

UCH-FC  
Q. Ambiental  
H 556  
C. 1



UNIVERSIDAD DE CHILE - FACULTAD DE CIENCIAS - ESCUELA DE PREGRADO

**PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DE AGUA Y SEDIMENTO EN LAS  
VERTIENTES 1, 6 Y 11 DEL SALAR DE ASCOTÁN (II REGIÓN), HÁBITAT  
DEL PEZ ENDÉMICO *Orestias ascotanensis***

Seminario de Título entregado a la Universidad de Chile en cumplimiento parcial  
de los requisitos para optar al Título de:

**Química Ambiental**

**Valeria Jessica Herмосilla Jiménez**

Directora de Seminario de Título: M. Sc. Irma Vila Pinto  
Co-Directora: M. Cs. Sylvia Copaja Castillo



Octubre de 2016  
Santiago – Chile



## INFORME DE APROBACIÓN SEMINARIO DE TÍTULO

Se informa a la Escuela de Pregrado de la Facultad de Ciencias, de la Universidad de Chile que el Seminario de Título, presentado por la Srta:

**VALERIA JESSICA HERMOSILLA JIMÉNEZ**

“PROPIEDADES FÍSICOQUÍMICAS DE AGUA Y SEDIMENTO EN LAS VERTIENTES 1, 6 Y 11 DEL SALAR DE ASCOTÁN (II REGIÓN), HÁBITAT DEL PEZ ENDÉMICO *Orestias ascotanensis*.”

Ha sido aprobado por la Comisión de Evaluación, en cumplimiento parcial de los requisitos para optar al Título de Químico Ambiental

*Comisión Revisora y Evaluadora*

**M. Sc. Irma Vila Pinto**  
**Directora Seminario de Título:**

**M. Cs. Sylvia Copaja Castillo**  
**Co-Directora Seminario de Título:**

**Dr. Isel Cortés Nodarse**  
**Presidente Comisión:**

**Dr. Gonzalo Gutiérrez G.**  
**Evaluador:**



Una segunda firma manuscrita en azul sobre una línea horizontal, con un tercer espacio en blanco para una firma más abajo.

Santiago de Chile, Octubre de 2016

## BIOGRAFÍA



Valeria Jessica Herмосilla Jiménez es hija de Katherine del Rosario Jiménez Vidal y de Jorge Herмосilla León, tiene un hermano llamado Christopher Herмосilla, fue criada en compañía de su tía Sandra Jiménez y de su abuelo Reinaldo Jiménez.

Entró a pre-Kinder producto del constante deseo de aprender y socializar, ella deseaba ir al colegio como su hermano. Desde pequeña mostró destreza en las ciencias y las matemáticas, cursó la enseñanza básica en el colegio Campos de Maipú, en Cerrillos, y la enseñanza media en el Liceo Francés, Santiago centro, donde tuvo que familiarizarse con las costumbres de dicho país.

Siempre fue entusiasta por diversas áreas como el baile, el canto, el arte, la actuación y la gestión, llegando a formar parte del centro de alumnos de su liceo el año 2006. El año 2007 le fue otorgado el premio al mejor promedio del electivo científico por Biología.

El 2008 entró a estudiar Química Ambiental con ayuda de la beca Bicentenario, es en el año 2009 donde empieza a cursar ramos de biología para complementar su carrera, desde entonces ha conocido un mundo lleno de conocimientos y grandes mentes, el cual planea seguir descubriendo a través de la constancia e investigación científica.

Dedicado a mi madre y a mi hermano  
los pilares de mi vida y ejemplos de superación

*“Prefiero una vida sencilla con metas complejas, que una vida compleja con metas sencillas”*

V.H.

## AGRADECIMIENTOS

En primer lugar a mi madre por los años de dedicación a nuestra educación, por forjar disciplina y carácter para lograr las metas. A mi hermano por impulsarme a dar lo mejor de mi y enseñarme que la disciplina es la clave para alcanzar nuestros objetivos.

A mi tía Sandra y a mi tío Cristián quienes me han brindado constantemente su apoyo y preocupación. A mi cuñada Marcela que junto a mi hermano, han venido a Chile dándome la oportunidad única de ver a mi sobrino Octavio dar sus primeros pasos, además de su ayuda gramatical. A mis amigas por su apoyo, paciencia, preocupación, invitaciones, momentos de distensión y alegrías en este largo camino (Sandy D., Tania S., Daniela E., Fernanda M., Paola M., María del Carmen, Rocío P., Claudia T., Pamela R., Javiera G., Flavia S., M. José H., Belén A., Camila J. y Leonor)

Estoy agradecida de haber formado parte del laboratorio de Limnología, donde el año 2015 físicamente se encontraba M.Cs. Ingrid, Tannia, Camila, M.Cs. Noemí, Faviola, Dr. Caren, M.Sc Irma y Dr. David, quienes generaban un ambiente de trabajo muy cómodo, largos almuerzos, y conversaciones interesantes sobre diversos temas, inclusive algunas de ellas se han convertido en muy buenas amigas. También a Vilma B. por su conocimiento en el análisis de agua en salares permitiendo que mi trabajo fuese más expedito. A Daniel Z. quién me enseñó lo necesario para aprender los análisis estadísticos de este trabajo. A Marisol por su eficiencia, disposición y palabras de aliento. A Martita por su gentileza y buena voluntad. También a Franco y Moises en el trabajo en terreno.

A mis mentoras con las que ha sido un gusto trabajar y tener la oportunidad de aprender de grandes profesionales, la profesora Irma Vila que desde un principio ha confiado en mí y en el aporte de mi trabajo al proyecto, haciendo de la estancia en el laboratorio un momento agradable en mi vida debido a su constante preocupación. La profesora Sylvia Copaja que con su experiencia y paciencia logró enseñarme conocimientos, técnicas y manejo de equipo en el análisis de sedimento junto a Gigliola y a Miguel.

Finalmente agradecer al proyecto FONDECYT 1140543. El Abra S.A

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

<b>I. INTRODUCCIÓN</b> .....	1
1.1. Antecedentes generales .....	1
1.1.1. Altiplano Sudamericano .....	1
1.1.2. Origen de los paleolagos .....	1
1.1.3. Altiplano Chileno .....	2
1.2. Antecedentes específicos .....	3
1.2.1. Salar de Ascotán .....	3
1.2.2. <i>Orestias ascotanensis</i> .....	5
1.2.3. Importancia de la caracterización del hábitat .....	6
1.3. Hipótesis .....	7
1.4. Objetivos .....	7
1.4.1. Objetivo general .....	7
1.4.2. Objetivos específicos.....	8
<b>II. MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	9
2.1. Sitios de muestreo en las vertientes 1, 6 y 11 .....	9
2.2. Almacenamiento de muestras .....	10
2.2.1. Materiales .....	10
2.2.2. Procedimiento .....	11
2.3. Materiales, reactivos, soluciones estándar y equipos para los análisis físicoquímicos de las muestras .....	11
2.3.1. Materiales .....	11
2.3.2. Reactivos .....	12
2.3.3. Soluciones estándar .....	13
2.3.4. Equipos .....	14
2.4. Determinación de características físicas .....	15
2.5. Determinación de características químicas .....	16
2.5.1. Alcalinidad total .....	16
2.5.2. Alcalinos y alcalinotérreos: sodio, potasio, litio, magnesio y calcio por EAA con llama aire-C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> .....	16
2.5.3. Boro .....	17

2.5.4. Carbono .....	19
2.5.4.1. Carbono orgánico fácilmente oxidable (CO) .....	19
2.5.4.2. Carbono orgánico total por calcinación (COT).....	20
2.5.5. Cloruro por cromatografía de intercambio iónico (IE-HPLC).....	20
2.5.6. Dureza total .....	21
2.5.7. Fósforo .....	22
2.5.8. Nitrógeno .....	23
2.5.9. Sílice: método de molibdato de sílice reactivo .....	25
2.5.10. Sulfato: método de turbidimetría .....	25
2.6. Análisis estadístico en software R y métodos gráficos .....	26
<b>III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>27</b>
3.1. Caracterización fisicoquímica del agua.....	27
3.2. Caracterización fisicoquímica del sedimento.....	36
3.3. Comparación de hábitat del género <i>Orestias</i> .....	43
3.4. Concentraciones de litio y boro en la costra salina.....	44
<b>IV. CONCLUSIONES .....</b>	<b>45</b>
<b>V. REFERENCIAS .....</b>	<b>47</b>
<b>VI. ANEXOS.....</b>	<b>50</b>
6.1. Coordenadas geográficas en las vertientes 1, 6 y 11 .....	51
6.2. Cloruro y carbono orgánico oxidable .....	52
6.3. Curvas de calibración .....	53
6.4. Diagramas de Piper y Stiff .....	54
6.5. Análisis de Cluster .....	55
6.6. Test de Kruskal-Wallis y test de Tukey .....	56
6.7. Rangos de concentración .....	58

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Condiciones experimentales de EAA para medición sodio, potasio, litio, calcio y magnesio .....	17
<b>Tabla 2.</b> Concentración de calcio, magnesio, sodio, potasio, sulfato y cloruro en agua (mgL <sup>-1</sup> ) .....	27
<b>Tabla 3.</b> Concentración de fósforo total (PT), nitrógeno total (NT), boro, litio, sílice conductividad eléctrica (CE), pH, dureza total (D) y alcalinidad total (AT) en agua .....	30
<b>Tabla 4.</b> Concentración de litio, potasio, sodio, magnesio, calcio, sulfato y cloruro en sedimento (cmolKg <sup>-1</sup> ) .....	37
<b>Tabla 5.</b> Concentración de fósforo disponible, boro, nitrógeno total, carbono orgánico total, carbono orgánico oxidable, pH y conductividad eléctrica en sedimento.....	38
<b>Tabla 6.</b> Coordenadas geográficas en la costra salina .....	51
<b>Tabla 7.</b> Coordenadas geográficas en el agua y el sedimento .....	51
<b>Tabla 8.</b> Curvas de calibración para sílice, sulfato, nitrógeno, potasio, sodio, magnesio, calcio, cloruro, litio, boro y ortofosfato .....	53
<b>Tabla 9.</b> Concentración de calcio, magnesio, sulfato, cloruro, alcalinidad total, potasio y sodio para diagramas de Stiff .....	54
<b>Tabla 10.</b> Test de Kruskal-Wallis y test de Tukey en agua .....	56
<b>Tabla 11.</b> Test de Kruskal-Wallis y test de Tukey en sedimento .....	57
<b>Tabla 12.</b> Rangos de concentración de sulfato, magnesio, calcio, cloruro, fósforo total, nitrógeno total, sodio, potasio, boro y conductividad eléctrica en agua .....	58
<b>Tabla 13.</b> Rangos de concentración de sulfato, cloruro, pH y porcentaje carbono orgánico fácilmente oxidable en sedimento .....	58



## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Distribución de la vía evolutiva del agua en la cuenca de Ascotán.....	4
<b>Figura 2.</b> Distribución geográfica de las vertientes 1, 6 y 11 en el Salar de Ascotán, Salar de Carcote, Pastos Grandes y Ollagüe.....	4
<b>Figura 3.</b> Vertiente 1 del Salar de Ascotán (izquierda-amarillo), puntos para muestras de costra (verde) puntos para muestras de sedimento y agua (amarillo) .....	9
<b>Figura 4.</b> Vertiente 6 del Salar de Ascotán (izquierda-amarillo), puntos para muestras de costra (verde) puntos para muestras de sedimento y agua (amarillo) .....	9
<b>Figura 5.</b> Vertiente 6 del Salar de Ascotán (izquierda-amarillo), puntos para muestras de costra (verde) puntos para muestras de sedimento y agua (amarillo) .....	10
<b>Figura 6.</b> Montaje de equipos a) IE-HPLC b) EAA midiendo litio c) digestor para nitrógeno total d) destilador para nitrógeno total .....	14
<b>Figura 7.</b> Ejemplo de análisis de Boxplot .....	26
<b>Figura 8.</b> Diagrama de Piper para las vertientes 1, 6 y 11 .....	28
<b>Figura 9.</b> Diagrama de Stiff para tres puntos en las vertientes 1, 6 y 11 .....	29
<b>Figura 10.</b> Gráficos de Boxplot para a) sodio b) potasio c) calcio d) magnesio e) cloruro y f) sulfato en agua .....	32
<b>Figura 11.</b> Gráficos de Boxplot para a) alcalinidad total b) dureza c) conductividad eléctrica d) pH en agua .....	33
<b>Figura 12.</b> Gráficos de Boxplot para a) fósforo total b) nitrógeno total c) sílice d) boro e) litio en agua .....	34
<b>Figura 13.</b> Gráficos de Cluster para a) sodio, potasio, calcio y magnesio en agua, b) sulfato y cloruro en agua, c) fósforo total, nitrógeno total y sílice en agua, d) boro y litio en agua .....	35
<b>Figura 14.</b> Profundidad de los puntos de muestreo en cada vertiente .....	36
<b>Figura 15.</b> Gráficos de Boxplot para a) pH b) conductividad eléctrica c) boro d) litio e) carbono orgánico oxidable f) carbono orgánico total g) nitrógeno total h) fósforo disponible i) sulfato en sedimento .....	40
<b>Figura 16.</b> Gráficos de Cluster para a) pH y conductividad eléctrica b) litio y boro c) carbono orgánico total y nitrógeno total d) fósforo disponible y carbono orgánico oxidable e) cloruro y sulfato f) calcio, magnesio, sodio y potasio en sedimento .....	41

<b>Figura 17.</b> Gráficos a) Cluster para boro y litio, b) Boxplot para boro y c) litio en costra salina .....	44
<b>Figura 18.</b> Cromatograma de estándar de 100 mg/L para carbonato, cloruro, nitrato y sulfato con sus tiempos de retención .....	52
<b>Figura 19.</b> Cromatograma del punto 2, vertiente 11 en sedimento con sus tiempos de retención .....	52
<b>Figura 20.</b> Primera derivada del volumen gastado de sulfato de hierro en el punto 1 en sedimento en el análisis de carbono orgánico fácilmente oxidable .....	53
<b>Figura 21.</b> Diagrama de Piper para la clasificación hidrogeoquímica .....	54
<b>Figura 22.</b> Gráfico de Cluster para pH y conductividad eléctrica en agua .....	55
<b>Figura 23.</b> Gráfico de Cluster para dureza y alcalinidad total en agua .....	55

## RESUMEN

El Salar de Ascotán se formó debido a sucesivos períodos de sequía que afectaron al paleolago Minchin hace 30.000 años. El salar se encuentra en latitud sur  $21^{\circ}27'01,9''$  y longitud oeste  $68^{\circ}15'8,5''$ , además es uno de los 27 salares en la Región de Antofagasta a 3.700 msnm. En el lado este se han encontrado 12 vertientes que conforman el hábitat del pez endémico *Orestias ascotanensis* Parenti.

En este trabajo se presentan diferencias significativas y rangos de concentración de las características fisicoquímicas del agua y del sedimento, en las vertientes denominadas 1, 6 y 11. Para esto se colectó una muestra en 3 puntos de cada vertiente, las variables analizadas fueron pH, conductividad eléctrica (CE), cloruro, calcio, sodio, potasio, magnesio, litio, dureza total (D), alcalinidad total (AT), fósforo total (PT), nitrógeno total (NT), sílice, sulfato, carbono orgánico total (COT), carbono orgánico oxidable (CO), fósforo reactivo (PD) y boro.

Los resultados se graficaron en diagramas de Piper y Stiff; también se analizaron estadísticamente a través de análisis de Cluster, Boxplot, test de Kruskal-Wallis y test de Tukey. Las características fisicoquímicas que presentaron diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) agruparon las vertientes de la siguiente manera: en agua la vertiente 1 diferente a las vertientes 11 y 6 para  $\text{SO}_4^{-2}$ , Mg, Ca,  $\text{Cl}^-$  y PT; la vertiente 11 diferente a las vertientes 1 y 6 para NT, por último cada vertiente formó un grupo para CE, Na, K y B. En sedimento la vertiente 1 y 11 fueron diferentes en  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{-2}$  y CO, finalmente las vertientes 6 y 11 fueron diferentes en pH.

En conclusión, se encontró que los valores de la mayoría de las características fisicoquímicas se diferenciaron en agua, siendo la vertiente 1 la que presentó valores más altos, en cambio, en el sedimento los análisis en general no presentaron diferencias significativas entre las vertientes.

## ABSTRACT

Ascotán Salar was created as a consequence of successive drought periods that affected the Minchin paleolake 30.000 years ago. The salar is located at South latitude  $21^{\circ}27'01,9''$  and West longitude  $68^{\circ}15'8,5''$ , also, it is one of 27 salars in Antofagasta region at 3.700 meters above sea level. On the east side there are 12 springs which are the habitat of endemic species as *Orestias ascotanensis* Parenti

In this study we found that water had significant differences of concentration ranges of physicochemical characteristics and sediment located in the springs named 1, 6 y 11. To obtain all this data, we collected samples in 3 points of each spring. The physicochemical variables were analyzed regarding pH, electric conductivity (CE), chloride, calcium, sodium, potassium, magnesium, lithium, hardness (H), total alkalinity (TA), total phosphorus (TP), total nitrogen (TN), sílice, sulfate, total organic Carbon (TOC), oxidizable organic Carbon (OC) reactive phosphorus (DP) and boron.

The results were represented using Piper and Stiff diagrams, and they were statistically analyzed with Cluster, Boxplot, Kruskal- Wallis test and Tukey test analysis.

The physic and chemical characteristics which presented significant differences ( $p < 0,05$ ) grouped the springs as follows: in water, spring 1 was different to springs 11 and 6 for  $\text{SO}_4^{-2}$ , Mg, Ca,  $\text{Cl}^-$  and PT; spring 11 was different to springs 1 and 6 for NT, finally each spring formed a group for CE, Na, K and B. In the sediment, springs 1 y 11 were different in  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{-2}$  and CO, finally, springs 6 and 11 were different in pH.

Concluding, It was found that the values of the main physical and chemical characteristics were different in water with spring 1 showing the higher values, meanwhile, in the sediment analysis there were no significant differences among springs.

## I. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Antecedentes Generales

#### 1.1.1. Altiplano Sudamericano

En el mundo las mesetas de altura están presentes en continentes como América, África, Asia y Europa. La meseta del Tíbet, al norte del Himalaya ubicada en el continente asiático, es la altiplanicie más alta del mundo con una elevación promedio de 5.000 msnm, seguida por el Altiplano sudamericano de aproximadamente 3700 msnm en promedio. El Altiplano sudamericano se extiende entre Argentina, Bolivia, Perú y Chile, exactamente desde 15°S a 22°S entre la cordillera oriental y occidental de los Andes.

Hoy existen diferentes biotopos en el Altiplano, al oeste se encuentra la zona desértica entre el sur del Perú y el norte de Chile, por el este la zona amazónica, al norte el lago Titicaca con un área de 8400 km<sup>2</sup> y 250 m de profundidad, y finalmente al sur grandes salares como Uyuni, Coipasa, Carcote y Ascotán. El Altiplano se caracteriza por poseer una radiación alta y una presión atmosférica que es casi 40% inferior a la presente al nivel del mar (Aceituno, 1996). El clima es semiárido y la temperatura durante la noche desciende hasta -10°C en las regiones desérticas, esta disminución de temperatura influencia la presencia de lluvias convectivas en la zona (Garreaud y col., 2003). Sin embargo las principales precipitaciones altiplánicas son desde Diciembre a Marzo, disminuyendo su intensidad de norte a sur.

En el Altiplano existen una serie de cuencas hidrográficas cerradas rodeadas por volcanes y han permanecido aisladas desde el último levantamiento de los Andes en el Mioceno (Antonelli y col., 2009), por lo que son una oportunidad única para investigar sus características en escala de tiempo de décadas o milenios.

#### 1.1.2. Origen de los paleolagos

Estudios por más de un siglo han documentado que en distintos periodos el Altiplano ha estado cubierto por extensos paleolagos los cuales originaron el actual conjunto de cuencas evaporíticas que se caracterizan por episodios alternados entre

expansión y desecación relacionados con cambios climáticos de circulación atmosférica, desglaciación y erupciones volcánicas.

En un principio se creía que el origen de los paleolagos fue causado por el derretimiento de los glaciares en los cordones montañosos, sin embargo, luego se demostró que el agua de éstos no era suficiente para ser fuente importante de los lagos (Hastenrath & Kutzbach, 1985).

Entre los paleolagos andinos se encuentran el lago Ballivian en el Altiplano Norte, en la Cuenca del Titicaca; los lagos Minchin y Tauca en el Altiplano Central-Sur, en Cuencas de Uyuni, Carcote, Ascotán, entre otras (Fornari y col., 2001). El lago Minchin existió hace unos 30.000 a 23.700 años atrás, cuyo límite hacia el sur era el Salar de Ascotán. Posteriormente hubo otro paleolago, el Tauca de 13.000 a 10.000 años atrás, pero éste sólo alcanzó la cuenca del Salar de Carcote.

### **1.1.3. Altiplano Chileno**

En el extremo nororiental de Chile se encuentra parte de la meseta de altura sudamericana, que corresponde administrativamente a las regiones XV de Arica y Parinacota, I de Tarapacá y II de Antofagasta. Esta zona ha experimentado una intensa actividad volcánica y sedimentaria (Risacher y col, 2003). Estas características dieron origen a cuencas hidrográficas endorreicas, con propiedades fisicoquímicas variables (Keller & Soto, 1998), y a salares producidos por la disminución de afluentes y la constante evaporación de agua debido al clima seco del Holoceno. Estos cambios en el paisaje modificaron la biodiversidad en diferentes aspectos; extinciones, surgimiento de nuevas especies (Fornari y col, 2001) y un alto grado de endemismo (Vargas y col, 2004).

En la parte sur de la Altiplanicie Chilena se cree que hubo un efluente transitorio proveniente de los salares de Chiguana-Ollagüe, Carcote y Ascotán que atravesaba la cordillera occidental en Ollagüe (Ahlfeld & Branisa, 1960), este cauce más tarde habría sido obstruido por los depósitos volcánicos producto de erupciones, depósitos que actualmente forman las barreras del suroeste del Salar de Ascotán.

## 1.2. Antecedentes Específicos

### 1.2.1. Salar de Ascotán

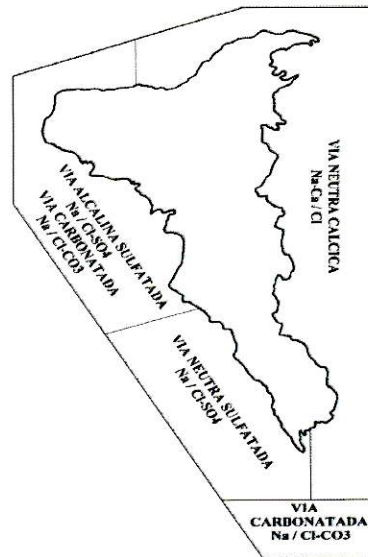
Al sur de la Altiplanicie Chilena se ubica el Salar de Ascotán, uno de los 27 salares que se encuentran en la Región de Antofagasta, que posee una altitud promedio de 3.716 mnsn., 243 Km<sup>2</sup> de costra salina y 18 Km<sup>2</sup> entre lagunas y vertientes. Por el oeste colinda con la cuenca del río Loa y al este con la frontera boliviana, el agua pasa por el interior de la cuenca de Ascotán (Risacher y col, 1999).

En la actualidad las lagunas y las vertientes del Salar de Ascotán tienen diferentes características fisicoquímicas, las cuales se han salinizado producto del balance hidrológico negativo y el alza de temperaturas en la zona (Márquez-García y col, 2009).

La naturaleza de las vertientes del Salar de Ascotán es cloruro sódica pero su vía de formación se divide en dos grandes grupos, la del lado oriente con vía de formación cálcica (Na-Ca/Cl) y la del occidente, principalmente con vía de formación sulfatada (Na/Cl-SO<sub>4</sub>), figura 1. El agua del lado este no se relaciona con la geología de la cuenca de drenaje, pues debería ser sulfatada por los yacimientos de azufre en los estrato volcánicos andesíticos y dacíticos como Ollagüe y Cañapa principalmente, por lo que la alta salinidad de ésta zona no se debería a la habitual redisolución de yeso y halita en formaciones geológicas de la cuenca.

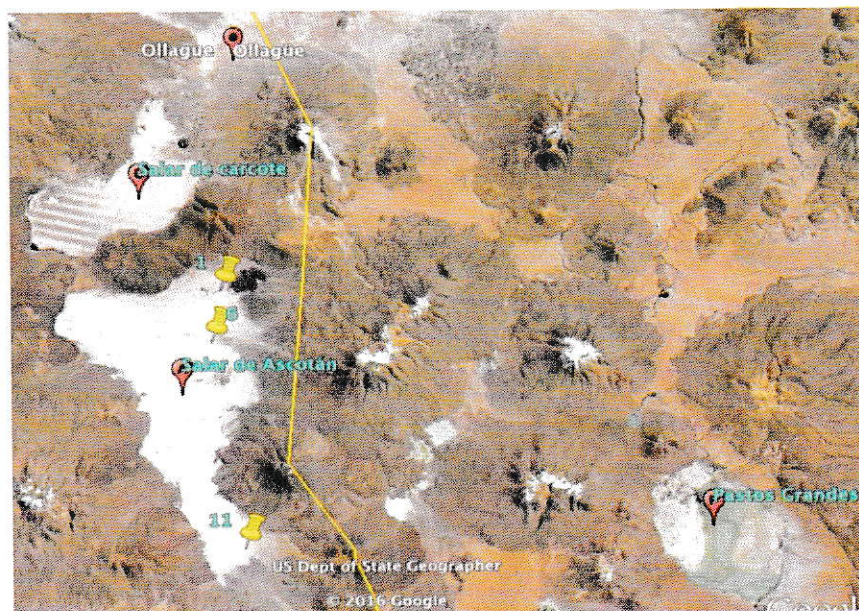
Al comparar esta composición con otros salares (Cañapa, Hedionda, Chiar Kota, Honda, Pujio y Ramaditas) se encontró que también poseen vía de formación sulfatada, no así el Salar de Carcote pues posee una composición cálcica, lo que no implica una comunicación de una cuenca a otra, sino un origen en común, probablemente fuera de las dos cuencas. (Risacher y col, 1999).

En el trabajo de Keller & Soto de 1998 se postula que el caudal se mantiene debido al aporte de agua subterránea proveniente de la cuenca de Ascotán y desde la Caldera Pastos Grandes, un centro ignimbrítico del Mioceno-Plioceno ubicado al oeste de Bolivia a una altitud promedio de 4.600 m.s.n.m.



**Figura 1.** Distribución de la vía evolutiva del agua en la cuenca de Ascotán

Por la zona este existen 12 vertientes, algunas son perturbadas por la extracción de agua por la minería de la región, y la extracción de costra salina; este conjunto de factores podrían constituir una real amenaza para las especies ícticas que habitan en el lugar: *Orestias ascotanensis*.



**Figura 2.** Distribución geográfica de las vertientes 1, 6 y 11 en el Salar de Ascotán, Salar de Carcote, Pastos Grandes y Ollagüe



### 1.2.2. *Orestias ascotanensis*

Los peces del género *Orestias* pertenecen a la familia Cyprinodontidae y es un género especioso, son autóctonos de los lagos de gran altitud y de los ríos afluentes de Los Andes en Perú, Bolivia y Chile; existen 43 especies, 23 de ellas habitan en el lago Titicaca y en el Altiplano chileno (Parenti, 1984; Vila y col, 2010). La taxonomía del grupo ha estado en una constante modificación (Vila y col, 2013) desde el establecimiento del género por Valenciennes en 1846 cuando encontró y describió 10 especies.

En el Salar de Ascotán habita la especie endémica *Orestias ascotanensis*, cuyo nombre común es "Karachi", que se distribuye en poblaciones aisladas de unos cientos de individuos y su estado de preservación se considera en peligro de extinción debido al restringido rango geográfico (Vila y col., 2007).

Se ha descrito que no toleran salinidad superior a 4,2 g/L y entre 1992-1995 las poblaciones más abundantes fueron encontradas en las vertientes 7 y 11, las cuales registran conductividad entre 3.000 y 4.000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (Keller & Soto, 1998). Debido a que se ha observado una mayor densidad de peces en la vertiente 6, desde el año 2013 ésta ha sido la más estudiada en aspectos de morfología, alimentación y genética.

Uno de los estudios acerca de *Orestias ascotanensis* permitió evaluar las consecuencias de un proceso gradual y profundo de fragmentación de hábitat en la estructura genética de las poblaciones. De acuerdo al estudio las vertientes del salar se agruparon basándose en diferencia genética entre los individuos; la primera agrupación incluye las vertientes 2, 3, 4, 5, 6 y 7 y otro grupo formado por las vertientes 8, 12, 9 y 10. Finalmente, las vertientes 1 y 11 forman grupos individuales debido a que presentan haplotipos únicos; después del aislamiento de la vertiente 1, apareció otro tipo de alelo, este resultado se basa en que la población de esta vertiente tiene un número menor de sustituciones reproductivas que el resto (Morales y col.,2011).

### 1.2.3. La importancia de la caracterización del hábitat

Actualmente, las únicas características fisicoquímicas descritas para el hábitat de la especie son salinidad y conductividad en el agua, las cuales tienen directa relación con el proceso de osmorregulación en peces. No obstante, existen otros atributos abióticos del hábitat que son importante mencionar como: pH, oxígeno disuelto, profundidad, nutrientes y metales que ayudarían a caracterizar las condiciones en las que vive el pez, ya que su relación con el medio acuoso es directa. Además, la química del agua es afectada por factores climáticos directos como la evaporación y la pluviometría, es por esto que para completar el estudio es aconsejable analizar el sedimento por la incidencia de estos factores en ellos.

El sedimento es una acumulación de materiales, llamado **alóctono** cuando es arrastrado y **autóctono** si proveniente de la misma masa de agua; éstos pueden ser minerales como evaporitas, arcillas, fragmentos de rocas, excrementos, materia orgánica floculada, o bien organismos enteros que mueren en el lugar o incluso fragmentos de los mismos. Debido a esto, el sedimento se convierte en un sumidero y fuente de muchos compuestos químicos, como metales y nutrientes, que cuando son solubles interactúan con el agua y cuando no están disponibles se concentran. Lo anterior también permite determinar la estabilidad y dinámica química del sedimento, pues aporta información sobre la historia de los diferentes ambientes (Centro de Estudios Hidrográficos del CEDEX, 2010).

En el informe de la Comisión Nacional del Litio del 2015, se señala que es esencial recopilar, analizar y actualizar la información científica de los salares para conocer sus características y requerimientos de protección. Además, se sabe que los salares constituyen ecosistemas dinámicos de gran complejidad y fragilidad en los cuales el componente de principal interés es la salmuera que contiene fundamentalmente litio, potasio, boro y magnesio (Informe Comisión Nacional del litio, 2015). El litio posee un gran potencial para almacenar energía, es por esto que se utiliza en la fabricación de baterías, por su parte el boro se utiliza como materia prima en la fabricación de fibra de vidrio también en otras industrias como la metalurgia, agricultura, entre otras.

Si bien la composición química de la costra salina del Salar de Ascotán está descrita principalmente por yeso (sulfato de calcio) y halita (cloruro de sodio) ha habido explotación de boro por la extracción de ulexita, borato de sodio y calcio (Risacher y col,1999), no existen antecedentes sobre una extracción de litio ni concentraciones de este elemento en la costra salina.

Por lo tanto se hace necesaria una actualización detallada y precisa acerca de las características abióticas del agua y sedimento, para así caracterizar el hábitat de *Orestias ascotanensis* y posiblemente asociarlos a diferencias genéticas entre las poblaciones de las vertientes o a la distribución de éstas. Asimismo, es conveniente realizar un estudio del recurso energético: litio y boro en la costra salina. Lo anterior servirá para determinar las concentraciones químicas del curso de agua de las vertientes y de esta forma establecer valores que ayuden a la comprensión de la complejidad, fragilidad del sistema y posibles riesgos de una extracción de sales.

### **1.3. Hipótesis:**

La existencia de ambientes fragmentados por efectos climáticos históricos, causarían diferencias en las actuales características fisicoquímicas del sedimento y agua en las vertientes 1, 6 y 11 del Salar de Ascotán, hábitat del pez endémico *Orestias ascotanensis*.

### **1.4. Objetivos**

#### **1.4.1. Objetivo General:**

Analizar las variables físicas y las concentraciones químicas de aniones, cationes, nutrientes y carbono orgánico para caracterizar el agua y sedimento en las vertientes 1, 6 y 11 del Salar de Ascotán, hábitat del pez endémico *Orestias ascotanensis*.

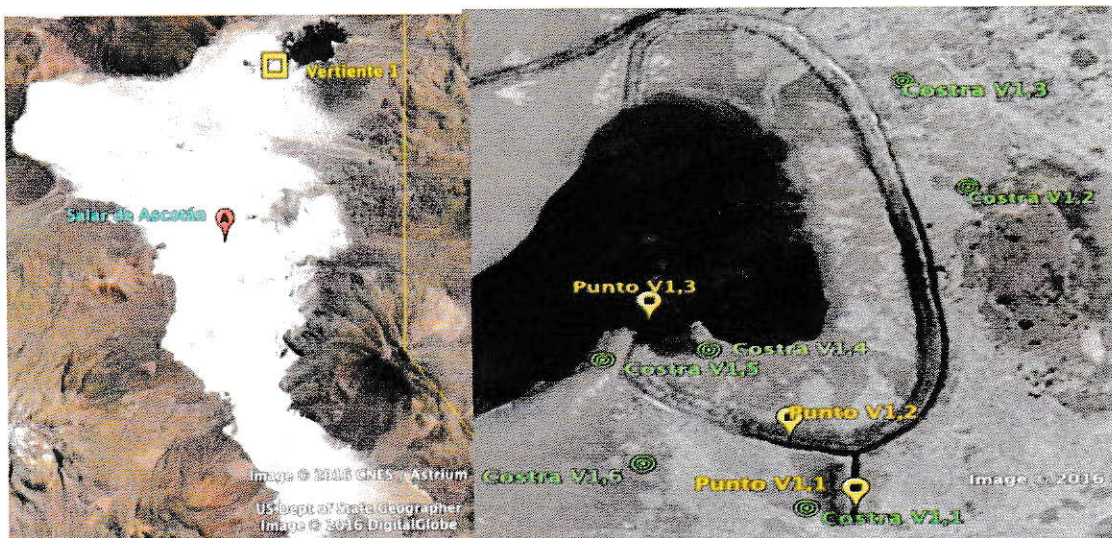
#### **1.4.2. Objetivos Específicos:**

- Analizar pH, conductividad eléctrica, concentraciones químicas de cloruro, calcio, sodio, potasio, magnesio, litio, boro, fósforo total, nitrógeno total, sílice, sulfato, alcalinidad total y dureza en muestras de agua en las vertientes 1, 6 y 11.
- Analizar pH, conductividad eléctrica, concentraciones químicas de cloruro, calcio, sodio, potasio, magnesio, litio, boro, fósforo disponible, nitrógeno total, sulfato, carbono orgánico fácilmente oxidable y carbono orgánico total en muestras de sedimento en las vertientes 1, 6 y 11.
- Analizar las concentraciones de litio y boro en las muestras de costra salina aledañas a la vertiente 1, 6 y 11.
- Determinar diferencias estadísticas en las variables físicas y concentraciones químicas en las muestras de agua y sedimento entre las vertientes 1, 6 y 11.
- Determinar diferencias estadísticas en las concentraciones de litio y boro en las muestras de costra salina entre las vertientes 1, 6 y 11.

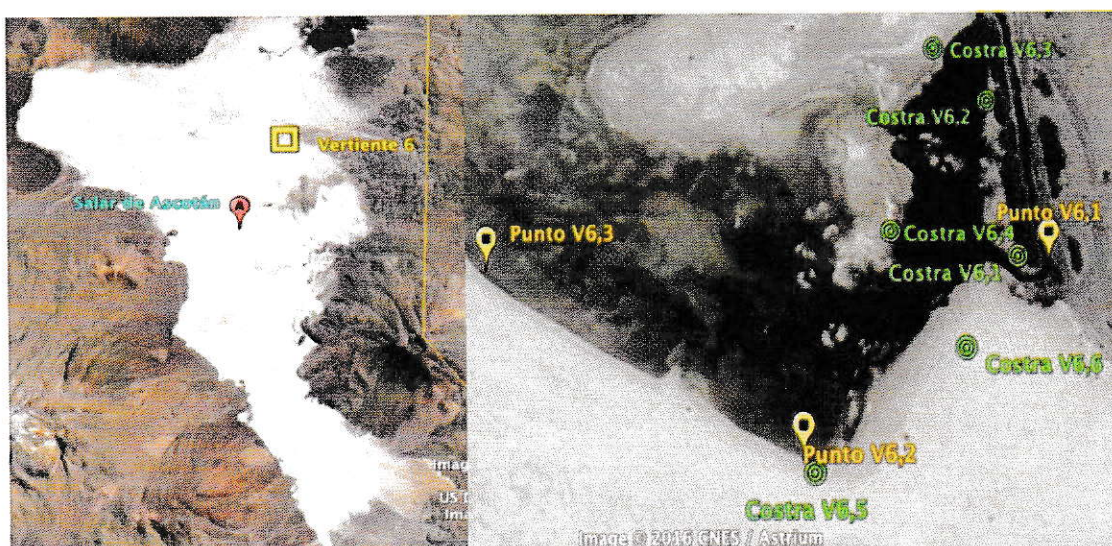
## II. MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1. Sitios de muestreo en las vertientes 1, 6 y 11

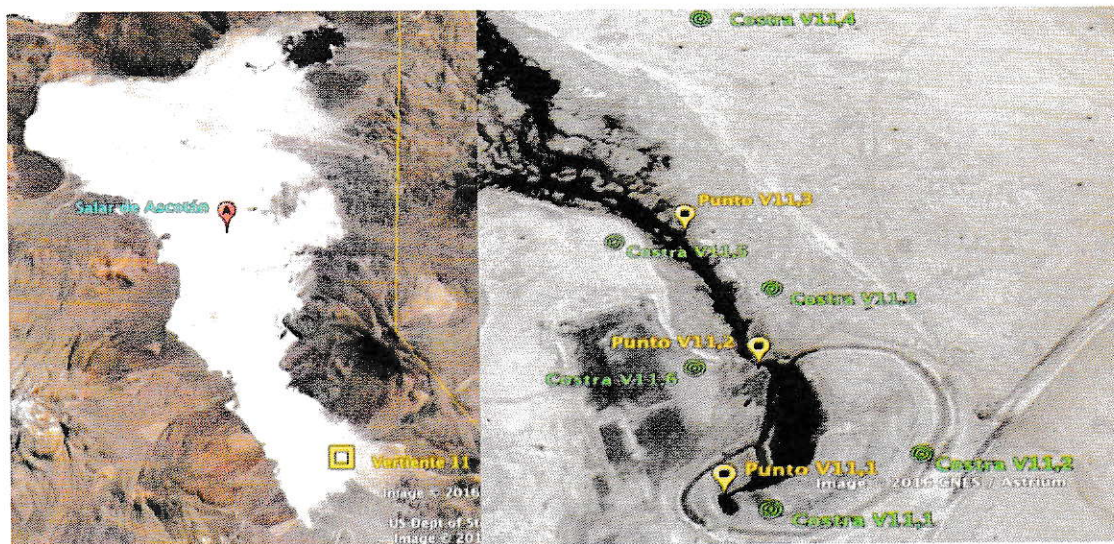
Para las muestras de agua y sedimento se eligieron tres sitios en cada vertiente y una muestra control por cada punto. Para las muestras de costra salina se eligieron 6 puntos aledaños a las vertientes. Las coordenadas de georreferenciación se resumen en la tabla 6 y 7 (anexo 6.1) y se realizaron con **GPS Garmin modelo map 60 csx**.



**Figura 3.** Vertiente 1 del Salar de Ascotán (izquierda-amarillo), puntos para muestras de costra (verde) puntos para muestras de sedimento y agua (amarillo).



**Figura 4.** Vertiente 6 del Salar de Ascotán (izquierda-amarillo), puntos para muestras de costra (verde) puntos para muestras de sedimento y agua (amarillo).



**Figura 5.** Vertiente 6 del Salar de Ascotán (izquierda-amarillo), puntos para muestras de costra (verde) puntos para muestras de sedimento y agua (amarillo).

- Fecha del muestreo : Mayo 2015
- Código de muestras: se utilizó la siguiente rotulación para cada muestra

**Matriz**→ A= agua, S= sedimento o C= costra.

**Vertiente**→ Número 1, 6 o 11

**Punto de muestreo**→1, 1R, 2, 2R, 3 o 3R

Ejemplo→ A.V1.1 = agua. vertiente 1. punto 1

## 2.2. Almacenamiento de muestras

### 2.2.1. Materiales

#### ❖ Materiales para almacenar muestras de agua

- Bomba vacío modelo: Rocker 300
- Botellas plásticas de 1 L, 100 mL y 50 mL con contratapa limpias y secas
- Filtro de poro de 0,45  $\mu\text{m}$  y 47 mm de diámetro Sartorius de nitrato de celulosa.
- Manguera de plástico
- Matraz Kitasato 250 mL

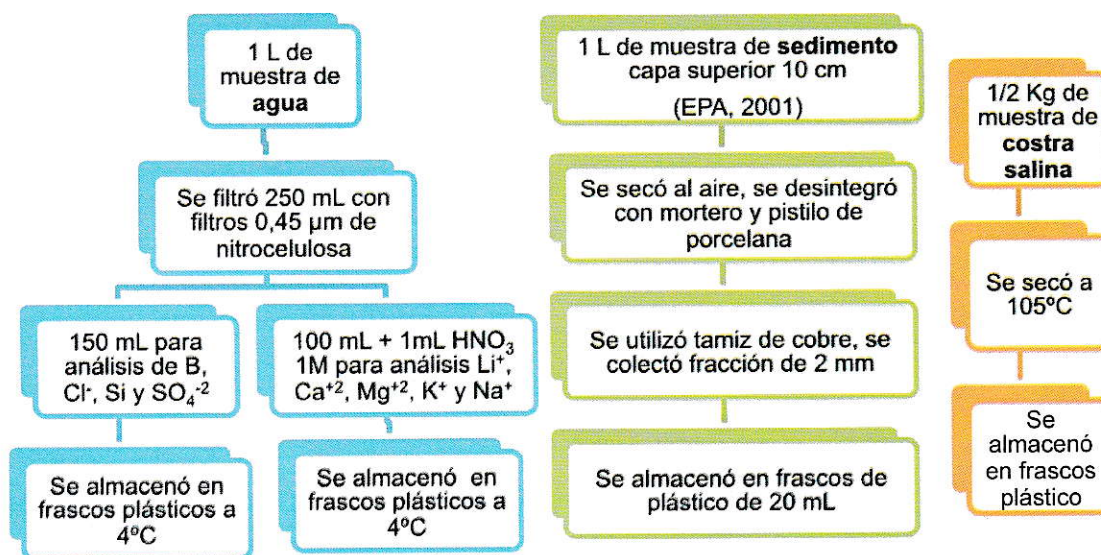
### ❖ Materiales para almacenar muestras de sedimento

- Bandejas de plástico.
- Frascos plásticos boca ancha 1 L y 20 mL con contratapa limpios y secos
- Mortero y pistilo de porcelana
- Palas plásticas
- Tamiz de cobre HUMBOLDT MFG. CO. NORRIDGE, IL 60706 marca USA Standard sieve

### ❖ Materiales para almacenar muestras de costra

- Bolsas plásticas herméticas
- Frascos plásticos de boca ancha limpios y secos.

## 2.2.2. Procedimiento



## 2.3. Materiales, reactivos, soluciones estándar y equipos para los análisis fisicoquímicos de las muestras

### 2.3.1. Materiales

- Magneto
- Botellas ámbar
- Botellas Winkler de 100 mL
- Bureta 50 mL y soporte de metal

- Crisoles de porcelana
- Embudos de vidrio
- Espátulas de metal
- Filtros desechables de poro 0,45  $\mu\text{m}$  y 13 mm de diámetro con membrana PVDF con cobertura de polipropileno Whatman.
- Frascos plásticos agitables con contratapa
- Gotarios de 3 mL de plástico
- Jeringas hipodérmica de 5 mL BD Plastipak TM
- Matraz de aforo 1 L, 100 mL y 25 mL
- Matraz erlenmeyer de 125 mL 250 mL
- Micropipeta de 1000  $\mu\text{L}$  y de 10 mL Transferpette
- Navecillas
- Papel filtro
- Probeta de vidrio de 10, 25, 50 y 100 mL
- Puntas desechables para micropipeta
- Tubos de centrifuga de 15 mL
- Tubos de ensayo de 20 mL
- Tubos de pared gruesa pyrex
- Vasos precipitados 20, 50 mL, 100 mL y 200 mL

### 2.3.2. Reactivos

- Agua desionizada grado mili-Q
- Acetato de amonio ( $\text{NH}_4\text{CH}_3\text{CO}_2$ ) p.a. Merck
- Acetonitrilo ( $\text{CH}_3\text{CN}$ ) grado HPLC Merck
- Ácido acético glacial ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ) 99,5% ISN
- Ácido ascórbico ( $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6$ ) 99,7% Merck
- Ácido bórico ( $\text{H}_3\text{BO}_3$ ) p.a Merck
- Ácido clorhídrico ( $\text{HCl}$ ) suprapur® Merck
- Ácido fosfórico ( $\text{H}_3\text{PO}_4$ ) 85% Merck
- Ácido glicólico ( $\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_3$ ) p.a. Merck
- Ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) 95-97% p.a. Merck
- Almidón de papa ( $\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5$ )<sub>n</sub> pH 6,0 -7,5 Merck
- Azometina-H reactivo espectrofotométrico para  $\text{BC}_{17}\text{H}_{12}\text{NNaO}_8\text{S}_2$  CAS 5941-07-1 >97% MW=445,39 MFr Tokyo chemical industry
- Bicarbonato de sodio ( $\text{NaHCO}_3$ ) p.a Merck
- Cloroformo ( $\text{CHCl}_3$ ) p.a Merck
- Cloruro de bario ( $\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) 99% Merck
- Cloruro de potasio ( $\text{KCl}$ ) 99% Panreac





- Cloruro estañoso ( $\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) 98% J.T.Baker
- Devarda aleación GR p.a. Merck
- Dicloroisocianurato de sodio ( $\text{C}_3\text{Cl}_2\text{N}_3\text{NaO}_3$ ) 96%, Sigma
- Dicromato de potasio ( $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ) 99,9% Merck
- EDTA III o EDTA- disódico ( $\text{C}_{10}\text{H}_{14}\text{N}_2\text{Na}_2\text{O}_8 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) (Ácido etilendiaminotetraacético) 99% Merck
- Fenolftaleína ( $\text{C}_{20}\text{H}_{14}\text{O}_4$ ) pH 8,2-9,8 Merck
- Gelatina bacteriológica Himedia
- Glicerina ( $\text{C}_3\text{H}_8\text{O}_3$ ) p.a Merck
- Hidróxido de Sodio (NaOH) técnico
- Molibdato de amonio ( $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ) J.T.Baker Analized
- Molibdato de sodio ( $\text{MoNa}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) 99% Merck
- N-butanol ( $\text{C}_4\text{H}_{10}\text{O}$ ) grado HPLC Merck
- Negro de eriocromo T ( $\text{C}_{20}\text{H}_{12}\text{N}_3\text{O}_7\text{SNa}$ ) Panreac
- Peróxido de hidrógeno ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) 30% Merck
- Rojo de Metilo ( $\text{C}_{15}\text{H}_{15}\text{N}_3\text{O}_2$ ) pH 4,5-6,2 Merck
- Sodio nitroprusiato  $\text{Na}_2(\text{Fe}(\text{CN})_5\text{NO}) \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  99% Merck
- Salicilato de sodio ( $\text{C}_7\text{H}_5\text{NaO}_3$ )  $\geq 99,5\%$  Merck
- Sulfato de hierro (II) ( $\text{FeSO}_4$ ) p.a Merck
- Sulfato de magnesio (II) ( $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ) 99,5% Merck
- Sulfato de manganeso (II) ( $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ) 99% Merck
- Tiosulfato de sodio ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ) 99,5% Merck
- Tartrato de potasio y antimonio (III) ( $\text{C}_4\text{H}_4\text{KO}_7\text{Sb}$ ) 99% Merck
- Yoduro de sodio (NaI) 99,5% Merck
- Verde Bromocresol pH 3,8-5,4 Merck

### 2.3.3. Soluciones estándar

- Solución estándar de calcio (Ca); boro (B); cloruro ( $\text{Cl}^-$ ); magnesio (Mg); potasio (K); sodio (Na); sílice ( $\text{SiCl}_4$ ); sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) de 1000 mg/L Titrisol Merck
- Solución estándar de fosfato dihidrógeno de potasio ( $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ) para solución de P (99,5% Merck) y  $\text{N-NO}_3$  (99,3%) de 1000 mg/L J. T Baker
- Solución supresora de Cloruro de Cesio ( $\text{CsCl}$ ) y Cloruro de lantano ( $\text{LaCl}_3$ ) p.a Merck

### 2.3.4. Equipos

- Agitador orbital Lab rotator.
- Balanza analítica Shimadzu AUX220 Max 220 g Min 10 mg e=1mg d=0,1mg.
- Balanza analítica Precisa Max 205 g Min 10 mg e=1mg d=0,1mg.
- Calefactor y agitador VELP científica.
- Digestor calefaccionado DK 6 marca Velp scientific aver figura 6 c).
- Electrodo de platino HANNA instruments.
- Espectrofotómetro de absorción atómica (EAA) Modelo AA-6800 marca Shimadzu con Software WizaAard ver figura 6 b).
- Auto sampler AAS modelo ASC-6100 marca Shimadzu con capacidad para 60 muestras.
- Espectrofotómetro Thermo Spectronic, modelo Helios con celda de vidrio.
- Espectrofotómetro V-1700 PharmaSpec con celda de cuarzo.
- Horno Barnstead thermolyne 1300.
- HPLC – isocratic HPLC pump y HPLC – conductivity detector Waters 432 figura 6 a).
- Sonda multiparamétrica WTW modelo 3430 SET G.
- Termostático electrónico modelo DHG-9147A marca Sudelab con Control precesin +- 1°C tempcontrol range amb +10-300°C.
- Unidad de Destilación UDK 127 VELP científica ver figura 6 d).



a)

b)

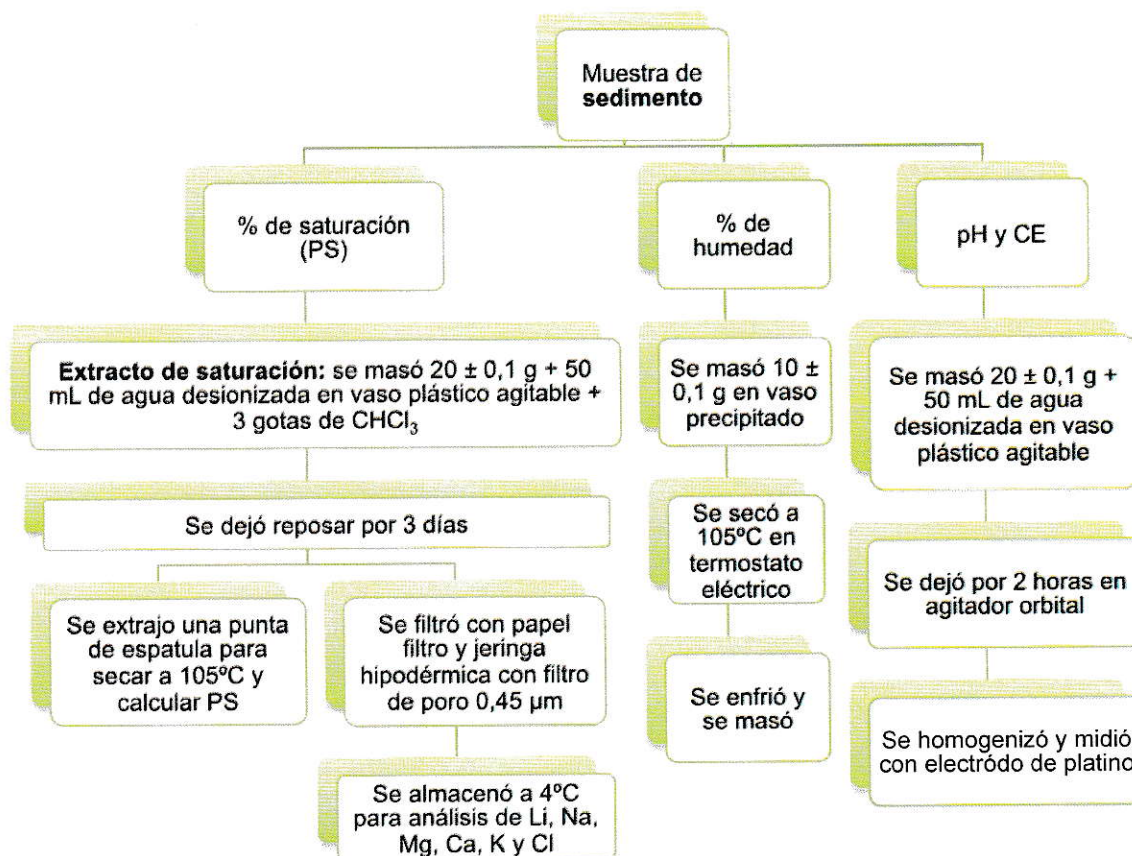
c)

d)

**Figura 6.** Montaje de equipos a) IE-HPLC b) EAA midiendo litio c) digestor para nitrógeno total d) destilador para nitrógeno total.

## 2.4. Determinación de características físicas

- El pH y CE del agua se midieron *in situ* con sonda multiparamétrica.



$$\text{Humedad (\%)} = \frac{a - b}{b - c} * 100 \quad \text{Ec/1/}$$

$$\text{Factor de corrección por humedad (fh)} = \frac{100 + \text{humedad (\%)}}{100} \quad \text{Ec/2/}$$

$$\text{Masa suelo seco } 105^{\circ}\text{C} = \frac{\text{masa suelo seco al aire}}{\text{fh}} \quad \text{Ec/3/}$$

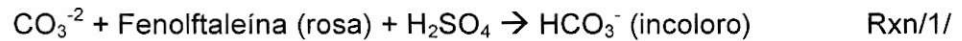
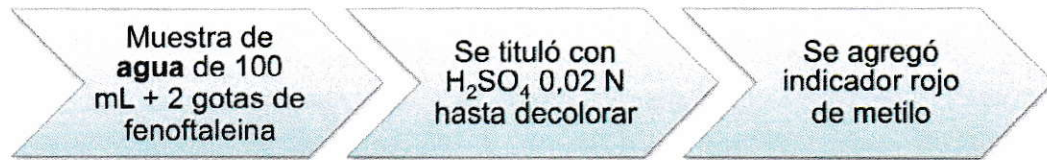
$$\text{Porcentaje de saturación (PS)} = \frac{a - b}{b - c} * 100 \quad \text{Ec/4/}$$

Donde:

- **a** = masa (g) extracto de saturación más recipiente
- **c** = masa (g) del recipiente
- **b** = masa (g) extracto de saturación seco a 105 °C más recipiente

## 2.5. Determinación de características químicas

### 2.5.1. Alcalinidad total (Golterman y col., 1978)

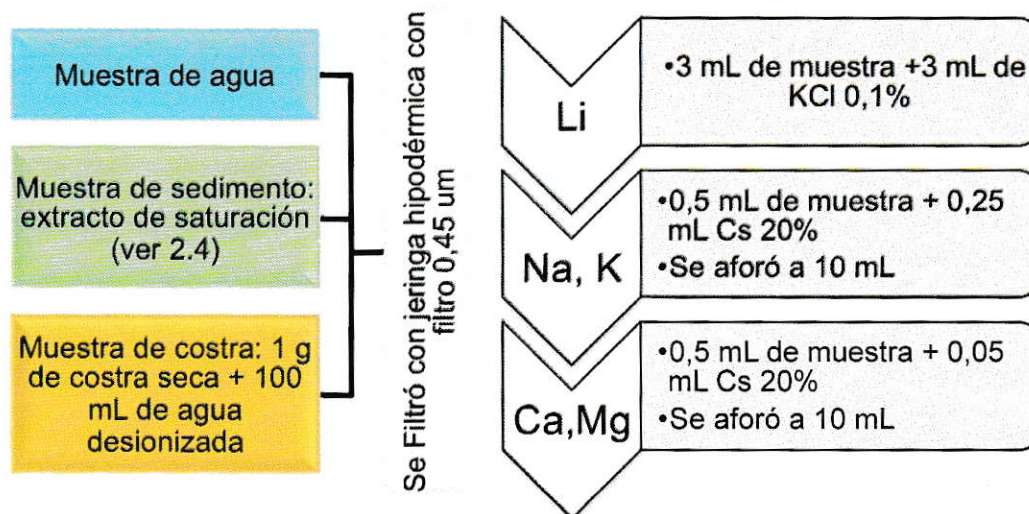


$$\text{AT} \left( \frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) = \frac{N * V_T}{V_s} * 100.091 * \frac{1 \text{ mol}_{\text{H}_2\text{SO}_4}}{2 \text{ Eq}_{\text{H}_2\text{SO}_4}} \quad \text{Ec/5/}$$

Donde:

- $\text{AT} \left( \frac{\text{mg}}{\text{L}} \right)$  = alcalinidad total ( $\text{OH}^- + \text{CO}_3^{-2} + \text{HCO}_3^-$ )
- $N$  = normalidad  $\text{H}_2\text{SO}_4$  (eq/L)
- $V_s$  = volumen de muestra (mL)
- **100.091** = masa molar  $\text{CaCO}_3$  (mg/mol)
- $V_T$  = volumen total (mL) utilizado para titular muestra (fenolftaleína + rojo de metilo)

### 2.5.2. Alcalinos y alcalinotérreos: sodio, potasio, litio, magnesio y calcio por EAA con llama aire- $\text{C}_2\text{H}_2$ (Sadzawka, 2006)



Para el análisis de los alcalinos y alcalinotérreos se utilizó el espectrofotómetro de absorción atómica (EAA). El sodio, potasio y litio se midieron por emisión.

**Tabla 1.** Condiciones experimentales del EAA para la medición de sodio, potasio, litio, calcio y magnesio

Parámetros	K	Na	Li	Ca	Mg
Ancho de rendija (nm)	0,5	0,2	0,5	0,5	0,5
Flujo (L/min <sup>-1</sup> )	1,8	1,8	1,8	2,0	1,8
Longitud de onda (nm)	766,5	589,0	670,8	422,43	285,15
Tipo de lámpara	-	-	-	Normal	Normal

$$\text{Li, K, Na, Mg, Ca soluble } \left( \frac{\text{mmol}(+)}{\text{L}} \right) = \frac{(a - b) * D_{\text{muestra}}}{\text{PE}} \quad \text{Ec/6/}$$

$$\text{Li, K, Na, Mg, Ca soluble } \left( \frac{\text{cmol}(+)}{\text{Kg}} \right) = \frac{\text{Li} \left( \frac{\text{mmol}(+)}{\text{L}} \right) * \text{PS} (\%)}{100 \% * \frac{10\text{mmol}}{1 \text{cmol}}} \quad \text{Ec/7/}$$

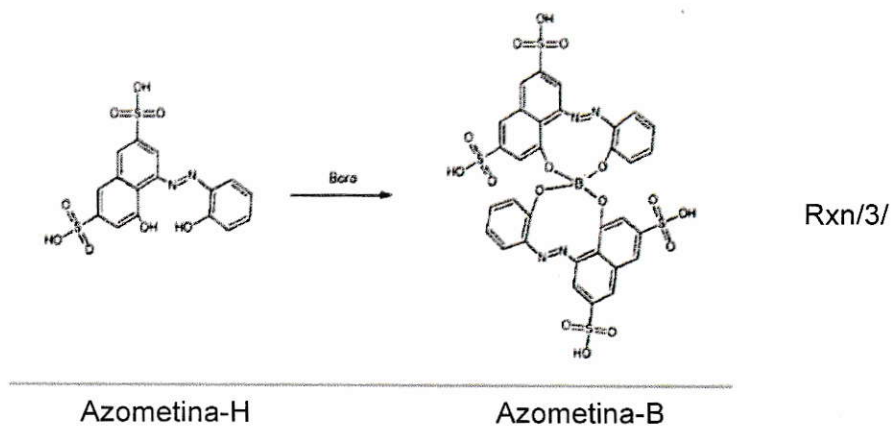
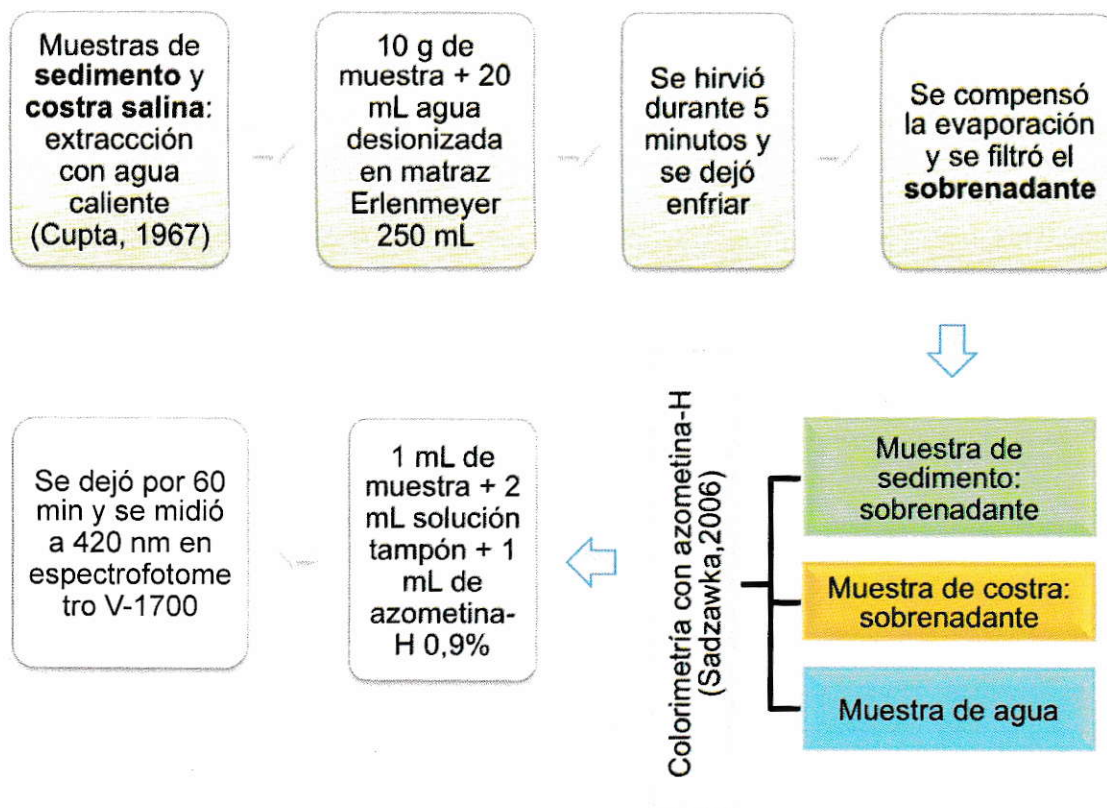
Donde:

- **a**= concentración de la muestra de sedimento (mg/L)
- **b**= concentración del blanco (mg/L)
- **PE**= peso equivalente (peso atómico/ valencia) litio 6,941 (g/eq), sodio (23 g/eq), potasio 39,1 (g/eq), calcio 20,04 (g/eq) y magnesio 12,16 (g/eq).
- **D<sub>muestra</sub>**= dilución de la muestra de sedimento
- **PS**= porcentaje de saturación (ver Ec/4/)

### 2.5.3. Boro

#### ❖ Soluciones

- **Azometina-H 0,9%**: se disolvió 1,35 g de azometina-H y 3 g de ácido ascórbico en 100 mL de agua desionizada. Se guardó en refrigerador y descartó a los 15 días.
- **Solución tampón**: se disolvió 250 g de acetato de amonio y 15 g de EDTA III en 400 mL de agua desionizada. Lentamente se agregó 125 mL de CH<sub>3</sub>COOH.



$$B \left( \frac{\text{mg}}{\text{Kg}} \right) = ((a - b) * D) * fh \quad \text{Ec/10}$$

Donde:

- **a**= concentración (mg/L) de la muestra de sedimento o costra salina

- **b**= concentración (mg/L) del blanco

- **D**= factor de dilución
- **fh**= factor de humedad

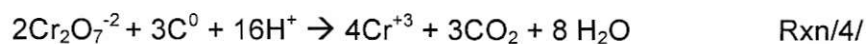
## 2.5.4. Carbono

### 2.5.4.1. Carbono orgánico fácilmente oxidable (CO) (Van Reeuwijk,1986)

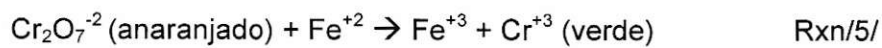
Muestra de **sedimento** de  $5 \pm 0,01$  g + 10 mL de  $K_2Cr_2O_7$  0,1667M  
+ 20 mL de  $H_2SO_4$  concentrado y se dejó por 30 min

Se agregó 180 mL de agua desionizada + 20 mL de  $H_3PO_4$  concentrado.

Se tituló con sulfato de hierro (II) 1M y se midió el voltaje con electrodo de platino



Se tituló el dicromato residual y viró el voltaje de 1000-900 mV a 300-400 mV.



$$C(\%) = \frac{(v1 - v2)}{s} * M * \left( \frac{1L}{1000mL} \right) * PE * FC * fh * 100\% \quad \text{Ec/11/}$$

$$MO (\%) = 1,724 * C(\%) \quad \text{Ec/12/}$$

Donde:

- **v1**= volumen de solución sulfato de hierro (II) gastados en el blanco (mL)
- **v2**= volumen de solución de sulfato de hierro (II) gastados (mL) en la muestra ejemplo del cálculo en figura 20 (anexo 6.2)
- **1,724**= factor de de Bemmelen asumiendo que en promedio sólo el 58% de la materia orgánica es carbono orgánico
- **FC**=1,3 factor de compensación por la combustión incompleta de MO.
- **M**= molaridad de solución de sulfato de hierro (II) (mol/L)
- **Peq**= peso equivalente (peso atómico/ valencia)
- **s** = masa de la muestra seca al aire de sedimento (g)
- **fh**= factor de corrección por humedad

#### 2.5.4.2. Carbono orgánico total por calcinación (COT) (Byers y col., 1978)



$$\text{COT}(\%) = \frac{(\text{masa inicial} - \text{masa final}) * 100}{\text{masa inicial}}$$

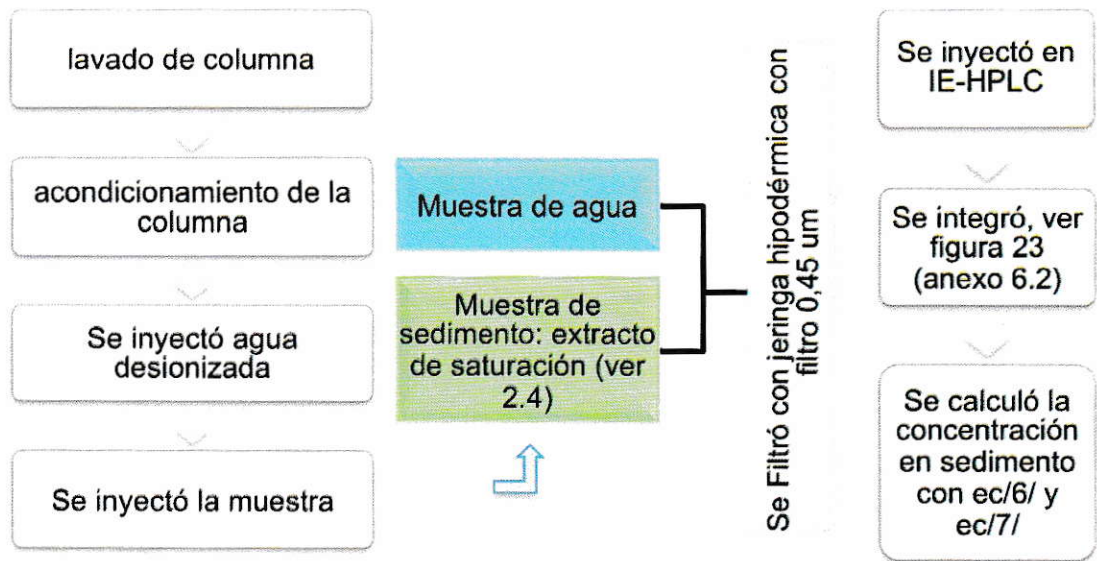
Ec/13/

#### 2.5.5. Cloruro por cromatografía de intercambio iónico (IE-HPLC)

##### ❖ Soluciones

- **Concentrado de gluconato de borato (CGB):** se masó 68 g de ácido bórico, se agregó 47 mL de ácido glicólico, se agregó 17,2 g de hidróxido de litio monohidratado, se agregó 500 mL de glicerina, se homogeneizó entibiando la mezcla y se aforó a 1 L con agua desionizada. Se almacenó en botella ámbar y se refrigeró.
- **Lavado de Columna:** se agregó 40 mL de **CGB**, se agregó 40 mL de n-butanol, se agregó 240 mL de acetonitrilo y se aforó a 1 L con agua desionizada. Se homogeneizó y almacenó a 4°C en botella ámbar.
- **Fase móvil:** se agregó 20 mL **CGB**, se agregó 120 mL de acetonitrilo y se aforó a 1 L con agua desionizada. Se homogeneizó y almacenó a 4°C en botella ámbar.





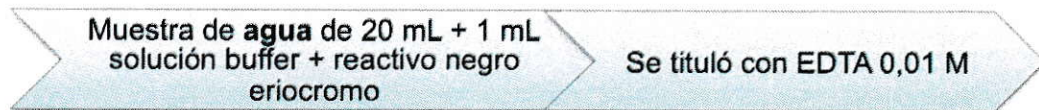
Se trabajó bajo las siguientes condiciones del equipo HPLC:

- Volumen de inyección 50 µL
- Flujo fase móvil :  $1,2 \frac{\text{mL}}{\text{min}}$
- Columna resina de cationes IC-Pck catión M/D c-8 (+) polar

### 2.5.6. Dureza total (APHA, 1995)

#### ❖ Soluciones

- **Buffer pH 10:** se disolvió 1,179 g de EDTA III y 780 mg de sulfato de magnesio (II) en 50 mL de agua desionizada.
- **EDTA 0,01 M:** se disolvió 3,723 g de EDTA III en 1 L de agua desionizada.



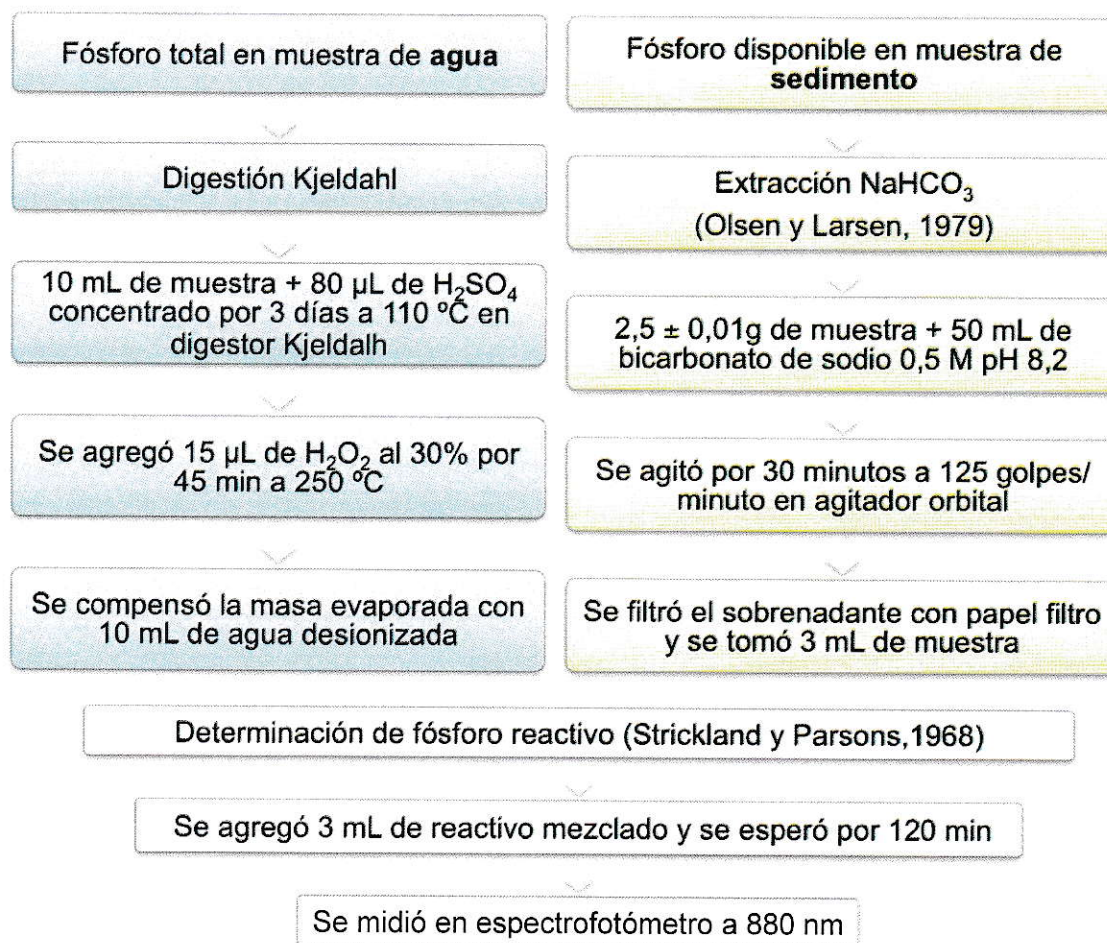
$$\text{Dureza total } (\text{CaCO}_3) \left( \frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) = \frac{V_{\text{EDTA}} M_{\text{EDTA}}}{V_{\text{muestra}}} * 100.091 \quad \text{Ec/14/}$$

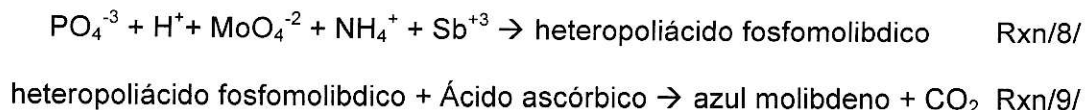
Donde:

- $V_{EDTA}$  = volumen de EDTA gastado al titular (mL)
- $M_{EDTA}$  = molaridad EDTA (mol/L)
- $V_{muestra}$  = volumen de muestra de agua titulada (mL)
- $100.091$  = masa molar  $CaCO_3$  (mg/mol)

### 2.5.7. Fósforo

- **Reactivo mezclado:** se mezcló 10 mL de  $H_2SO_4$  4 M, 3 mL de solución molibdato de amonio 4%, 1 mL de solución tartrato de potasio y antimonio 0,275%, 6 mL de solución ácido ascórbico 0,1 M y 40 mL de agua desionizada. La estabilidad del reactivo mezclado es de 30 min.





$$P \left( \frac{\text{mg}}{\text{Kg}} \right) = (a - b) * D * fh \quad \text{Ec/15/}$$

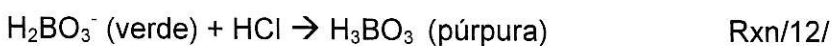
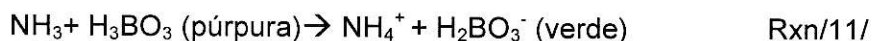
**Donde:**

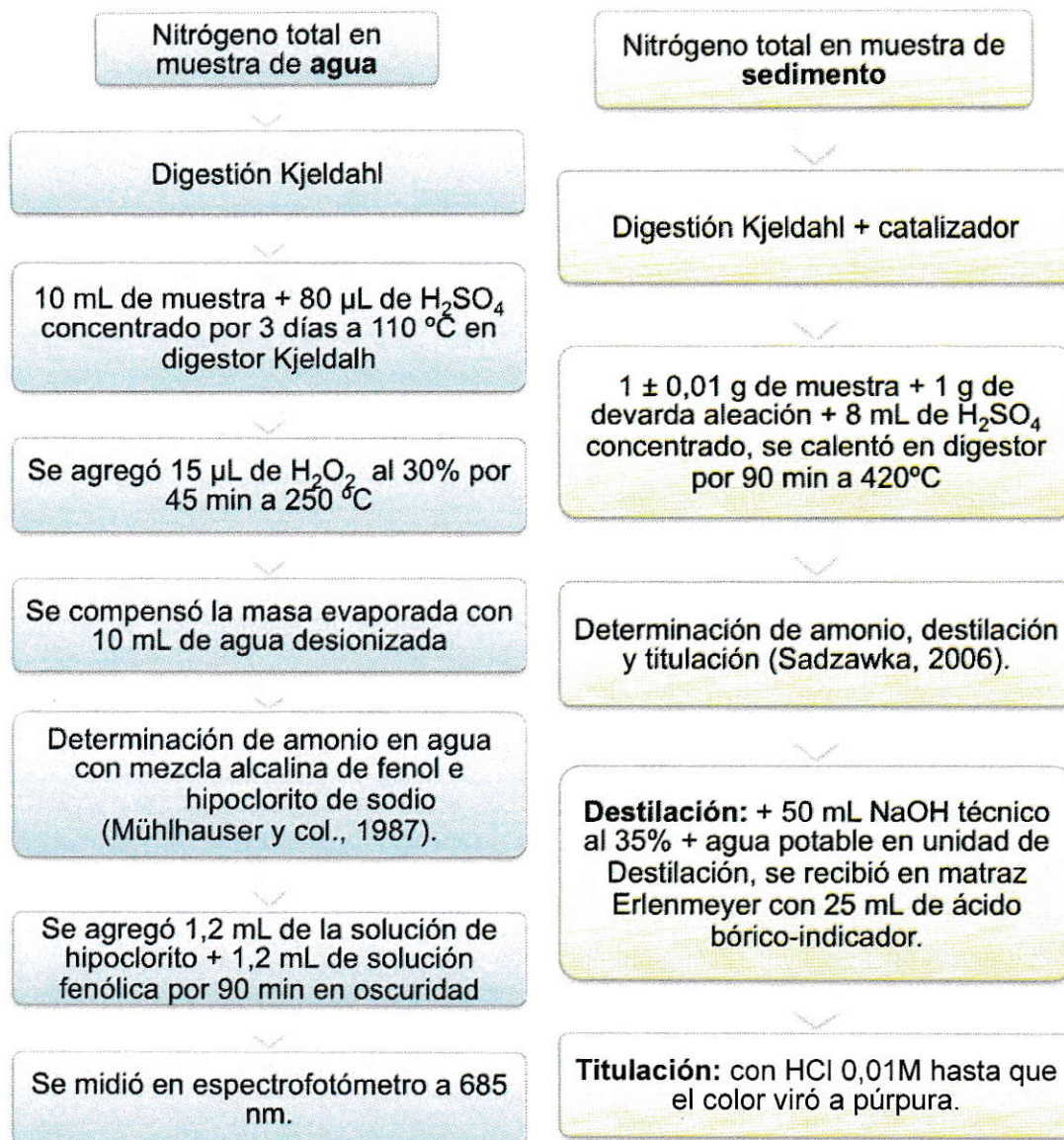
- **a**= concentración (mg/L) de la muestra
- **b**= concentración (mg/L) del blanco
- **D**= factor de dilución líquido:suelo (50mL/2,5g)
- **fh**= factor de humedad (ver Ec/2/)

### 2.5.8. Nitrógeno

#### ❖ Soluciones

- **NaOH-EDTA:** se disolvió 13 g de NaOH para análisis en 100 mL de EDTA III para análisis MERCK 0,1 M.
- **Hipoclorito:** se disolvió 108 mg de dicloroisocianurato en 90 mL de la solución de NaOH-EDTA.
- **Solución fenólica:** se disolvió 12 g de Salicilato de sodio y 100 mg de sodio nitroprusiato en 100 mL de agua desionizada. Se preparó en el momento, su estabilidad es de 15 min. Se trabajó a luz tenue y se guardó en oscuridad.
- **Solución indicadora:** se disolvió 0,13 g de rojo de metilo y 0,20 g de verde de bromocresol en 200 mL de etanol 96%.
- **Solución ácido bórico-indicador:** se disolvió 10 g de ácido bórico en 900mL de agua destilada a 80°C, se homogeneizó y se enfrió. Finalmente se agregó 20 mL de solución indicadora y se aforó a 1 L.





$$N(\%) = \frac{(v1 - v2)}{s} * M * \left(\frac{1L}{1000mL}\right) * 14 * fh * 100\% \quad Ec/16/$$

**Donde:**

**v1=** volumen de solución sulfato ferroso gastados en el blanco (mL)

**v2=** volumen de solución de sulfato ferroso gastados en la muestra (mL)

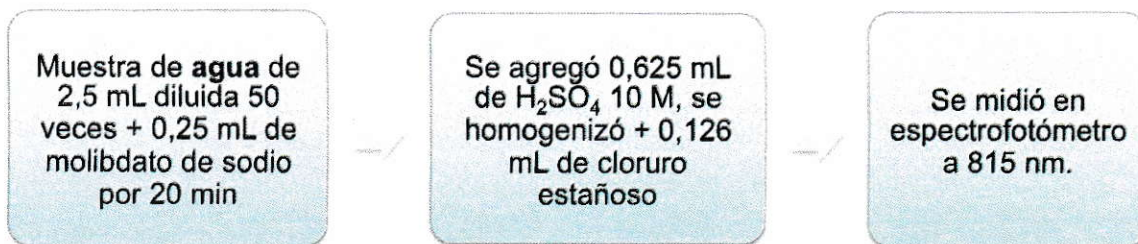
**M=** molaridad de HCl (mol/L)

**14=** masa molar N (g/mol)

**s=** masa de la muestra seca al aire (g)

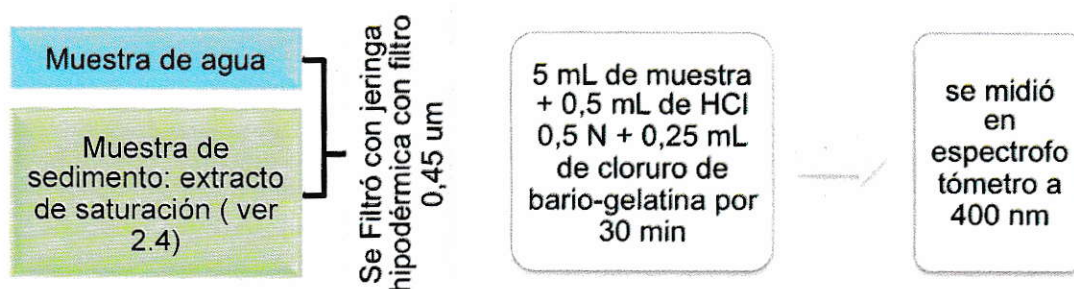
**fh=** factor de corrección por humedad

### 2.5.9. Sílice: método de molibdato de sílice reactivo (Koroleff, 1972)



### 2.5.10. Sulfato: método de turbidimetría (Tabatabai, 1974)

- **Solución de cloruro de bario-gelatina:** se disolvió 0,6 g de gelatina bacteriológica en 200 mL de agua desionizada a 70°C, se enfrió por 16 horas a 4°C y se agregó 2 g de cloruro de bario. Se almacenó a 4°C.



$$\text{SO}_4^{-2} \left( \frac{\text{cmol}(-)}{\text{Kg de suelo}} \right) = \frac{a * \text{FD} * \text{PS} (\%)}{100 \% * \frac{10\text{mmol}}{1 \text{cmol}} * \text{PE}} \quad \text{EC/17/}$$

Donde:

- **FD**= factor de dilución
- **PS**= porcentaje de saturación
- **a**= concentración de  $\text{SO}_4^{-2}$  (mg/L)
- **Peq**= peso equivalente (peso atómico/ valencia) (48 g/eq para sulfato)

## 2.6. Análisis estadístico en software R y métodos gráficos

Para interpretar los resultados se utilizó:

- **Diagrama de Piper Hill Langellier:** es una expresión gráfica y colectiva de los puntos de muestreo, a través de la representación porcentual de miliequivalentes.
- **Diagrama de Stiff:** es una expresión gráfica del promedio de la concentración en miliequivalentes por litro por punto de muestreo.

Para interpretar los resultados estadísticamente se utilizó:

- **Análisis de Cluster:** es un gráfico que sirvió para distinguir diferencias y similitudes entre dos o más variables fisicoquímicas, en este análisis se consideraron las muestras control como otro punto, en total fueron de 18 datos. Además se agrupó en rojo los sitios con mayor similitud.
- **Test de Kruskal-Wallis y test de Tukey:** análisis para saber si existen diferencias significativas se utilizó el criterio de p value <0,05.
- **Análisis de Boxplot:** es un gráfico de caja, donde se distingue la existencia de valores atípicos (círculo blanco) y simetría de distribución (rectángulo), en el rectángulo se encuentra el 50% de los datos, desde el 25-75% del total de datos y la línea gruesa corresponde a la mediana.

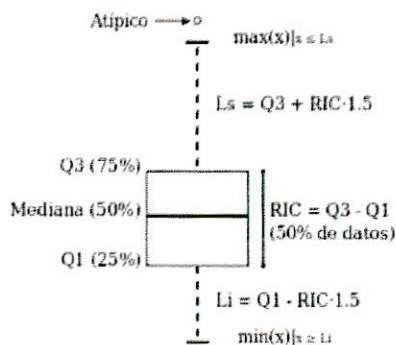


Figura 7. Ejemplo de análisis de Boxplot.

### III RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1. Caracterización fisicoquímica del agua

En la siguiente tabla se muestran los valores de calcio, magnesio, sodio, potasio, sulfato y cloruro en agua.

**Tabla 2.** Concentración de calcio, magnesio, sodio, potasio, sulfato y cloruro en agua ( $\text{mgL}^{-1}$ ).

SITIO	Na	K	Mg	Ca	$\text{SO}_4^{-2}$	$\text{Cl}^-$
A.V1.1	2016,0	32,5	93,7	765,5	107,8	3107,4
A.V1.1R	2041,6	37,5	92,1	733,6	102,4	3047,4
A.V1.2	2038,3	14,2	100,2	938,1	119,9	3554,7
A.V1.2R	1976,8	13,1	98,8	844,7	98,6	2642,4
A.V1.3	2201,9	14,5	105,1	972,1	184,5	3389,6
A.V1.3R	2133,1	14,0	106,0	971,6	200,5	3766,9
A.V6.1	956,1	3,0	80,4	202,6	63,0	991,5
A.V6.1R	966,4	3,0	82,6	211,8	61,8	929,8
A.V6.2	979,7	3,1	81,7	209,9	63,3	1055,4
A.V6.2R	1034,2	3,3	83,7	206,2	63,5	866,5
A.V6.3	1068,8	3,3	88,4	219,1	71,4	1046,0
A.V6.3R	1090,5	3,5	89,1	220,7	78,5	1014,4
A.V11.1	591,9	5,7	79,0	177,2	49,5	1424,5
A.V11.1R	599,2	6,2	82,7	174,9	50,7	453,7
A.V11.2	605,9	5,5	74,5	170,7	50,4	565,9
A.V11.2R	610,9	5,3	78,5	172,6	50,0	406,0
A.V11.3	576,3	5,7	73,8	171,7	89,9	505,7
A.V11.3R	574,3	5,6	95,4	332,6	51,9	542,7

En la Norma Chilena NCh N°1333/78 "Requisitos de Calidad del Agua para Diferentes Usos" el límite máximo para el agua de riego es 200 (mg/L) para cloruro; 0,2 (mg/L) para magnesio y 250 (mg/L) para sulfato. En el salar las concentraciones mínimas y máximas que superaron la norma fueron de 500 a 3500 (mg/L) para cloruro y 75 a 100 (mg/L) para magnesio, fue la vertiente 1 que presentó los valores más altos. Estos rangos podrían estar influyendo en el estado de las macrófitas, plantas acuáticas, que corresponden en su mayoría a la vegetación de las vertientes del Salar de Ascotán y forman parte del hábitat de *Orestias ascotanensis*.

### ✓ Diagrama de Piper

Para la clasificación y el origen del agua se realizó el diagrama de Piper (figura 8). En las tres vertientes la concentración de cloruro predominó sobre la de sulfato. En las vertientes 1 y 11 el calcio y sodio+potasio fueron iguales, solo se diferenciaron en el magnesio, pues la vertiente 11 presentó un porcentaje mayor. La vertiente 6 tuvo concentraciones menores para calcio, sodio+potasio y magnesio. Pese a las pequeñas diferencias en porcentajes, en las tres vertientes predominó la naturaleza clorurada sódica, ver figura 21 (anexo 6.4).

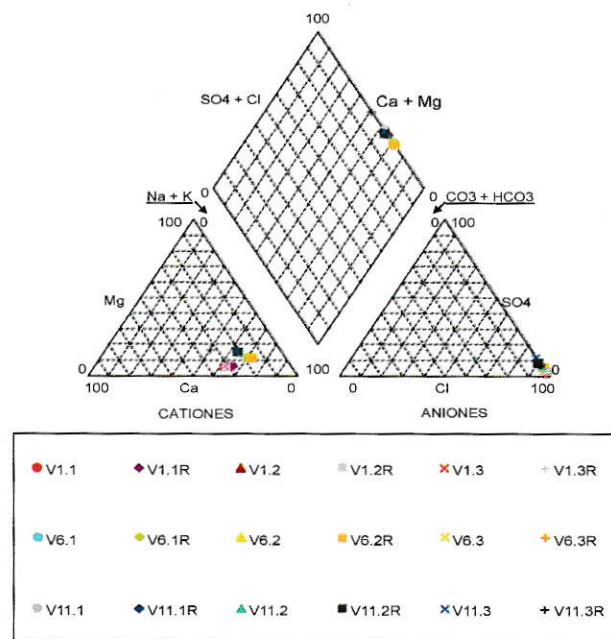


Figura 8. Diagrama de Piper para las vertientes 1, 6 y 11.



El diagrama de Piper permitió un análisis colectivo de los puntos de muestreo y se determinó la naturaleza clorurada sódica del agua, pero para diferenciar las concentraciones de calcio y sulfato entre las vertientes se utilizó el diagrama de Stiff.

### ✓ Diagrama de Stiff

En el diagrama de Stiff (figura 9) el cloruro y sodio+potasio predominó en las tres vertientes, como ya se clasificó. En cuanto a los otros iones, el calcio oscila entre 40 y 10 meq/L, concentraciones mayores al sulfato, por lo que la vía de formación es cálcica, estos resultados son consistentes con Risacher y col,1999.

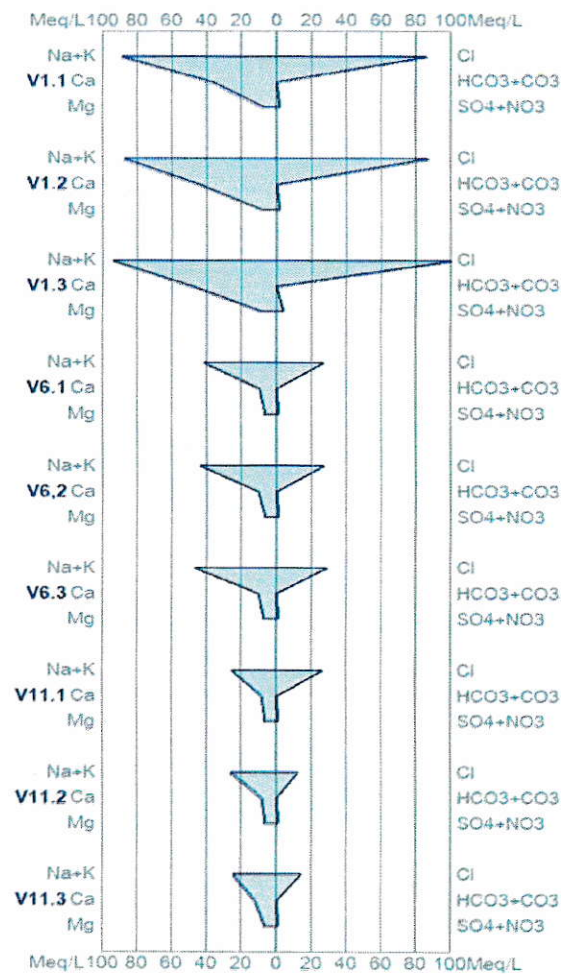


Figura 9. Diagrama de Stiff para tres puntos en las vertientes 1, 6 y 11.

En la siguiente tabla se muestran los valores de fósforo total, nitrógeno total, boro, litio, sílice, pH, conductividad eléctrica, dureza total y alcalinidad total en agua.

**Tabla 3.** Concentración de fósforo total (PT), nitrógeno total (NT), boro, litio, sílice conductividad eléctrica (CE), pH, dureza total (D) y alcalinidad total (AT) en agua.

SITIO	PT [ $\frac{mg}{L}$ ]	NT [ $\frac{mg}{L}$ ]	B [ $\frac{mg}{L}$ ]	Li [ $\frac{mg}{L}$ ]	Si [ $\frac{mg}{L}$ ]	CE [ $\frac{mS}{cm}$ ]	pH	D [ $\frac{mg}{L}$ ]	AT [ $\frac{mg}{L}$ ]
A.V1.1	0,3	0,4	4,3	18,0	316,0	12,9	8,1	1741,6	3,5
A.V1.1R	0,4	0,3	4,4	17,8	309,8	12,7	8,0	1671,5	4,0
A.V1.2	0,4	0,5	4,8	20,2	302,7	14,4	8,8	1864,2	4,5
A.V1.2R	0,3	0,4	4,2	18,5	255,8	12,8	8,3	1694,0	4,5
A.V1.3	0,3	0,4	4,6	19,3	297,4	14,4	8,0	1994,3	4,0
A.V1.3R	0,3	0,5	4,9	20,0	338,2	14,4	8,0	1951,8	4,8
A.V6.1	0,2	0,1	0,6	6,1	261,1	4,0	8,4	495,5	8,0
A.V6.1R	0,1	0,3	0,6	6,1	324,0	4,0	8,3	523,0	8,5
A.V6.2	0,1	0,4	0,2	6,1	269,9	4,0	8,3	508,0	8,0
A.V6.2R	0,1	0,3	0,5	6,1	275,3	4,0	8,4	492,9	8,0
A.V6.3	0,2	0,7	0,7	37,8	284,1	4,4	7,8	568,0	17,3
A.V6.3R	0,2	0,9	0,5	52,2	281,5	4,2	8,2	492,9	6,3
A.V11.1	0,4	0,1	1,7	9,6	424,2	2,5	8,2	480,4	11,0
A.V11.1R	0,2	0,1	1,5	10,2	154,7	2,5	8,3	480,4	11,5
A.V11.2	0,2	0,2	1,8	10,4	421,5	2,5	8,5	469,2	9,3
A.V11.2R	0,2	0,2	1,0	10,4	420,7	2,5	8,4	490,4	9,5
A.V11.3	0,2	0,1	1,4	10,7	398,5	2,5	8,6	482,9	9,7
A.V11.3R	0,2	0,2	1,3	10,7	394,9	2,5	8,5	462,9	9,0

La **conductividad** puede clasificar el agua como salobre por presentar valores entre 2,5 y 12 (mS/cm), es decir, tiene mayor cantidad de sales disueltas que el agua dulce y menos que el agua de mar, cuyo valor supera los 50 (mS/cm). Por otra parte la conductividad podría ser un indicador del estado de conservación de las macrófitas, pues según la norma chilena para riego (Nch/1333) la vertiente 11 se clasificó como agua que puede tener efectos adversos en muchos cultivos por ser menor a 3 (mS/cm). En cambio, el agua de la vertiente 6 puede ser usada sólo para plantas tolerantes pues su valor fue mayor a 3 (mS/cm), por último el agua de la vertiente 1 no entró en la clasificación porque superó los valores descritos en la norma, esto coincidió con la baja presencia de macrófitas en el lugar y su estado deteriorado al momento del muestreo.

Por otra parte el **pH** corresponde a rangos en que, habitualmente, viven los peces marinos, un pH entre 8,0 y 8,45; en general, los peces de agua dulce no superan pH 8,0.

En agua la forma hidrosoluble del sílice es el ácido ortosilícico, por lo tanto es la forma activa y relevante a nivel biológico, estudios en ratas y pollos establecieron que el sílice es fundamental para el desarrollo correcto de los huesos, articulaciones, cartílagos y colágeno (Martín, 2007). Además forma parte del grupo de mayor abundancia en la corteza terrestre, los **silicatos**, que provienen de la roca madre y actividad volcánica, el valor promedio en los ríos de Sudamérica es de 11,9 (mg/L), lo cual es menor a las concentraciones del Salar de Ascotán cuyos valores oscilaron entre 260 a 420 (mg/L). Además se estima que estos valores habrían permitido el crecimiento masivo de diatomeas durante los períodos de mayor humedad en la región, por lo que se propone un estudio de diatomeas partiendo por la vertiente 11, la que presentó mayor concentración de sílice.

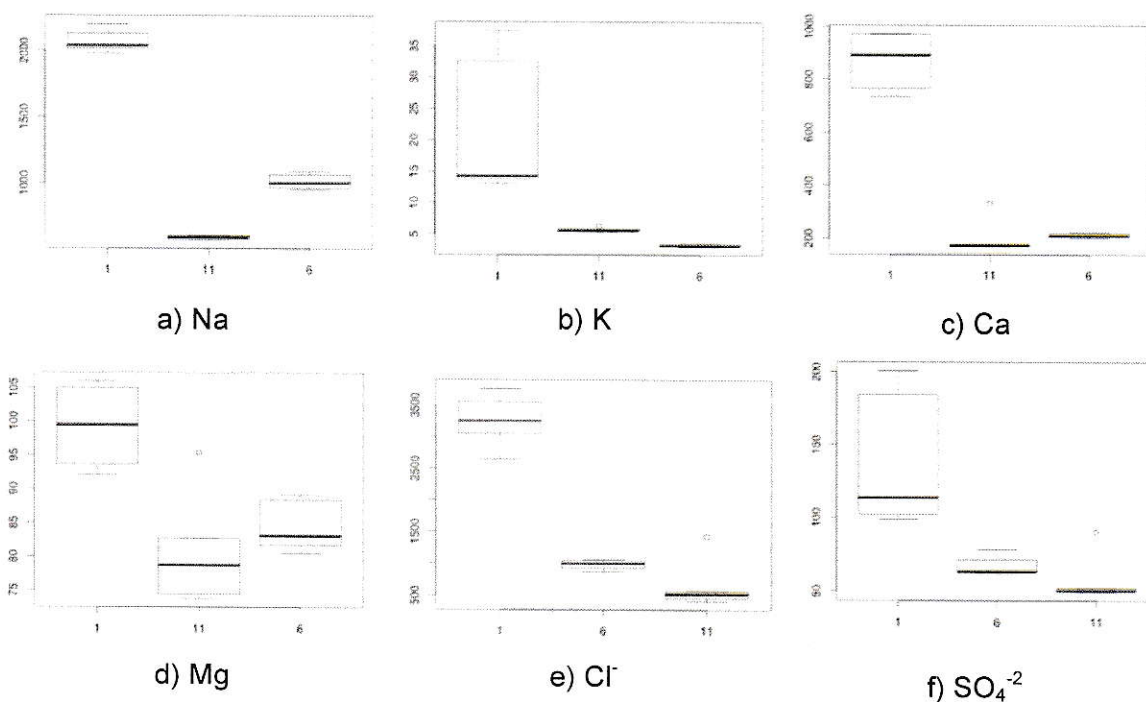
El **nitrógeno total y fósforo total** son los principales nutrientes del sistema, e incorporan los compuestos orgánicos e inorgánicos como las proteínas, ácido nucleicos y restos orgánicos de todo organismo acuático en la muestra de agua, es decir, fitoplancton, zooplancton entre otros. Las vertientes 1 y 11 no variaron las concentraciones de NT y PT, sin embargo los valores de la vertiente 6 fueron más altos para NT que PT, lo cual se puede atribuir al principal producto de excreción en peces,

el amonio, pues en esta vertiente es donde se encontraron más ejemplares de *Orestias ascotanensis* al momento del muestreo.

El litio es un elemento que se clasifica como no tóxico pero es bioacumulable por las plantas, en el mar alcanza una concentración de 0,2 (mg/L), en la Norma Chilena NCh N°1333/78 el valor máximo permitido en agua para riego es 2,5 (mg/L), estos valores son menores a los encontrados en el Salar de Ascotán, cuyas concentraciones oscilan entre 6 y 35 (mg/L).

El boro es un elemento esencial para el desarrollo de las plantas, participa en el movimiento de fotosintatos (compuestos que tienen su origen en la fotosíntesis), favorece el movimiento del calcio en un rango de 0,3 a 0,5 (mg/L), puede ser tóxico sobre 1 (mg/L) para la vida acuática o terrestre y es bioacumulado en los organismos (OMS, 1998). En el agua de riego se permite hasta 0,75 (mg/L), sólo la vertiente 11 no superó la norma con un valor de 0,5 (mg/L).

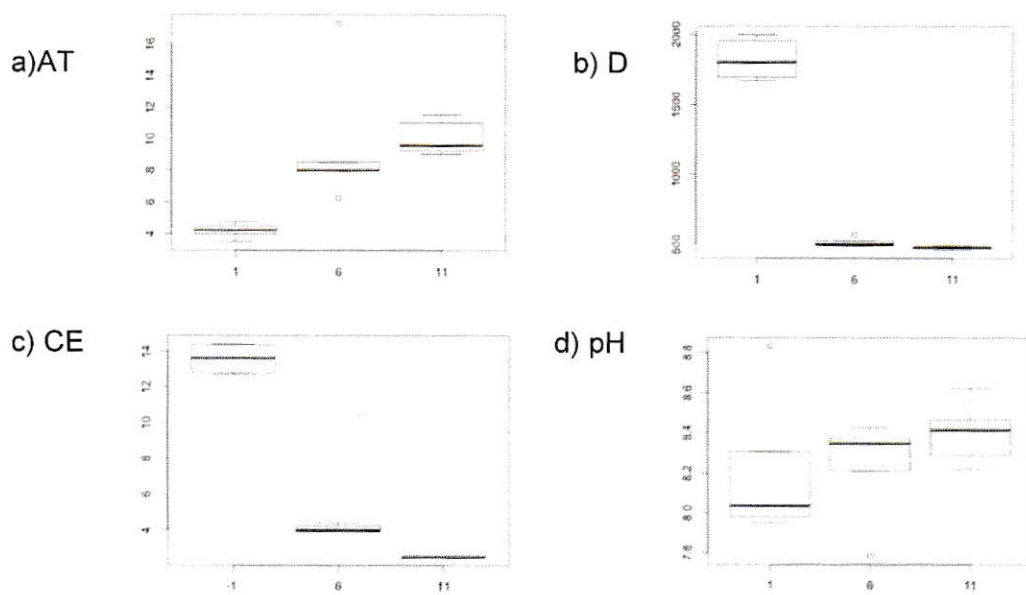
#### ✓ Análisis de Boxplot



**Figura 10.** Gráficos de Boxplot para a) sodio b) potasio c) calcio d) magnesio e) cloruro y f) sulfato en agua.

En la figura 10 y 11 la vertiente 1 presentó las concentraciones más altas para sodio, calcio, magnesio, cloruro, sulfato, potasio, dureza y conductividad, casi todos estos análisis, a excepción del potasio, siguieron un patrón de concentración disminuyendo de norte a sur ( $V1 > V6 > V11$ ). La concentración de potasio difiere, la vertiente 11 es mayor que la vertiente 6. Por el contrario la alcalinidad total aumentó su concentración de norte a sur ( $V1 < V6 < V11$ ). Finalmente el pH no presentó mayores variaciones entre las vertientes.

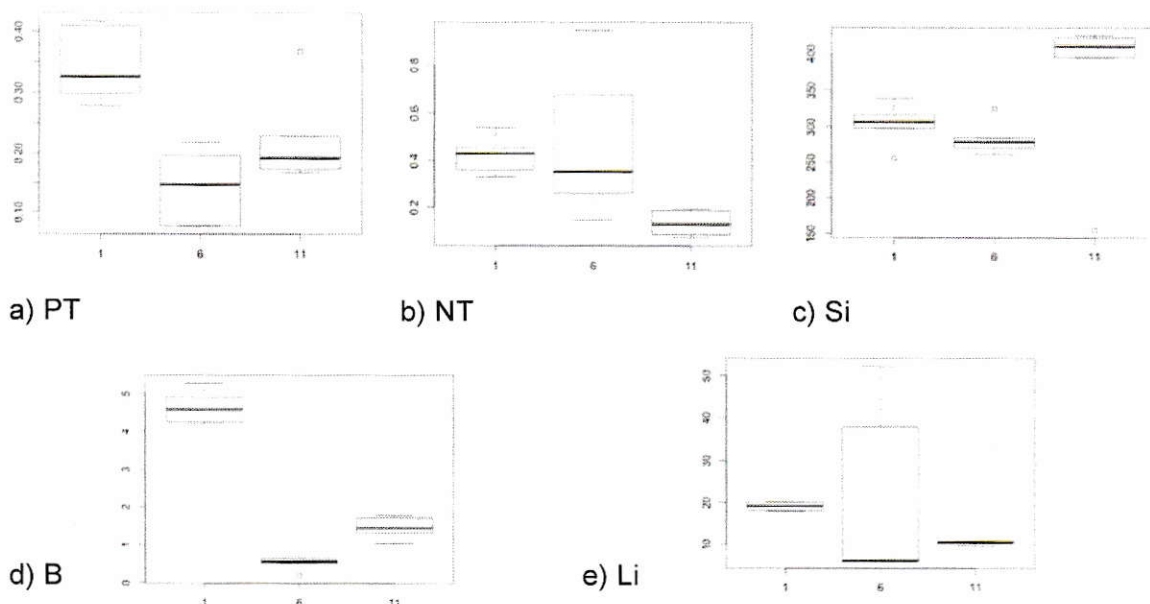
En general, los valores a lo largo de las vertientes 6 y 11 no variaron, excepto en el magnesio, cuya concentración fue heterogénea en las tres vertientes. Además del magnesio las concentraciones de potasio, calcio, cloruro y sulfato fueron heterogéneas en la vertiente 1.



**Figura 11.** Gráficos de Boxplot para a) alcalinidad total b) dureza c) conductividad eléctrica d) pH en agua.

En la figura 12 la mediana del fósforo total, boro y litio presentaron distribución heterogénea y una tendencia de  $V1 > V11 > V6$ , igual que el potasio, es decir, la vertiente 6 presentó concentraciones más bajas.

El NT presentó la misma tendencia que casi todos los aniones y cationes, la concentración disminuyó de norte a sur.



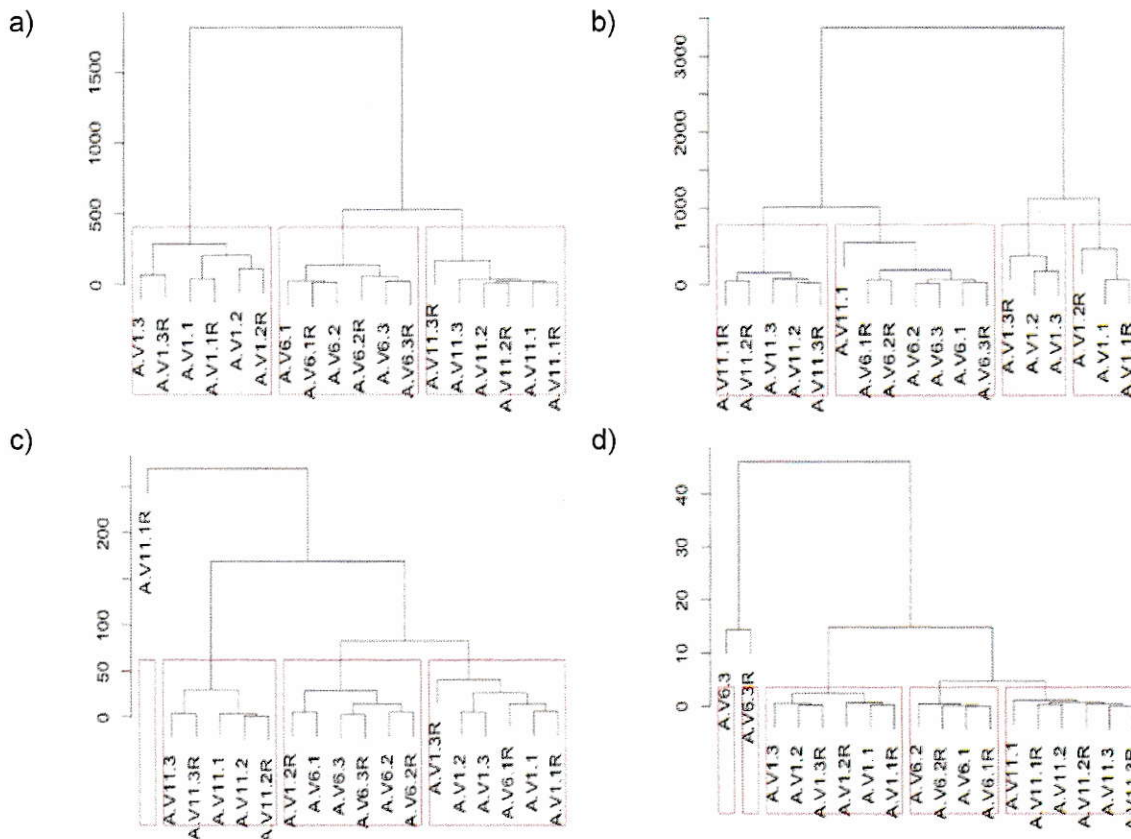
**Figura 12.** Gráficos de Boxplot para a) fósforo total b) nitrógeno total c) sílice d) boro e) litio en agua.

### ✓ Análisis de Cluster

Al agrupar los puntos de muestreo para los cationes se observó que las tres vertientes fueron aisladas, aunque la vertiente 6 y 11 comparten un origen común, por lo que las concentraciones en estos lugares serían más semejantes entre sí, que con la vertiente 1.

En el Cluster para sulfato y cloruro, figura 13 b), la agrupación de los puntos de muestreo fue similar a los cationes, excepto que dentro de la vertiente 1 las concentraciones llegaron a ser tan diferentes que forman grupos independientes, esta distribución no se observó en el análisis de cationes, donde el sodio sería el predominante por su alta concentración. Esto llevó a pensar que el origen de los

aniones, principalmente el cloruro, está condicionado por otra fuente además de la dilución de Halita (NaCl).



**Figura 13.** Gráficos de Cluster para a) sodio, potasio, calcio y magnesio en agua, b) sulfato y cloruro en agua, c) fósforo total, nitrógeno total y sílice en agua, d) boro y litio en agua.

El Cluster de pH y la conductividad, figura 22 (anexo 6.5) fue idéntico al de los cationes, esto se puede explicar por la relación entre la conductividad y las sales solubles, donde el sodio presentó la mayor concentración de los cationes. Así mismo el Cluster de dureza total y alcalinidad total en la figura 23 (anexo 6.5) fue idéntico a la distribución de sulfato y cloruro, esto relacionó la dureza con el cloruro. Si bien en la naturaleza el cloruro está asociado generalmente al sodio, esto cambia cuando las concentraciones de cloruro son mayores a 1000 (mg/L) pues en este caso predominan

los iones de calcio y magnesio. Por lo tanto se propone que en la vertiente 1 el cloruro se encuentra altamente ligado a los iones de calcio.

#### ✓ Test de Kruskal Wallis y test de Tukey

Se agruparon las vertientes de la siguiente manera: en agua la vertiente 1 diferente a las vertientes 11 y 6 para sulfato, magnesio, calcio, cloruro y fósforo total, por último la vertiente 11 diferente a las vertientes 1 y 6 para nitrógeno total.

#### ✓ Profundidad

En terreno se midió la profundidad de cada punto de muestreo como se muestra en la siguiente figura.

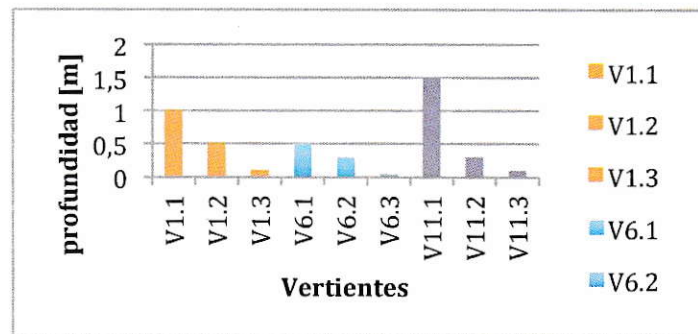


Figura 14. Profundidad de los puntos de muestreo en cada vertiente.

A pesar de que los puntos muestreados fueron colectados a distintas profundidades (figura 14), al comparar con los análisis anteriores las diferencias encontradas fueron entre vertientes no intravertientes, por lo que posiblemente el efecto de la evaporación no sea la causa principal de las distintas concentraciones en las vertientes.

### 3.2. Caracterización fisicoquímica del sedimento

En la siguiente tabla se muestran los valores de calcio, magnesio, sodio, potasio, sulfato y cloruro en sedimento.



**Tabla 4.** Concentración de litio, potasio, sodio, magnesio, calcio, sulfato y cloruro en sedimento ( $\text{cmolKg}^{-1}$ ).

SITIO	Li	K	Na	Mg	Ca	$\text{SO}_4^{-2}$	$\text{Cl}^-$
S.V1.1	0,14	3,54	8,67	0,51	5,24	51,64	6,80
S.V1.1R	0,17	4,00	7,02	0,49	5,91	85,74	6,93
S.V1.2	0,05	1,07	2,49	0,24	1,99	28,15	1,84
S.V1.2R	0,03	0,46	2,18	0,16	1,21	30,31	1,61
S.V1.3	0,02	0,24	2,29	0,09	0,82	25,98	1,36
S.V1.3R	0,02	0,47	1,10	0,08	0,67	19,00	0,76
S.V6.1	0,01	0,25	0,32	0,07	0,29	21,88	0,04
S.V6.1R	0,00	0,14	1,30	0,03	0,16	5,64	0,03
S.V6.2	0,46	4,99	9,99	1,03	10,79	174,70	1,49
S.V6.2R	0,22	2,96	8,88	0,66	4,12	58,67	0,53
S.V6.3	0,98	8,58	9,78	0,86	9,46	191,51	2,56
S.V6.3R	0,06	1,65	3,68	0,56	1,27	66,99	0,58
S.V11.1	0,05	0,31	1,58	0,38	3,36	73,82	0,21
S.V11.1R	0,02	0,51	1,54	0,29	1,47	48,52	0,13
S.V11.2	0,09	0,93	3,46	0,61	3,41	89,48	0,47
S.V11.2R	0,11	1,47	4,67	0,78	6,01	141,68	0,47
S.V11.3	0,19	6,20	3,74	0,91	8,86	192,52	0,51
S.V11.3R	0,01	0,39	0,43	0,28	1,89	53,26	0,08

**Tabla 5.** Concentración de fósforo disponible (PD), boro, nitrógeno total (NT), carbono orgánico total (COT), carbono orgánico oxidable (CO), pH y conductividad eléctrica (CE) en sedimento

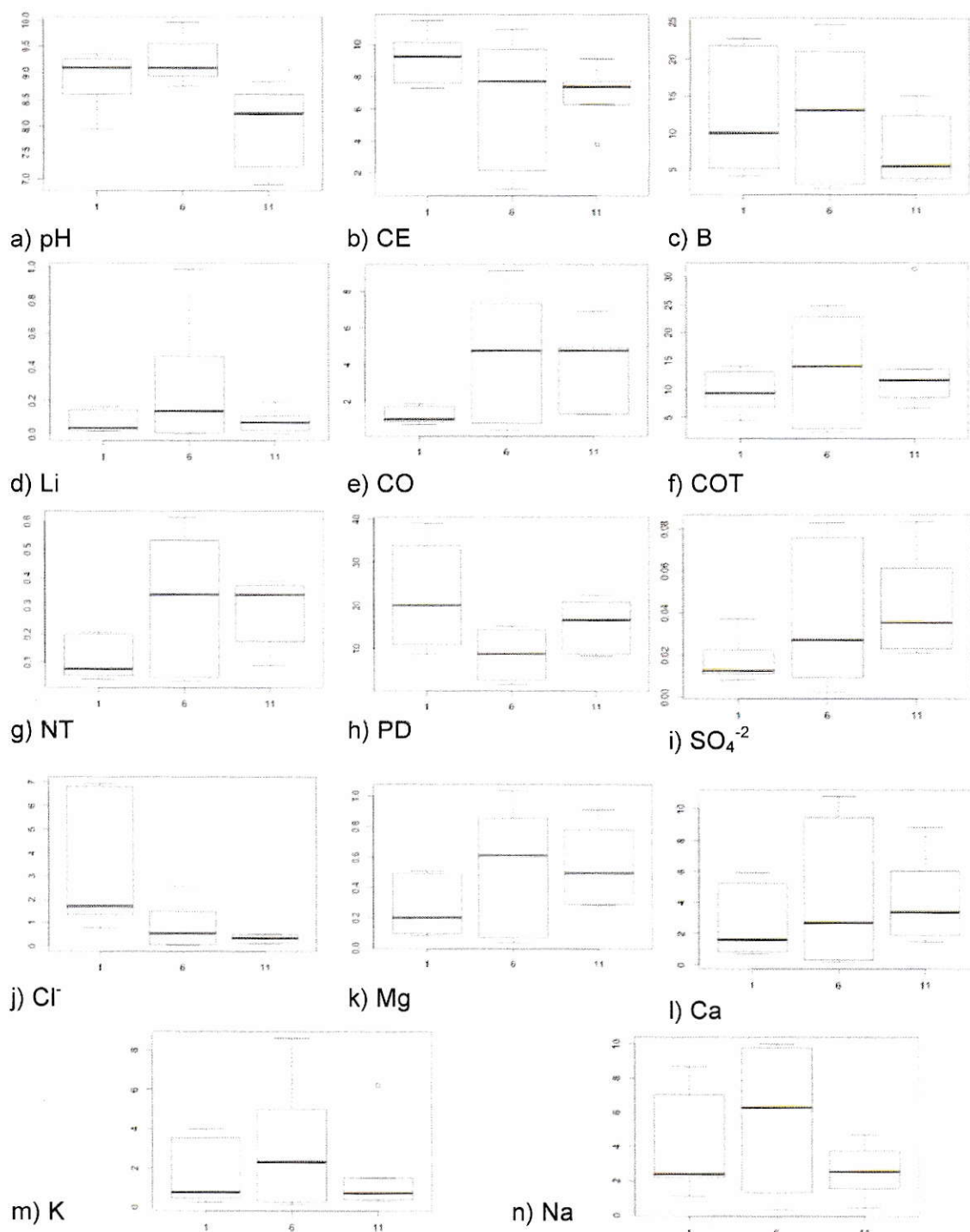
SITIO	PD $\left[\frac{\text{mg}}{\text{kg}}\right]$	B $\left[\frac{\text{mg}}{\text{kg}}\right]$	NT %	COT %	CO %	pH	CE $\left[\frac{\mu\text{S}}{\text{cm}}\right]$
S.V1.1	33,81	21,79	0,20	14,10	1,89	8,95	10,12
S.V1.1R	38,99	22,77	0,21	13,09	1,74	9,25	11,48
S.V1.2	15,86	9,40	0,10	9,43	0,90	9,25	9,75
S.V1.2R	24,10	10,87	0,05	9,23	0,72	9,35	8,74
S.V1.3	8,74	5,16	0,04	4,45	1,03	7,95	7,62
S.V1.3R	11,00	4,11	0,05	6,93	1,02	8,60	7,28
S.V6.1	2,80	2,43	0,03	3,03	0,81	9,55	2,16
S.V6.1R	1,70	21,00	0,05	2,41	0,44	9,95	0,97
S.V6.2	14,37	17,15	0,53	24,80	7,35	8,75	9,68
S.V6.2R	12,75	9,07	0,38	13,47	5,97	9,20	8,09
S.V6.3	15,21	24,63	0,61	22,79	9,17	9,00	10,92
S.V6.3R	4,99	2,96	0,30	14,62	3,58	8,95	7,40
S.V11.1	8,77	3,81	0,17	8,53	4,93	8,45	7,71
S.V11.1R	8,30	3,43	0,09	6,69	1,30	8,05	6,30
S.V11.2	20,70	12,42	0,39	13,52	4,69	8,85	7,47
S.V11.2R	20,22	5,34	0,31	11,90	6,92	8,60	7,37
S.V11.3	22,39	15,09	0,37	31,38	4,86	6,90	9,11
S.V11.3R	13,09	5,70	0,37	11,24	1,29	7,25	3,84

En sedimento el **carbono orgánico oxidable** corresponde a un conjunto de residuos orgánicos de la flora y la fauna, que están en diferentes estados de descomposición y se acumulan en la superficie del suelo. Además, incluye una fracción viva que participa en la descomposición y transformación de los residuos orgánicos se distingue una fracción lábil, disponible como fuente energética, que mantiene las características químicas de su material de origen (hidratos de carbono, ligninas, proteínas, taninos, ácidos grasos), y una fracción húmica, más estable, constituida por ácidos fúlvicos, ácidos húmicos y huminas insolubles en medio acuoso (Aguilera, 2000).

Por otra parte el **carbono orgánico total** puede encontrarse en forma de residuos orgánicos poco alterados de vegetales, animales y microorganismos, en forma de humus y en formas muy condensadas de composición próxima al C elemental o bien en forma inorgánica (Jackson, 1964). Es por esto que el porcentaje en carbono orgánico total fue mayor que en carbono oxidable, la diferencia promedio entre ambos fue mayor en la vertiente 1, un 12%, esto indicaría posiblemente que esta vertiente es la más antigua y que en algún momento presentó una abundancia mayor de flora y fauna, ya que el porcentaje promedio de carbono oxidable fue 1,2 % e indicaría una baja concentración de materia orgánica en descomposición, esta aproximación concuerda con Morales y col, 2011. La concentración de carbono oxidable en la vertiente 6 fue heterogénea y fue el valor máximo del análisis con un 7%.

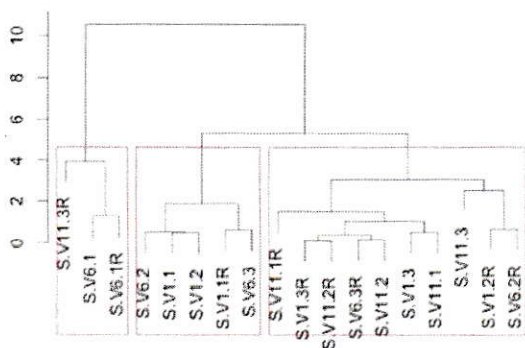
**El boro** en agua y sedimento fueron comparados con un estudio realizado en Turquía (Kose y col, 2012), donde se determinó la bioacumulación del boro analizando tejidos de diferentes peces (branquias, hígado y músculo). Las concentraciones en el estudio fueron 2,37 (mg/L) en agua y 73,2 (mg/Kg) en sedimento, en este escenario las concentraciones fueron 24,8 (mg/Kg) en branquias de los peces *C. gibelio* y 0,2 (mg/kg) y en músculo del *B. tauricus*. Basado en lo anterior la vertiente 1 presentó un posible escenario para la bioacumulación de boro en *Orestias ascotanensis* con rangos en el agua de 5-4,2 (mg/L) y en sedimento 2-24 (mg/Kg).

✓ **Análisis de Boxplot**

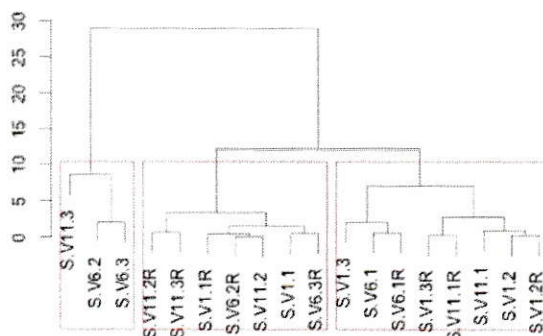


**Figura 15.** Gráficos de Boxplot para a) pH b) conductividad eléctrica c) boro d) litio e) carbono orgánico oxidable f) carbono orgánico total g) nitrógeno total h) fósforo disponible i) sulfato en sedimento.

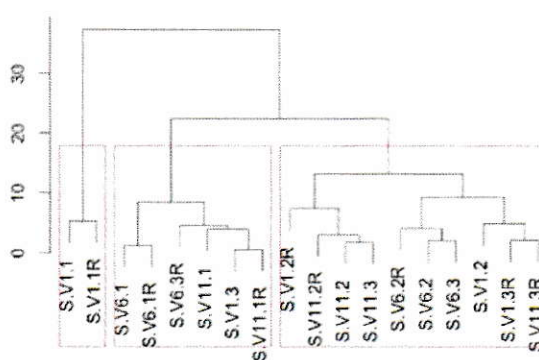
✓ Análisis de Cluster



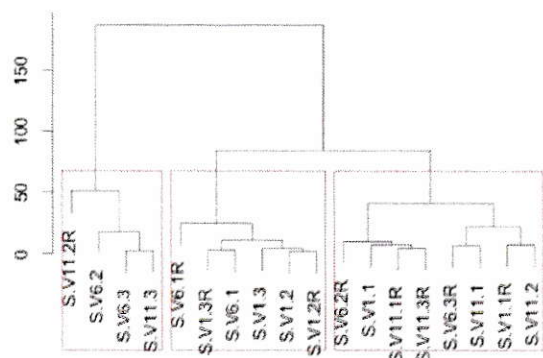
a) pH y CE



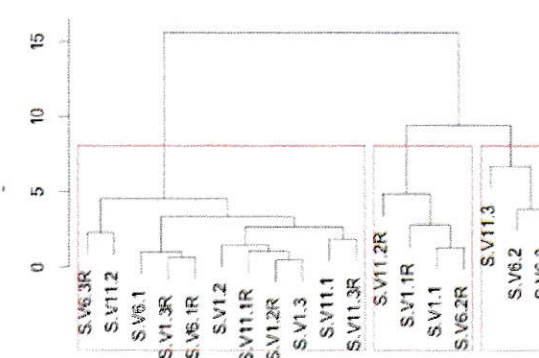
b) Li y B



c) COT y NT



d) PD y CO



e) Cl<sup>-</sup> y SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>

f) Ca, Mg, Na y K

**Figura 16.** Gráficos de Cluster para a) pH y conductividad eléctrica b) litio y boro c) carbono orgánico total y nitrógeno total d) fósforo disponible y carbono orgánico oxidable e) cloruro y sulfato f) calcio, magnesio, sodio y potasio en sedimento.

En el análisis de Boxplot (figura 15) las concentraciones en la vertiente 11 fueron homogéneas para cloruro, litio y potasio, en la vertiente 1 fueron litio y carbono orgánico oxidable, el resto de los análisis presentaron heterogeneidad en las tres vertientes.

Los valores de litio según el análisis de boxplot fueron 0,01-0,045 (cmol/Kg), este bajo valor se asocia a que el litio se encuentra disponible en el agua en su forma ionizada.

En el análisis de Cluster (figura 16), el litio y boro formaron un grupo con los puntos medios (2), estas concentraciones corresponden a los valores intermedios de boro, pues los valores más altos y bajo se concentraron en los otros dos grupos formados por los puntos extremos (1 y 3) lo que significa que existe una heterogeneidad en las concentraciones mucho mayor a lo largo de cada vertiente que entre las tres vertientes.

Al comparar los Cluster de carbono orgánico total-nitrógeno total y carbono orgánico oxidable-fósforo soluble se observó que dos de los tres grupos eran semejantes, pues en un grupo cuatro puntos de diez coincidían y en otro cinco puntos de ocho, donde los puntos medios (2) de fósforo disponible y carbono orgánico oxidable fueron los valores más altos, en cambio los valores de nitrógeno total y carbono total fueron bajos, esta diferencia posiblemente se explique por algún desplazamiento de la biota, consecuencia de posibles cambios en el nivel del agua.

#### ✓ Test de Kruskal-Wallis y test de Tukey

Se diferenciaron las vertientes de la siguiente manera: la vertiente 1 y 11 en cloruro, sulfato y carbono orgánico oxidable, por último las vertientes 6 y 11 fueron diferentes en pH.

### 3.3 Comparación de hábitat del género *Orestias*

#### ✓ Salar de Carcote (Rlsacher y col, 1999)

Las concentraciones más altas de sulfato, calcio y magnesio en el Salar de Carcote fueron 134 (mg/L) para sulfato, 71 (mg/L) para calcio y 25 (mg/L) para magnesio, éstas fueron menores a las concentraciones del Salar de Ascotán. El cloruro, potasio y sodio fueron similares a las concentraciones más bajas del Salar de Ascotán. Finalmente el boro en Carcote es mayor en la vertiente 11 y 6, pero menor que la vertiente 1.

#### ✓ Parque Nacional Lauca (DGA, 2004)

La conductividad eléctrica, cloruro y boro fueron menores en el Parque Nacional Lauca que en el Salar de Ascotán con valores de 320 a 1021 ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) para conductividad eléctrica, de 114,1 (mg/L) para cloruro y de 0,2 a 4 (mg/L) para boro; sin embargo el sulfato fue mayor en el Parque Nacional Lauca con 234 (mg/L) en contraste con el máximo descrito en el salar que fue 100 (mg/L), esto se asocia al origen de las rocas sedimentarias evaporitas.

Cabe destacar que los datos del Parque Nacional Lauca fueron para clasificar los cursos de agua, lo que no implica que en los puntos de muestreo hayan habido ejemplares de *Orestias*, pero pese a esto las concentraciones del salar fueron más altas.

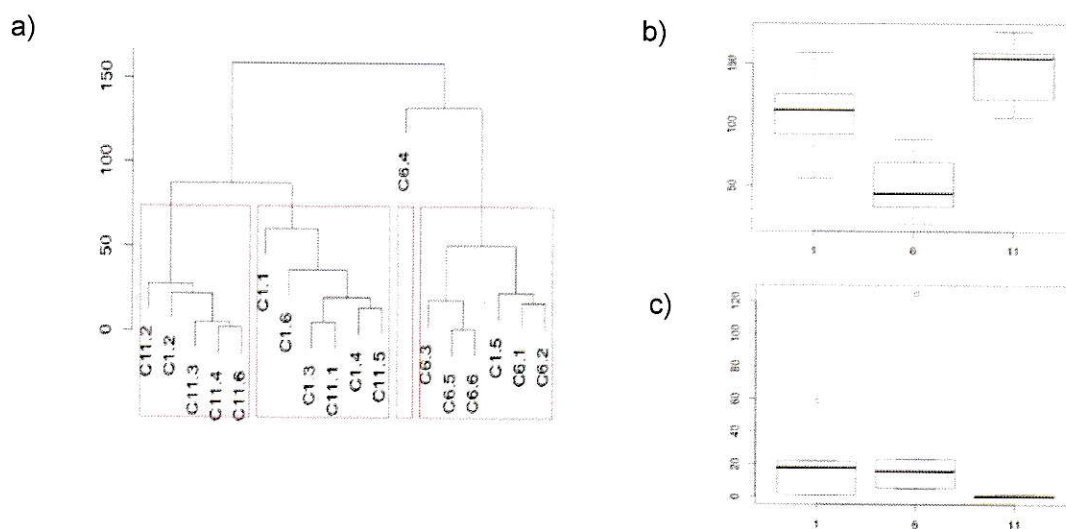
#### ✓ Salar del Huasco (Riveros, 2010)

En un estudio realizado entre primavera y otoño, 2008-2009 para determinar el nicho trófico de una especie de *Orestias* se midió pH, conductividad, nitrógeno total y sulfatos, estos fueron menores a los resultados de este trabajo, el pH osciló entre 7,6 y 7,46; conductividad entre 590 y 647 ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), nitrógeno total entre 0,05 y 0,06 (mg/L), finalmente el sulfato entre 25,52 y 34,3 (mg/L).

### 3.4. Concentraciones de litio y boro en la costra salina

Finalmente con el motivo de caracterizar los bordes del hábitat del pez endémico *Orestias ascotanensis* se analizó la distribución del boro y el litio en la costra salina, para poder servir como antecedente en caso de futuras perturbaciones antrópicas.

En la figura 17 a) los puntos de las tres vertientes casi se aislaron completamente.



**Figura 17.** Gráficos a) Cluster para boro y litio, b) Boxplot para boro y c) litio en costra salina.

En la figura 17 b) la concentración más alta de boro fue en la vertiente 11 y la más baja en la vertiente 6. Las concentraciones de litio son similares entre las tres vertientes pero existieron valores atípicos de gran concentración en las vertientes 1 y 6.

Las concentraciones de litio fueron homogéneas en el salar, no superaron los 20 (mg/Kg) y no variaron entre las vertientes, por lo que los bordes de las tres vertientes son candidatas para una posible extracción de litio; sin embargo el boro posee un patrón de distribución  $V_{11} > V_1 > V_6$ , por lo que se consideró a la vertiente 1 como la posible candidata para una extracción debido al estado actual de la biota y por poseer condiciones extremas que posiblemente condicionen la supervivencia de la *Orestias ascotanensis*.



#### IV. CONCLUSIONES

Como conclusión, se aceptaría la hipótesis, debido a que se constató que existen diferencias significativas en las características fisicoquímicas en agua y sedimento de las vertientes 1, 6 y 11 del Salar de Ascotán.

- La mayoría de las características fisicoquímicas fueron significativamente diferentes en agua, siendo la vertiente 1 la que presentó valores más altos en casi todos los análisis, en cambio, en el sedimento la mayoría de los análisis no presentaron diferencias significativas.
- En agua las características fisicoquímicas que presentaron diferencias significativas agruparon las vertientes de la siguiente manera: la vertiente 1 diferente a las vertientes 11 y 6 para sulfato, magnesio, calcio, cloruro y fósforo total; la vertiente 11 diferente a las vertientes 1 y 6 para nitrógeno total, por último cada vertiente formó un grupo individual para conductividad eléctrica, sodio, potasio y boro. Las características que no presentaron diferencias significativas fueron sílice, pH y litio.
- Las diferencias encontradas en el agua pueden ser producto de factores geográficos como el área, volumen, inclinación, profundidad de la napa freática, el caudal o irregularidad del terreno desde el afloramiento de las vertientes, no sólo producto de la evaporación, esto se basa en que las diferencias encontradas son entre las vertientes y no entre los puntos muestreados, los cuales fueron obtenidos en distintos volúmenes de agua.
- El sedimento en la vertiente 1 se diferenció significativamente de la vertiente 11 en las concentraciones de sulfato, carbono orgánico oxidable y cloruro, la vertiente 6 no presentó diferencia significativa, es decir, la concentración es heterogénea y abarca ambos rangos de concentración, al igual que el pH en la vertiente 1, pues este parámetro fue diferente entre las vertientes 6 y 11.
- En el sedimento la relación entre carbono orgánico oxidable-fósforo disponible y carbono total-nitrógeno total permitió inferir un posible desplazamiento de la biota del lugar, lo cual pudo deberse a cambios en los niveles del agua e inclusive alguna desecación que obligó el desplazamiento.

- La química del agua y del sedimento fueron los factores abióticos analizados del hábitat, solo los análisis de agua se diferenciaron significativamente entre las vertientes por lo que posiblemente genera condiciones diferentes para la vida acuática del pez *Orestias ascotanensis*.
- Este trabajo entrega información objetiva acerca de las concentraciones y distribución de dos elementos comercializables como son el litio y boro. La concentración de litio en la costra salina aledaña a las vertientes es homogénea, en cambio, la concentración de boro varía entre las vertientes por lo cual se agruparon individualmente, siendo los extremos los que presentaron mayores valores.
- Finalmente este trabajo permitió evidenciar que existen diferencias significativas en los valores de las características fisicoquímicas en agua, sedimento y costra, vestigios del antiguo paleolago Minchin. El agua presentó mayores diferencias entre vertientes, cuyas concentraciones disminuyen de norte a sur, lo que concuerda con el patrón de aislamiento de las vertientes, sin embargo, la continua extracción de agua y cambio climático podrían incrementar más la concentración de estos elementos lo cual podrían alterar la biodiversidad acuática milenaria de estos sistema.

## V. REFERENCIAS

- ACEITUNO, P. 1996. Elementos del clima en el Altiplano Sudamericano. Revista Geofísica-IPGH. N° 44, p. 37-55.
- AGUILERA, S.M. 2000. Importancia de la protección de la materia orgánica en suelos. Simposio Proyecto Ley Protección de Suelo. Boletín N° 14. Valdivia, Chile, p. 77-85.
- AHLFELD, F., BRANISA, L. 1960. Geología de Bolivia. Instituto Boliviano del Petróleo, Editorial Don Bosco, La Paz
- ANTONELLI, A., NYLANDER, J., PERSSON, C., SANMARTÍN I. 2009. Tracing the impact of the Andean uplift on Neotropical plant evolution. Proceedings of the National Academy of Sciences N° 106, p. 9749.
- APHA. 1995. Standard methods for the examination of water and waste water Determinación de Dureza en agua Método 2340 C.
- BYERS, S., MILLS, E., P. STEWART. 1978. A comparison of methods of determining organic carbon in marine sediments, with suggestions for a standard method. Hidrobiología, 58(1): 43-47.
- COMISIÓN NACIONAL DEL LITIO. 2015. Una fuente de energía una oportunidad para Chile. Gobierno de Chile p.41-43.
- DGA. 2004. Cuenca Río Lauca: Diagnóstico y clasificación de cursos y cuerpos de agua según objetivos de calidad. Gobierno de Chile p.36.
- EPA. 2001. Methods for Collection, Storage and Manipulation of Sediments for Chemical and Toxicological Analyses: Technical Manual. EPA 823-B-01-002. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Water, Washington, DC.
- FORNARI, M., RISACHER, F., FERROUD, G. 2001. Dating of paleolakes in the central Altiplano of Bolivia. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology 172, . 269–282.
- FUENZALIDA, H., RUTLANT, J. 1987. Origen del vapor de agua que precipita en el Altiplano de Chile. Anales del II Congreso Interamericano de Meteorología y V Congreso Argentino de Meteorología. Buenos Aires. p. 631-634.

- GARREUD, R., VUILLE, M., CLEMENT, A. 2003. The climate of the Altiplano: Observed current conditions and past change mechanisms. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 194, 5-22.
- GUPTA, UC. 1967. Un método simplificado para determinar el boro soluble en agua caliente en Podzol suelos . *Soil Sci.* 103, 424-428.
- HASTENRATH, S., KUTZBACH, J.E. 1985. On the late Pleistocene climate and water budget of the South American Altiplano. *Quant. Res.* 24, 249-256.
- IKELLER, B., SOTO, D. 1998. Hydrogeologic influences on the preservation of *Orestias ascotanensis* (Teleostei: Cyprinodontidae), in Salar de Ascotán, northern Chile. *Revista Chilena de Historia Natural* 71, 147-156.
- KOROLEFF, F. 1972. Determination of silicon. In: *methods of Seawater Analysis*. Klaus Grasshoff. Ed. Verlag Chemie: Weinheim-New York.
- KOSE, E., UYSAL, K., TOKATLI, C., CICEK, A., EMIROGLU, O., ARSLAN, N. 2012. Assessment of boron in water sediment and fish tissues of Porsuk Stream, Turkey. *Pakistan J. Zool.*, 44(5), 1446-1449
- MARTÍN, K. 2007. The Chemistry of Silica and its Potential Health Benefits. *Journal of Nutrition, Health and Aging* 11, 94-98
- MÁRQUEZ-GARCÍA, M., VILA, I., HINOJOSA, L.F., MÉNDEZ, M.A., CARVAJAL, J.L., SABANDO, M.C. 2009. Distribution and seasonal fluctuations in the aquatic biodiversity of the southern Altiplano. *Limnologica* 39, 314-318.
- MINVIELLE, M., GARREUD, R. 2011. Projecting rainfall changes over the South American Altiplano. *Journal of Climate*. 24, 4577-4583.
- MORALES, P., VILA, I., POULIN, E. 2011. Genetic structure in remnant populations of an endangered cyprinodontid fish, *Orestias ascotanensis*, endemic to the Ascotán salt pan of the Altiplano. *Conserv Genet* 12, 1639–1643.
- MÜHLHAUSER, H., SOTO, L., ZAHRADNIK, P. 1987. Improvement of the Kjeldahl method for total nitrogen including acid hydrolyzable phosphorus determinations in freshwater ecosystems. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry* 28, 215-226.
- OLSEN, R., LARSEN, S. 1979. Extractability of fertilizer phosphorus accumulated in soil. *Tidsskrift for planteavl* 83 (4), 469-477.
- PARENTI, L. R. 1984. A taxonomic revision of the Andean Killifish genus *Orestias* (Cyprinodontiformes, Cyprinodontidae). *Bull Am Mus Nat Hist* 178, 107–214.

- RISACHER, F., ALONSO, H., SALAZAR C. 1999. Geoquímica del agua en cuencas cerradas I, II y III Regiones de Chile. Volumen III estudio de cuenca de la II Región, Santiago de Chile. SIT 51, 33-55.
- RISACHER, F., ALONSO, H., SALAZAR, C. 2003. The origin of brines and salts in salars: a hydrogeochemical review. *Earth-Science Review* 63, 249-293.
- RIVEROS, J. Vila, I. 2010. Nicho trófico de *Orestias agassi* en una de las vertientes del sistema de arroyos del Salar de Huasco. *Gayana* 76(2): 79-91, 2012.
- SADZAWKA, A. 2006. Método de análisis de suelos. Instituto de investigaciones agropecuarias serie la plata N°16.
- STRICKLAND, J., PARSONS, TR. 1968. A manual for sea water analysis. *Bulletin Fisheries Research Board of Canada* 167, 311
- STRICKLAND, J., PARSONS, T. 1972. Un manual práctico de análisis de agua de mar. *Boletín de la Junta de Investigación de Pesca de Canadá* 167, 1-211.
- TABATABAI, M.A. 1974. Determination of sulfate in water samples. *Sulphur inst. J.* 10, 11-13.
- VAN REEUWIJK, L. 1984. Métodos de laboratorio y Programa de Intercambio de Datos de Caracterización del Suelo. Un informe sobre la ronda piloto. Parte I: CCA y textura. Tech. Pap 6, ISRIC, Wageningen.
- VARGAS, C., ACUÑA, P., VILA, I. 2004. Relación entre la calidad del agua y la biota en la cuenca Salar de Huasco. En: Fernández, A. y V. Sánchez (eds.) *El agua en Iberoamérica: Experiencias en gestión y valoración del agua. CYTED-XVII, Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo*, Buenos Aires, p. 145-152.
- VILA, I., PINTO, M. 1986. A new species of Killifish (Pisces, Cyprinodontidae) from the Chilean Altiplano. *Rev. Hydrobiol. Trop.* 19 (3-4),. 233-239.
- VILA, I., MÉNDEZ, M., SCOTT S., MORALES, P.M., POULIN, E. 2007. Threatened fishes of the world: *Orestias ascotanensis Parenti*, 1984 (Cyprinodontidae). *Environ Biol Fishes* 80, 491–492



**VI ANEXOS**

### 6.1. Coordenadas geográficas en las vertientes 1, 6 y 11.

**Tabla 6** Coordenadas geográficas en la costra salina.

Punto de muestreo	Vertiente 1	Vertiente 6	Vertiente 11
1	S21°27'01,9'' W68°15'8,5''	S21°29'53,9'' W68°15'25,1''	S21°41'16,3'' W68°12'53,8''
2	S21°27'0,6'' W68°15'7,3''	S21°29'52,1'' W68°15'25,2''	S21°41'15,6'' W68°12'50,9''
3	S21°27'57,2'' W68°15'8,1''	S21°29'51,4'' W68°15'25,8''	S21°41'12,2'' W68°12'53,4''
4	S21°27'56'' W68°15'10,6''	S21°29'53,6'' W68°15'26,6''	S21°41'09,4'' W68°12'55,1''
5	S21°27'0,1'' W68°15'10,8''	S21°29'56'' W68°15'27,7''	S21°41'10,7'' W68°12'56,1''
6	S21°27'1,6'' W68°15'10,5''	S21°29'54,7'' W68°15'25,6''	S21°41'13,9'' W68°12'54,5''

**Tabla 7.** Coordenadas geográficas en el agua y el sedimento.

Punto de muestreo	Vertiente 1	Vertiente 6	Vertiente 11
1	S21°27'2,9'' W68°15'8,2''	S21°29'54,3'' W68°15'24,6''	S21°41'16,3'' W68°12'53,8''
2	S21°27'1,9'' W68°15'9,1''	S21°29'56'' W68°15'27,7''	S21°41'13,8'' W68°12'53,5''
3	S21°27'0,1'' W68°15'0,8''	S21°29'56'' W68°15'25,8''	S21°41'10,8'' W68°12'55''

## 6.2 Cloruro y carbono orgánico

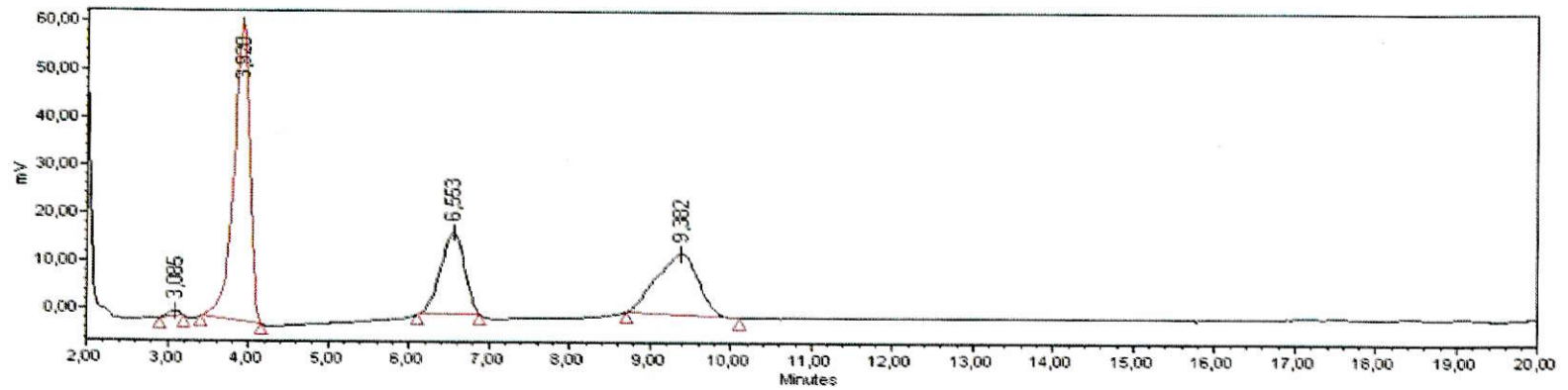


Figura 18. Cromatograma de estándar de 100 mg/L para carbonato, cloruro, nitrato y sulfato con sus tiempos de retención.

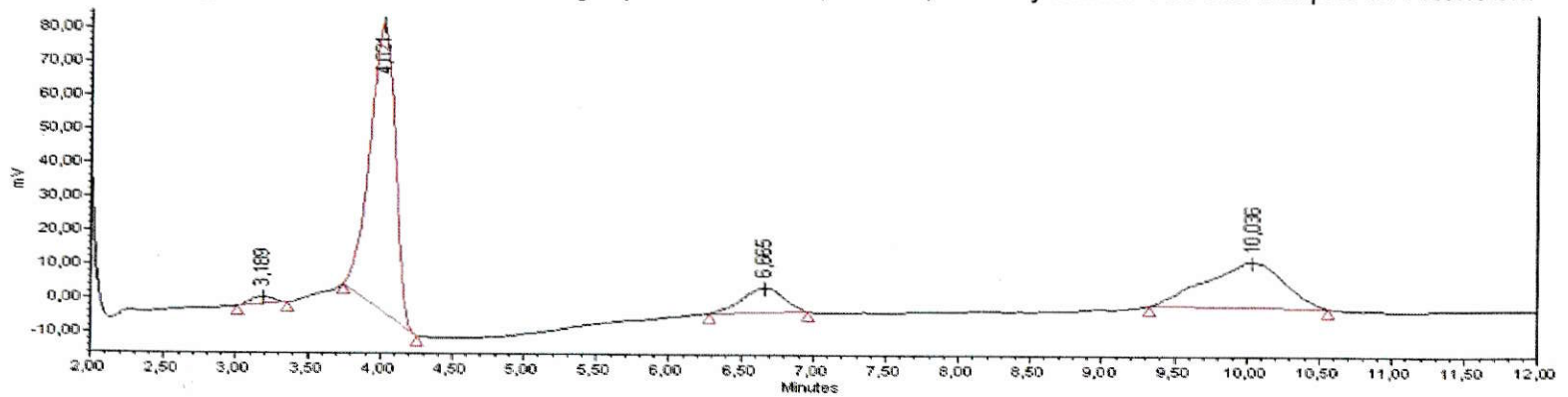
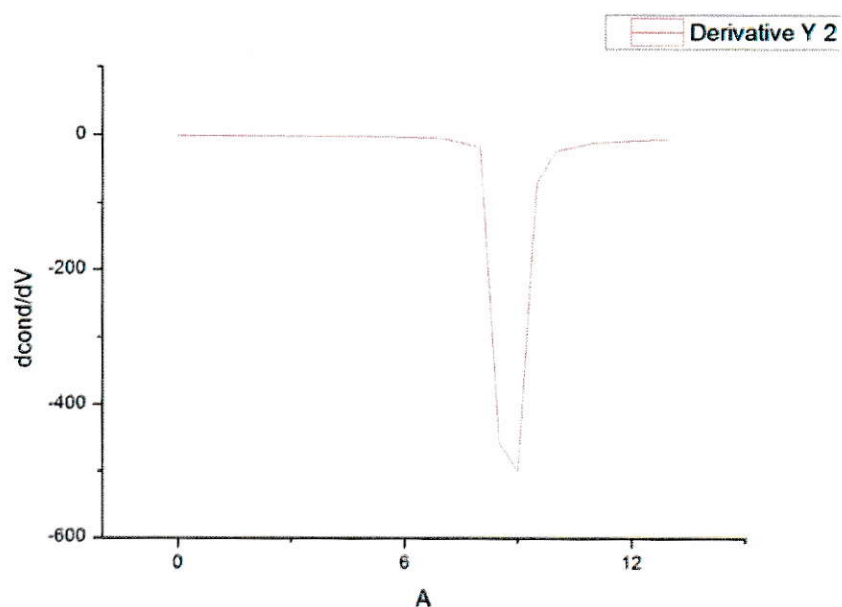


Figura 19. Cromatograma del punto 2, ventiente 11 en sedimento con sus tiempos de retención.





**Figura 20.** Primera derivada del volumen gastado de sulfato de hierro (II) en el punto 1 en sedimento en el análisis de carbono orgánico fácilmente oxidable.

### 6.3. Curvas de calibración

**Tabla 8.** Curvas de calibración para sílice, sulfato, nitrógeno, potasio, sodio, magnesio, calcio, cloruro, litio, boro y ortofosfato.

Elemento	Concentraciones (mg/L)	Ecuación de la recta	R <sup>2</sup>
Si	0-0,5-1-2,5-5	$y=0,0564X+0,0425$	0,99645
SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	0-1-2-4-6-8-10	$y=0,0329X+0,0011$	0,99902
N <sub>Total</sub>	0-0,4-0,8-1-2-3-4-5	$y=0,0006x+0,0674$	0,99938
K	0,1-0,5-0,7-0,9-1,0	$y=0,1258x+0,0545$	0,99259
Na	0-5-10-15-20-30	$y=0,0032x+0,0895$	0,99505
Mg	0,5-1-1,5-2-2,5	$y=0,2888x+0,0661$	0,99586
Ca	5-10-15-20-25	$y=0,0152x-0,0197$	0,99888
Cl <sup>-</sup>	100-80-60-40-20-10	$y=27040x - 32802$	0,99835
Li	0-2-4-6-8-10	$y=0,0046x+0,0034$	0,99973
B	0-0,5-1-1,5-2-2,5	$y=0,2981x+0,2658$	0,99756
PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup>	0-0,4-0,8-1,2-1,5-2	$y=0,3389x+0,0514$	0,99672

## 6.4. Diagramas de Piper y Stiff

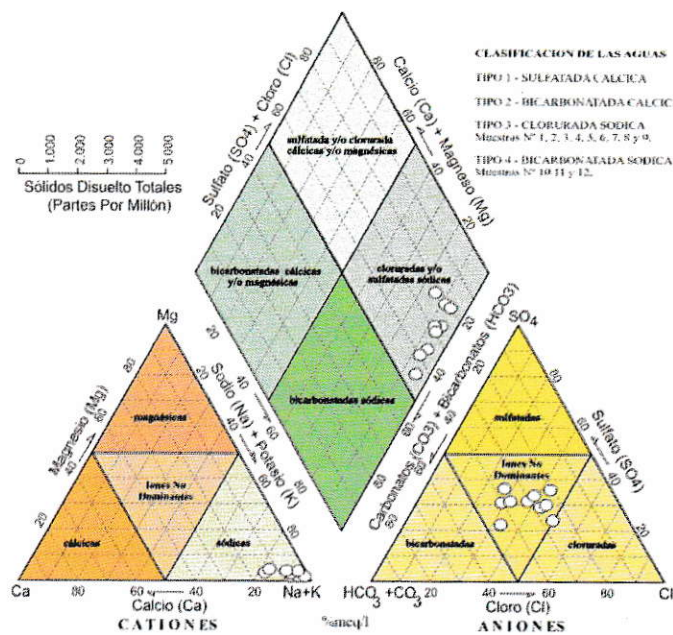


Figura 21. Diagrama de Piper para la clasificación hidrogeoquímica.

Tabla 9. Concentración de calcio, magnesio, sulfato, cloruro, alcalinidad total, potasio y sodio para diagramas de Stiff.

Sitio	Ca meq/L	Mg meq/L	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> meq/L	Cl <sup>-</sup> meq/L	AT meq/L	K meq/L	Na meq/L
V1.1	38,20	7,71	2,24	87,66	0,07	0,83	87,66
V1.1R	36,61	7,57	2,13	85,96	0,08	0,96	88,78
V1.2	46,81	8,24	2,50	100,27	0,09	0,36	88,63
V1.2R	42,15	8,12	2,05	74,54	0,09	0,33	85,96
V1.3	48,51	8,64	3,84	95,62	0,08	0,37	95,75
V1.3R	48,48	8,72	4,17	106,26	0,10	0,36	92,75
V6.1	10,11	6,61	1,31	27,97	0,17	0,08	41,57
V6.1R	10,57	6,79	1,29	26,23	0,18	0,08	42,02
V6.2	10,48	6,72	1,32	29,77	0,17	0,08	42,60
V6.2R	10,29	6,88	1,32	24,44	0,17	0,08	44,97
V6.3	10,93	7,27	1,49	29,51	0,36	0,08	46,48
V6.3R	11,01	7,33	1,63	28,62	0,13	0,09	47,42
V11.1	8,84	6,50	1,03	40,18	0,23	0,15	25,74
V11.1R	8,73	6,80	1,06	12,80	0,24	0,16	26,06
V11.2	8,52	6,13	1,05	15,96	0,19	0,14	26,35
V11.2R	8,61	6,46	1,04	11,45	0,20	0,14	26,56
V11.3	8,57	6,07	1,87	14,27	0,20	0,15	25,06
V11.3R	16,60	7,85	1,08	15,31	0,19	0,14	24,97

## 6.5. Análisis de Cluster

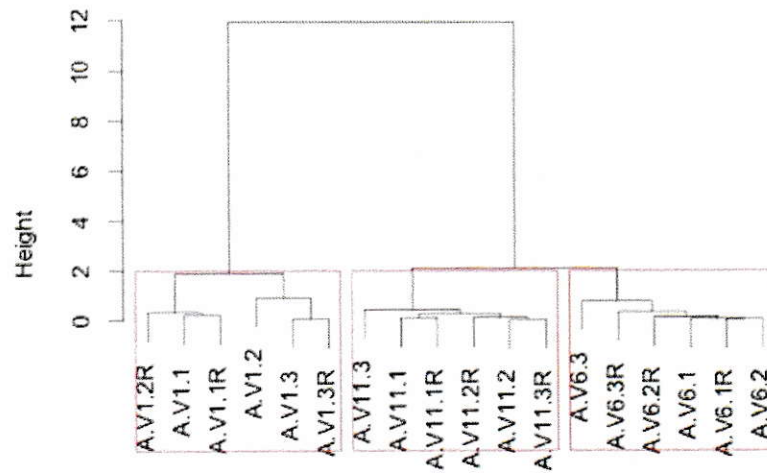


Figura 22. Gráfico de Cluster para pH y conductividad eléctrica en agua.



Figura 23. Gráfico de Cluster para dureza y alcalinidad total en agua.

## 6.6. Test Kruskal-Wallis y test de Tukey

Tabla 10. Test de Kruskal-Wallis y test de Tukey en agua.

Característica fisicoquímica	Test Kruskal-Wallis	Test de Tukey		
		V11-V1	V6-V1	V6-V11
pH	1,70E-01	2,57E-01	7,91E-01	4,08E-01
Alcalinidad total	<b>1,41E-03</b>	<b>3,58E-06</b>	<b>4,72E-05</b>	7,72E-02
Mg	<b>4,32E-03</b>	<b>1,05E-02</b>	<b>4,92E-04</b>	4,44E-01
Ca	<b>1,46E-03</b>	<b>6,72E-07</b>	<b>3,03E-05</b>	7,70E-02
SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	<b>1,46E-03</b>	<b>1,51E-06</b>	<b>6,17E-05</b>	7,13E-02
Cl <sup>-</sup>	<b>1,46E-03</b>	<b>2,40E-06</b>	<b>3,01E-05</b>	7,70E-02
P total	<b>6,21E-03</b>	<b>4,36E-02</b>	<b>2,96E-04</b>	3,57E-01
N total	<b>7,06E-03</b>	<b>2,25E-03</b>	7,39E-01	<b>3,44E-02</b>
CE	<b>4,72E-04</b>	-	-	-
Dureza	<b>5,03E-04</b>	-	-	-
Na	<b>5,11E-04</b>	-	-	-
K	<b>5,11E-04</b>	-	-	-
Si	0.05499	-	-	-
B	<b>5,11E-04</b>	-	-	-
Li	7,73E-02	-	-	-

Tabla 11. Test de Kruskal-Wallis y test de Tukey en sedimento.

Característica fisicoquímica	Test de Kruskal-Wallis	Test de Tukey		
		V6-V1	V11-V1	V11-V6
pH	<b>1,66E-02</b>	6,76E-01	7,30E-02	<b>1,01E-03</b>
CE	2,20E-01	5,19E-01	1,71E-01	9,11E-01
Na	5,87E-01	8,73E-01	8,68E-01	6,77E-01
K	8,54E-01	9,11E-01	1,00E+00	9,12E-01
Mg	2,29E-01	5,53E-01	1,18E-01	9,58E-01
Ca	5,87E-01	9,33E-01	4,57E-01	8,72E-01
SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	1,35E-01	5,96E-01	<b>4,38E-02</b>	6,69E-01
Cl <sup>-</sup>	<b>1,20E-02</b>	1,00E-01	<b>1,05E-03</b>	5,62E-01
Li	7,28E-01	8,31E-01	9,99E-01	8,47E-01
B	6,12E-01	9,60E-01	5,36E-01	8,43E-01
PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup>	8,99E-02	1,03E-01	7,17E-01	2,57E-01
CO	1,39E-01	4,24E-01	<b>4,22E-02</b>	9,69E-01
N total	1,69E-01	4,48E-01	7,06E-02	9,80E-01
COT	6,92E-01	7,82E-01	7,38E-01	9,91E-01

### 6.7. Rangos de concentración

**Tabla 12.** Rangos de concentración de sulfato, magnesio, calcio, cloruro, fósforo total, nitrógeno total, sodio, potasio, boro y conductividad eléctrica en agua.

Vertientes	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> mg L	Mg mg L	Ca mg L	Cl <sup>-</sup> mg L	PT mg L	NT mg L	Na mg L	K mg L	B mg L	CE mS cm
1	100-80	105-94	975-760	3500-2750	0,4-0,3	-	2200-2000	32-14	5-4,2	14,2-12,8
6-11	75-50	88-75	220-180	1000-500	0,2-0,05	-	-	-	-	-
11	-	-	-	-	-	0,2-0,05	200-150	5,5	1,8-1,2	1,2
1-6	-	-	-	-	-	0,7-0,25	-	-	-	-
6	-	-	-	-	-	-	1100-1000	2,5	0,5	4,2

**Tabla 13.** Rangos de concentración de sulfato, cloruro, pH y porcentaje carbono orgánico fácilmente oxidable en sedimento.

Vertientes	pH	Cl <sup>-</sup> [cmol/Kg]	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> [cmol/Kg]	% Carbono orgánico oxidable
1*	9,3-8,6	-	-	-
6	9,5-9	-	-	-
11	8,6-7,3	-	-	-
1	-	6,9-1,3	0,022-0,01	2-1
6*	-	1,5-0,1	0,05-0,01	7,7-0,9
11	-	0,5-0,2	0,061-0,023	5-1,8

\*no son significativamente diferente de las otras 2 vertientes.