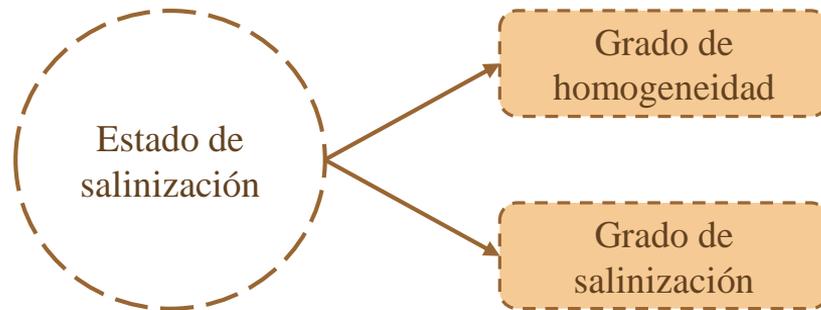
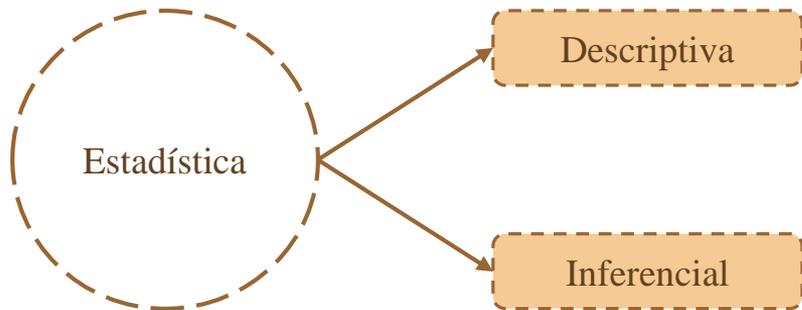
(Fuente: Elaboración propia)

**Tabla XXV.** Determinación de estado de salinización

Grado de homogeneidad	Grado de salinización	Estado de salinización
1,5 (medio)	3,3 (alto)	2,4 (MEDIO)

(Fuente: Elaboración propia)





# OBJETIVOS



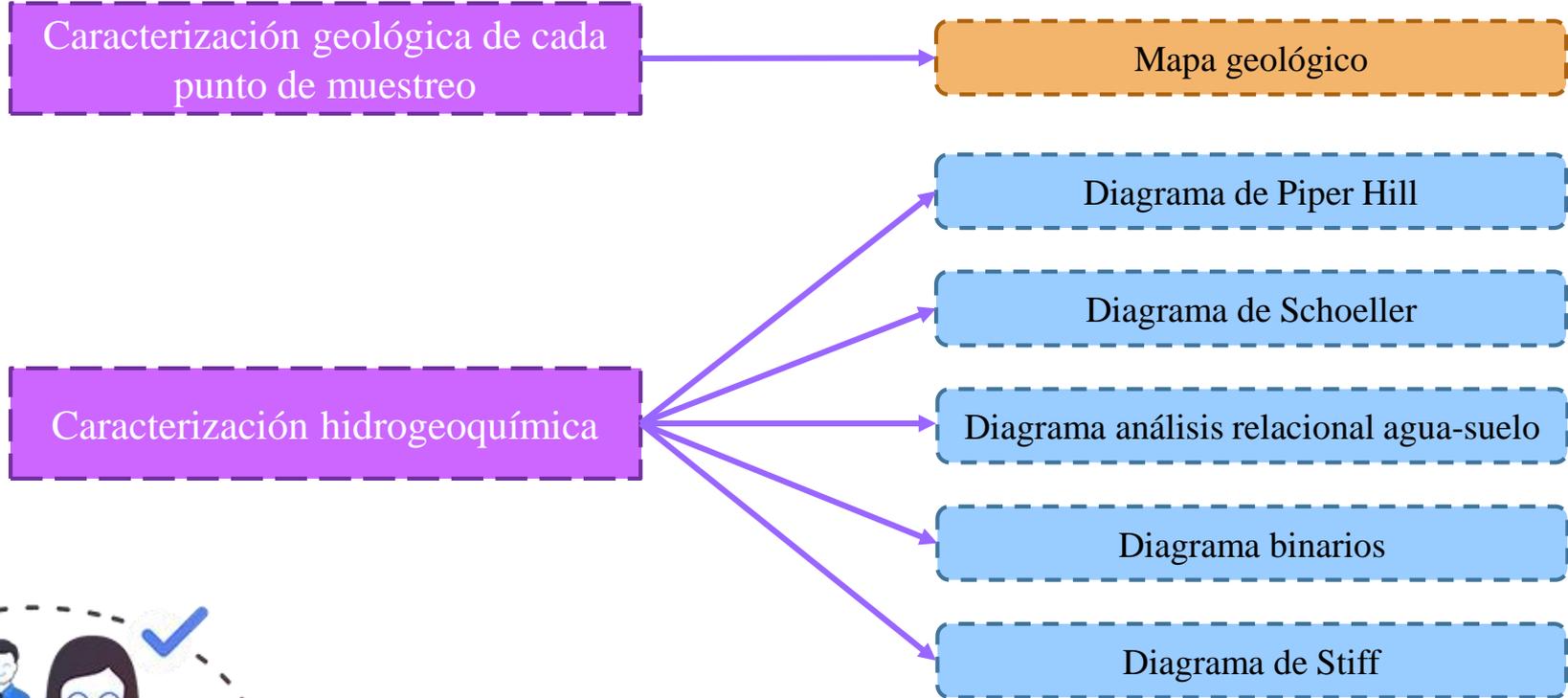
## OBJETIVO GENERAL

- Realizar análisis relacional del estado de salinización presente en el acuífero Elqui Bajo con factores y características hidrogeoquímicas presentes en el lugar

## OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Recopilar información bibliográfica de la zona de estudio, características de la hidrología, hidroquímica y geológicas del acuífero Elqui Bajo
- Establecer criterios de evaluación del estado de salinización en el acuífero Elqui Bajo
- Analizar el estado de salinización en el acuífero Elqui Bajo
- Correlacionar las características hidrogeoquímicas con el estado de salinización del acuífero Elqui Bajo

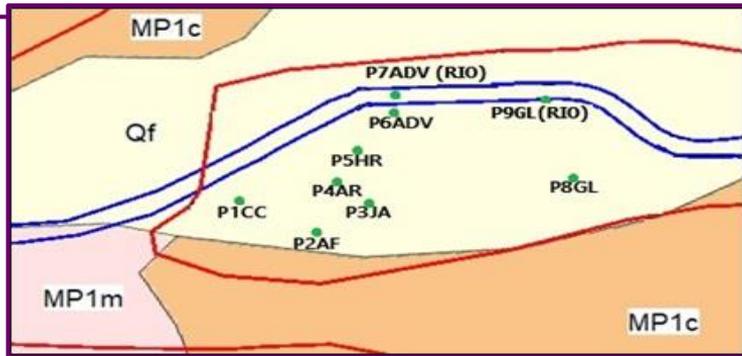




# RESULTADOS

## Correlacionar las características hidrogeoquímicas con el estado de salinización del acuífero Elqui Bajo

### Caracterización geológica de los puntos de muestreo



**Figura 16.** Ubicación de puntos de muestreo en mapa geológico con zoom en sector de estudio  
(Fuente: Adaptado de mapa geológico de Chile, 2003)

**Tabla XXVI.** Caracterización de puntos de muestreo según mapa geológico

Simbología	Nombre de punto de muestreo	Descripción
Qf	P1CC, P2AF, P3JA, P4AR, P5HR, P6ADV	Depósitos fluviales: gravas, arenas y limos

(Fuente: Elaboración propia)

### Caracterización hidrogeoquímica de los puntos de muestreo según diagrama de **Piper - Hill**

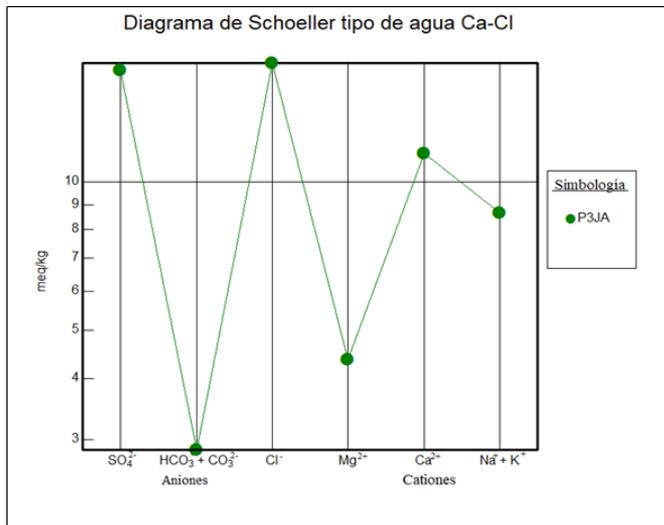
**Tabla XXVII.** Clasificación de los puntos de muestreo del área de estudio según tipos de agua y suelo

Tipo de agua	Puntos de muestreo	Tipo de suelo
Sulfatada cálcica	P1CC, P2AF, P7ADV (río)	Gravas, arenas y limos
Clorurada cálcica	P3JA	Gravas, arenas y limos
Sulfatada cálcica	P4AR, P5HR, P6ADV	Gravas, arenas y limos
Clorurada sódica	P8GL	Gravas, arenas y limos

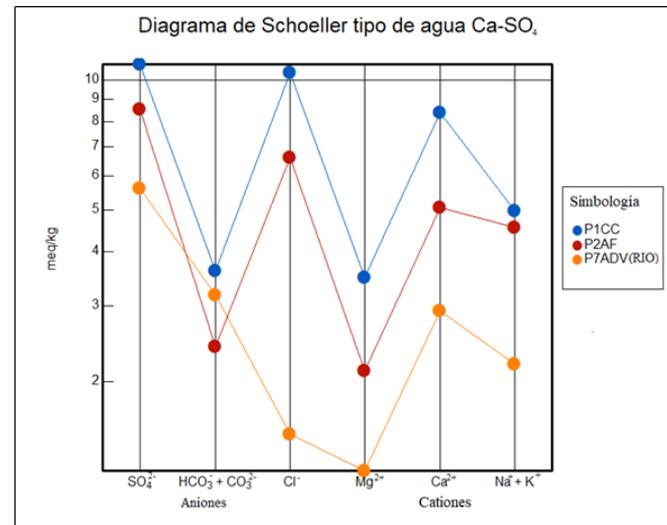
(Fuente: Elaboración propia)



### Caracterización hidrogeoquímica de los puntos de muestreo según diagrama de Schoeller



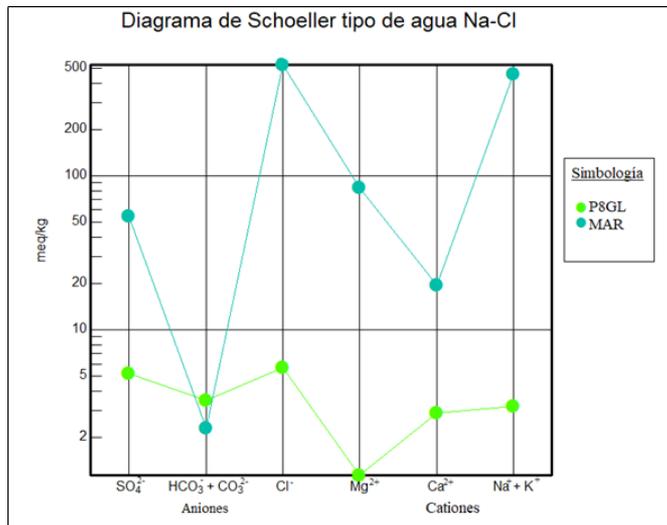
**Figura 17.** Diagrama de Schoeller según tipo de agua Clorurada Cálcica  
(Fuente: Elaboración propia)



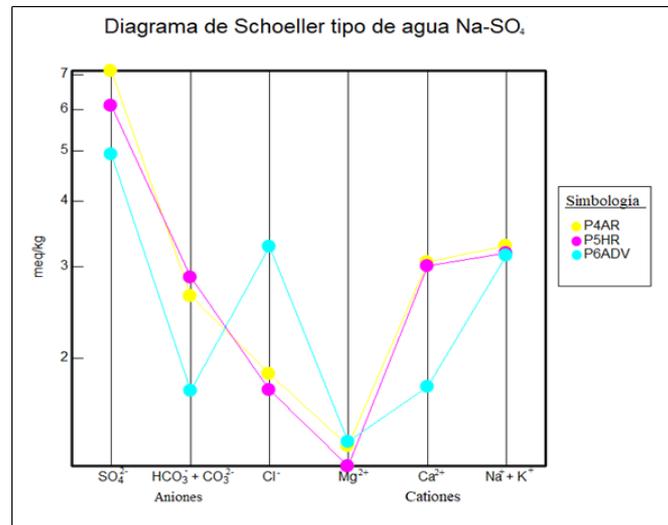
**Figura 18.** Diagrama de Schoeller según tipo de agua Sulfatada Cálcica  
(Fuente: Elaboración propia)



### Caracterización hidrogeoquímica de los puntos de muestreo según diagrama de Schoeller



**Figura 19.** Diagrama de Schoeller según tipo de agua Clorurada Sódica  
(Fuente: Elaboración propia)

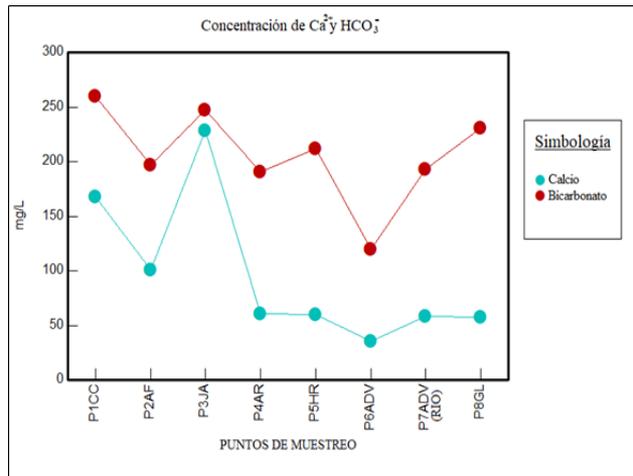


**Figura 20.** Diagrama de Schoeller según tipo de agua Sulfatada Sódica  
(Fuente: Elaboración propia)



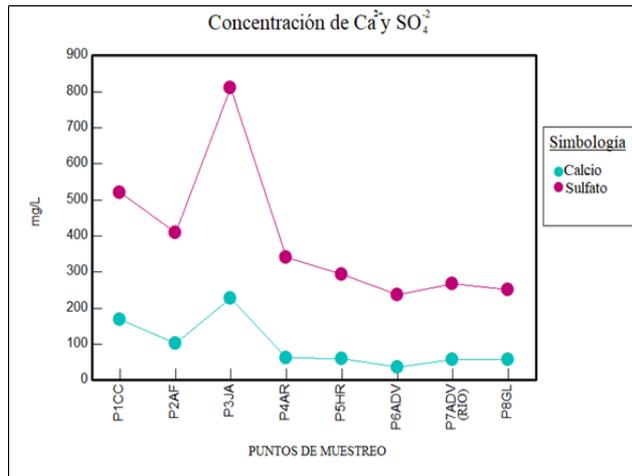
### Caracterización hidrogeoquímica de los puntos de muestreo según **análisis relacional agua - suelo**

#### Sedimentarias calcitas y aragonito



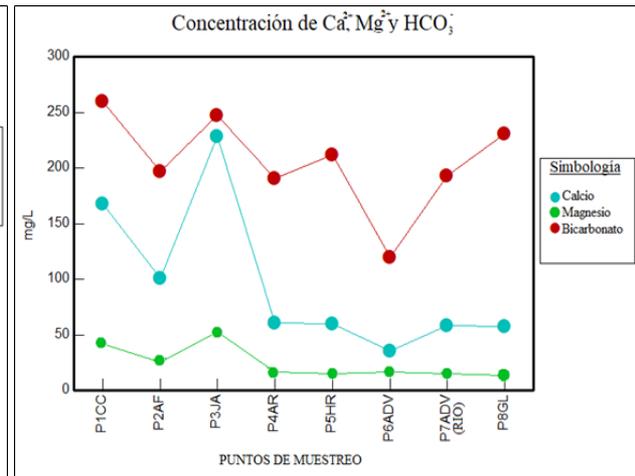
**Figura 21.** Diagrama de Schoeller según tipo de agua Clorurada Sódica  
(Fuente: Elaboración propia)

#### Sedimentarias yeso y anhidrita



**Figura 22.** Perfil de concentración de Calcio y Sulfato en puntos de muestreo  
(Fuente: Elaboración propia)

#### Sedimentarias dolomita



**Figura 23.** Perfil de concentración de Calcio, Magnesio y Bicarbonato en puntos de muestreo  
(Fuente: Elaboración propia)

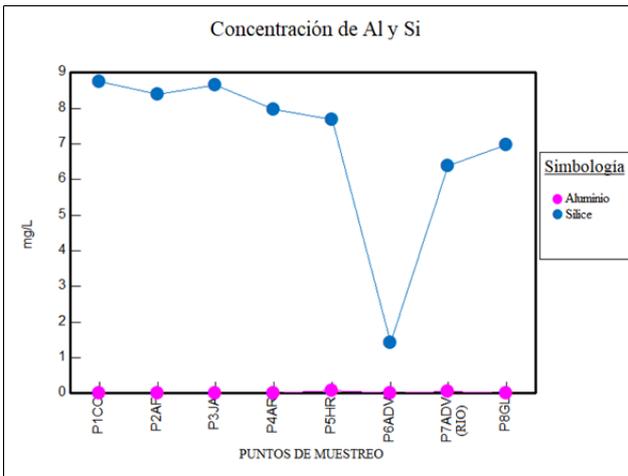


# RESULTADOS

## Correlacionar las características hidrogeoquímicas con el estado de salinización del acuífero Elqui Bajo

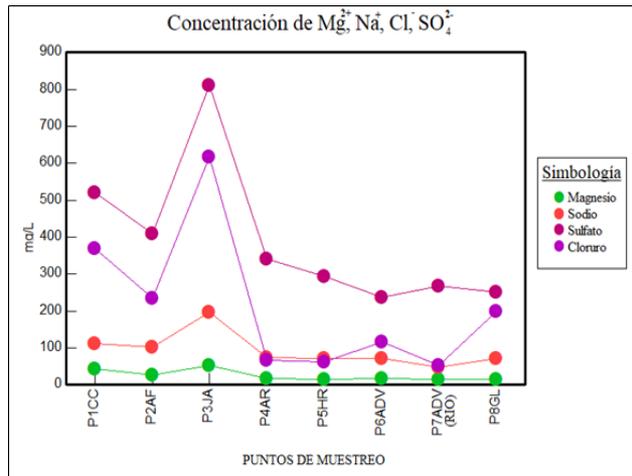
### Caracterización hidrogeoquímica de los puntos de muestreo según análisis relacional agua - suelo

#### Rocas ígneas Silicatos, Arcillas



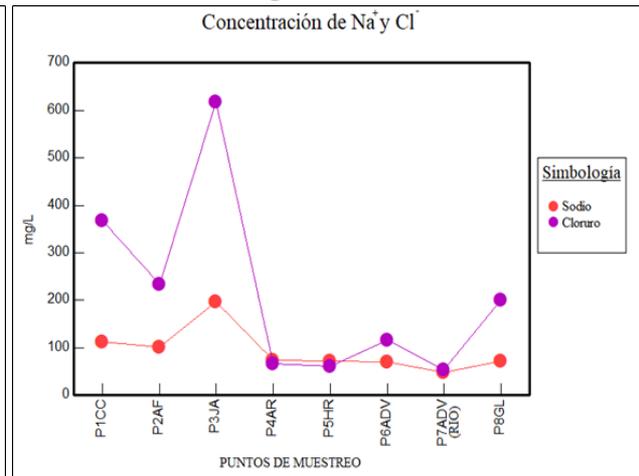
**Figura 24.** Perfil de concentración de Silicio y Aluminio en puntos de muestreo (Fuente: Elaboración propia)

#### Composición de ambiente marino



**Figura 25.** Perfil de concentración de Cloruro, Sodio, Magnesio y Sulfato en puntos de muestreo (Fuente: Elaboración propia)

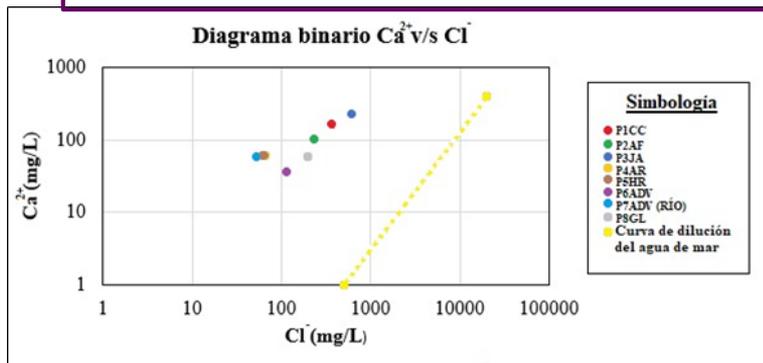
#### Agua de mar



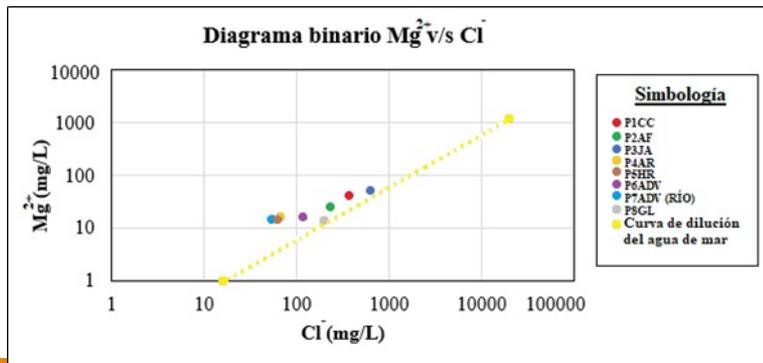
**Figura 26.** Perfil de concentración de Sodio y Cloruro en puntos de muestreo (Fuente: Elaboración propia)



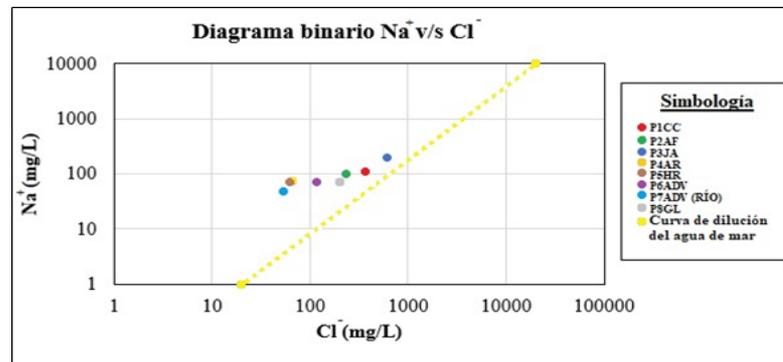
### Caracterización hidrogeoquímica de los puntos de muestreo según diagramas binarios



**Figura 27.** Diagrama binario  $\text{Ca}^{2+}$  (mg/L) v/s  $\text{Cl}^-$  (mg/L)  
(Fuente: Elaboración propia)



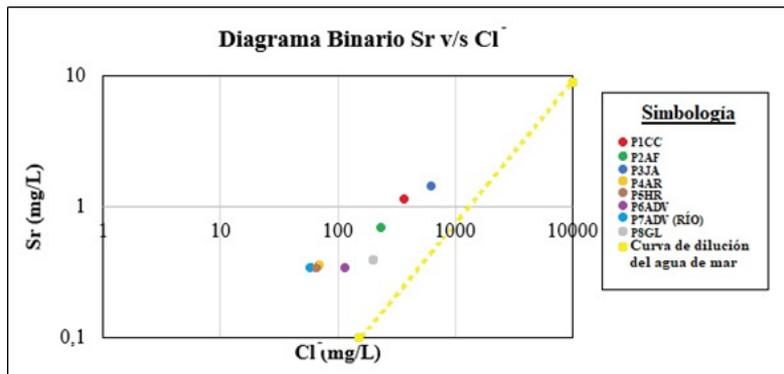
**Figura 28.** Diagrama binario  $\text{Mg}^{2+}$  (mg/L) v/s  $\text{Cl}^-$  (mg/L)  
(Fuente: Elaboración propia)



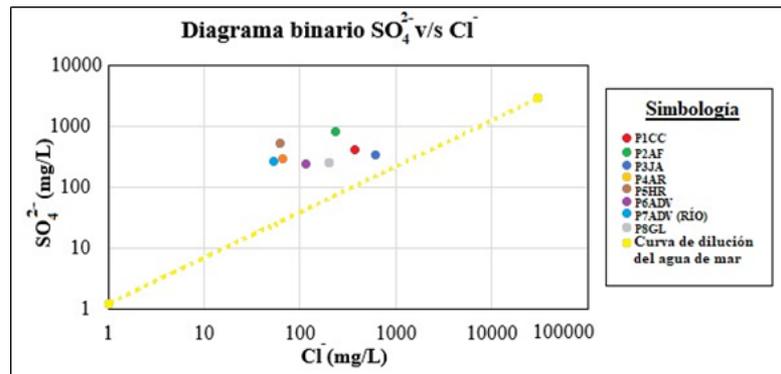
**Figura 29.** Diagrama binario  $\text{Na}^+$  (mg/L) v/s  $\text{Cl}^-$  (mg/L)  
(Fuente: Elaboración propia)



### Caracterización hidrogeoquímica de los puntos de muestreo según diagramas binarios



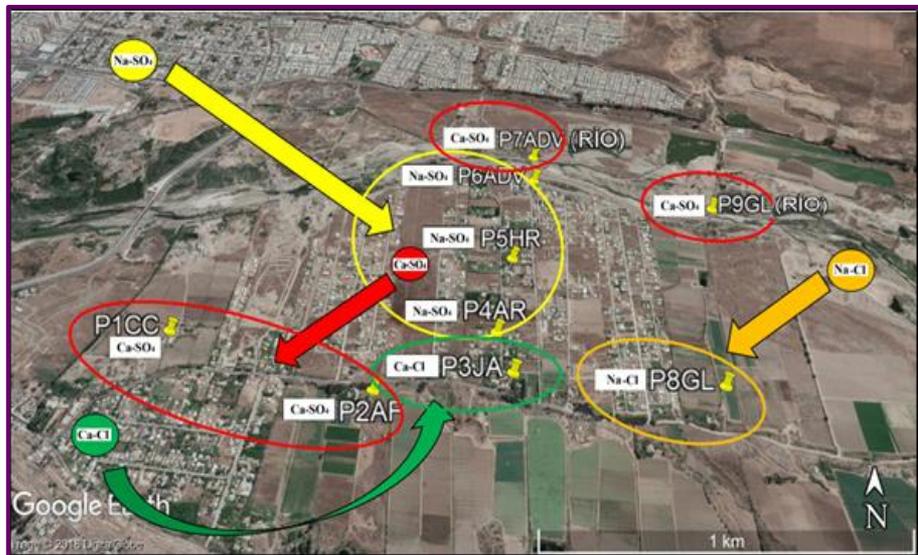
**Figura 30.** Diagrama binario Sr (mg/L) v/s Cl<sup>-</sup> (mg/L)  
(Fuente: Elaboración propia)



**Figura 31.** Diagrama binario SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> (mg/L) v/s Cl<sup>-</sup> (mg/L)  
(Fuente: Elaboración propia)



### Dinámica del acuífero Elqui Bajo



**Figura 32.** Dinámica del sector de estudio  
(Fuente: Elaboración propia)



**Figura 33.** Distribución de tipos de agua según estudios previos  
(Fuente: Elaboración propia)



**Figura 34.** Distribución de tipos de agua en estudio actual  
(Fuente: Elaboración propia)



# DISCUSIÓN

## Correlacionar las características hidrogeoquímicas con el estado de salinización del acuífero Elqui Bajo

Caracterización geológica

Caracterización hidrogeoquímica

P3 (Ca-Cl): presenta altas concentraciones de  $\text{SO}_4$

P4,P5,P6 (Na- $\text{SO}_4$ ): presenta altas concentraciones de  $\text{SO}_4$

P1, P2 (Ca- $\text{SO}_4$ ) : presenta altas concentraciones de cloruros.

P8 (Na-Cl): no presenta intrusión marina

P1,P2,P7 y P3 : presenta  $\text{HCO}_3^-$

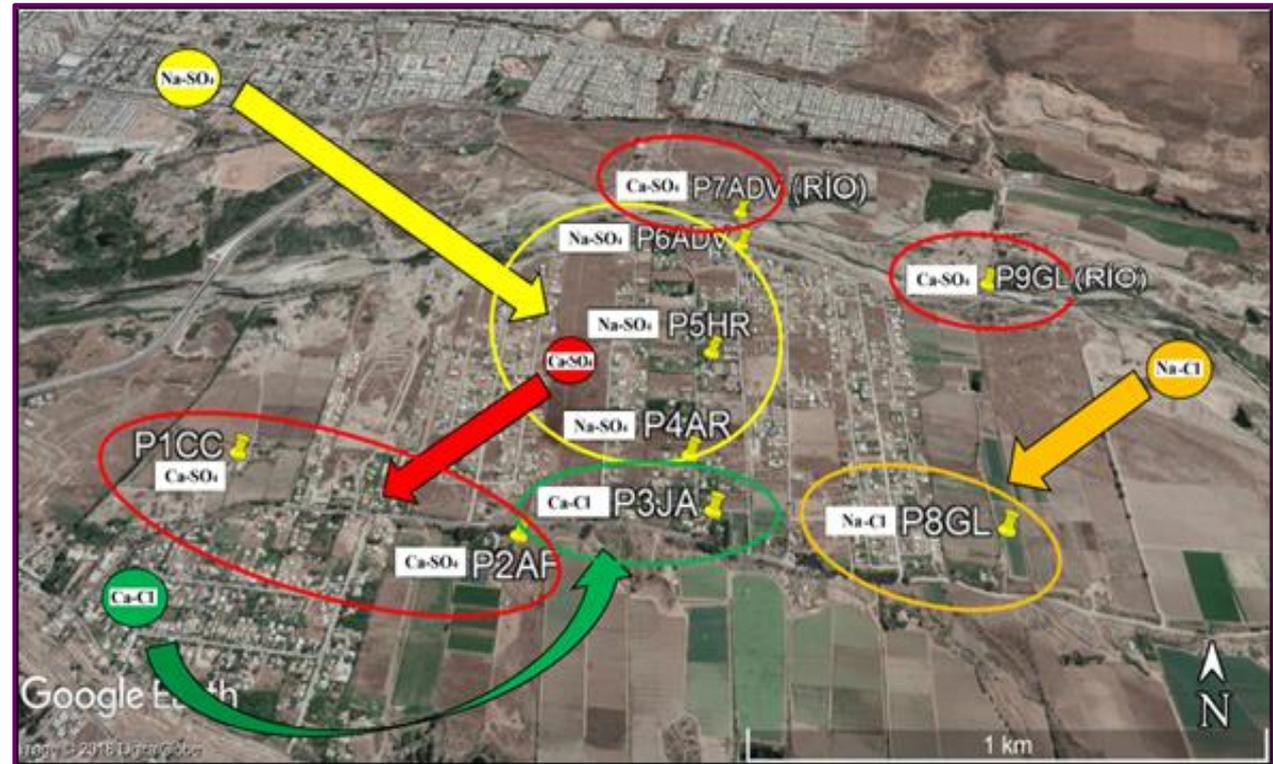


## DISCUSIÓN

Correlacionar las características hidrogeoquímicas con el estado de salinización del acuífero Elqui Bajo

Diagramas Binarios

Dinámica del acuífero



**Figura 35.** Dinámica del sector de estudio  
(Fuente: Elaboración propia)

## CONCLUSIONES

-Escasa información relacionada acuífero Elqui Bajo

-Sistematizar la información permitió dar un cumplimiento óptimo a los objetivos

-El grado homogeneidad y el grado de salinización permitieron describir el estado de salinización de forma efectiva

-Es de suma importancia estudiar el estado del acuífero debido a las consecuencias negativas que puede conllevar

-La presencia de sales en el agua subterránea puede deberse a diferentes procesos hidrogequímicos

-Se identificó una fuerte influencia ejercida por el suelo en la composición química del agua subterránea

Se recomienda realizar un análisis químico detallado de la estratigrafía del suelo



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aguilera, C., & Aranzaez, N. (2017). Estudio del Estado de Salinización de Acuíferos Costeros, IV Región De Coquimbo (tesis de pregrado). Universidad Católica del Norte, Coquimbo, Chile.

Cortés, E. (2016). Proyecto FIC-R “Monitoreo y control preventivo de la salinización en acuíferos” BIP 30485954

Dirección General de Aguas. (2007). Declaración área de restricción sectores hidrogeológicos de aprovechamiento común de Elqui Bajo, santa gracia y serena norte. Informe técnico n° 47.

Fagundo, JR, Alconada, M.M, Carrillo, J.J, González, P. (2013). Caracterización de los flujos de agua subterránea a partir de su salinidad. Universidad de la Habana y Universidad Nacional de la Plata.

SERNAGEOMIN (2003). Mapa geológico de Chile: versión digital. Servicio Nacional de Geología y Minería, Publicación Geológica Digital, No. 4. Santiago

Sokal, R. & Rohlf, F. (1986): Introducción a la bioestadística. Barcelona: Reverté, S.A.



Universidad  
Católica del Norte

Facultad Ciencias del Mar  
Ing. En Prevención de Riesgos y M.A



**La presente memoria se realizó bajo el marco del proyecto  
FIC-R BIP 30485954 “Monitoreo y control preventivo de la  
salinización en acuíferos”**