

UCH-FC
Q. Ambiental
L 177
C. 1

UNIVERSIDAD DE CHILE -FACULTAD DE CIENCIAS - ESCUELA DE PREGRADO



FACULTAD DE CIENCIAS
UNIVERSIDAD DE CHILE

**“DIVERSIDAD FITOPLANCTÓNICA Y ZOOPLANCTÓNICA ESTACIONAL
EN UN GRADIENTE DE CONCENTRACIÓN DE SALES DE UN SISTEMA
VERTIENTE-BOFEDAL-SALAR. SALAR DE ASCOTÁN, II REGIÓN, CHILE”**

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

Química Ambiental

Camila Francisca Lagomarsino Pizarro

Director del Seminario de Título
Co-Director:

MSc. Irma del Carmen Vila Pinto
Dr. José Luis Carvajal Salamanca

Marzo, 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.:

CAMILA FRANCISCA LAGOMARSINO PIZARRO

“DIVERSIDAD FITOPLANCTÓNICA Y ZOOPLANCTÓNICA ESTACIONAL EN UN GRADIENTE DE CONCENTRACIÓN DE SALES DE UN SISTEMA VERTIENTE-BOFEDAL-SALAR. SALAR DE ASCOTÁN, II REGIÓN, CHILE”

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

Comisión Revisora y Evaluadora

MSc. Irma del Carmen Vila Pinto
Directora Seminario de Título

Firma manuscrita de Irma del Carmen Vila Pinto sobre una línea horizontal. A la derecha se encuentra un sello circular de la Facultad de Ciencias, Biblioteca Central, U. de Chile.

Dra. Ximena Molina Paredes
Presidente Comisión

Firma manuscrita de Dra. Ximena Molina Paredes sobre una línea horizontal.

MSc. Sylvia Copaja Castillo
Correctora:

Firma manuscrita de MSc. Sylvia Copaja Castillo sobre una línea horizontal.

Santiago de Chile, marzo de 2016.



Camila Lagomarsino Pizarro, nace el 23 de junio de 1987 en Santiago.

Desde pequeña y gracias a la influencia de sus padres, mostró interés en el área de las ciencias naturales y la educación física.

Este gusto por la ciencia y la naturaleza se acentuó a lo largo de su educación básica y media, para salir el año 2005 de 4° medio enfocada en entrar en la Universidad de Chile y estudiar una carrera relacionada con estas áreas. Para ello se esforzó durante la educación media y estudió en preuniversitarios para poder rendir una buena PSU.

El año 2006 entró a la carrera de Química Ambiental, de la cual con esfuerzo, mucha perseverancia y el apoyo de amigos, compañeros de la universidad y sus padres finalmente egresó.

El año 2013 llega al laboratorio de Limnología del Departamento de Ciencias Ecológicas de la Universidad de Chile donde encuentra la conexión con el área de la química de aguas para seguir desarrollándose profesionalmente.

A mis padres

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar a mis padres, quienes que se han esmerado en entregarme la mejor educación que podrían haberme dado. Además de entregarme su apoyo incondicional a lo largo de este proceso.

A mis amigos de la vida, compañeros y a mis “partners” en los distintos ramos que a lo largo de estos años compartimos tantas horas de estudio, tiempos de desazón y de alegrías. A mis compañeros de universidad, con quienes compartí no sólo las horas de clases, sino que también las horas de discusión sobre materias que no estaban en la malla curricular, con quienes compartí risas y amistad.

Deseo agradecer a la profesora Sylvia Copaja, quien me aceptó por un año en su laboratorio utilizando instrumentación para hacer mi Unidad de Investigación, donde aprendí cómo es la coordinación con un grupo de trabajo y también por aclarar mis dudas ayudándome con su conocimiento y experiencia.

Al Laboratorio de Limnología y de Ecología y Genética Poblacional quienes han sido un grupo de trabajo muy diverso y también acogedoras personas, logrando de mi estadía una enriquecedora experiencia tanto laboral como personal. Sobre todo, agradecer a la profesora Irma Vila quien ha estado dándome su apoyo y paciencia, guiándome a lo largo del seminario de título.

También agradecer a Jose Luis Carvajal, quien ha estado supervisando mis pasos desde que llegué al laboratorio, alentándome con la investigación científica, ayudándome con esmero y paciencia.

Proyectos Fondecyt 1140543, 11130654, y Proyecto minera El Abra por financiar este trabajo.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

Informe de Aprobación Seminario de Título	ii
Agradecimiento.....	v
Índice de Contenidos.....	vi
Índice de Figuras	x
Índice de Tablas.....	xii
RESUMEN.....	xiv
ABSTRACT.....	xv
I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Antecedentes Generales	1
1.1.1 Origen y fuente hidrológica del Salar de Ascotán	1
1.1.2 Características ambientales y climáticas de humedales de altura.....	1
1.1.3. Concentración de sales en humedales altiplánicos: Precipitación por evaporación y vías evolutivas principales.	3
1.1.4. Fuentes hidrológicas del salar de Ascotán.....	4
1.1.5. Aspectos químicos del agua en humedales.....	6
1.1.6. Biodiversidad y organismos planctónicos en humedales de altura	7
1.2. Planteamiento del problema.....	8
1.3 Hipótesis.....	9
1.4 Objetivo General.....	9
1.5 Objetivos Específicos	9
II. MATERIALES Y MÉTODOS.....	10
2.1. Materiales.....	10
2.1.1. Reactivos y Soluciones	10
2.1.2. Instrumentos.....	11
2.2. Métodos.....	12
2.2.1 Selección de puntos y temporada de muestreo	12
2.2.2. Toma y preparación de muestras.	15

2.2.2.1	Procedimiento toma de muestra para oxígeno disuelto, método Winkler. .	15
2.3.	Determinación de parámetros físico-químicos del agua.....	16
2.3.1.9	Cloruros, método de Möhr con nitrato de plata.....	22
2.3.2.	Determinación cuantitativa de la vía evolutiva en cuencas cerradas.....	24
2.3.3.	Determinación indirecta del potencial redox (Ríos y col., 2003).	25
2.4.	Determinación de organismos planctónicos.....	26
2.4.1	Fitoplancton.....	26
2.4.2	Zooplancton.....	26
2.4.3	Determinación de biodiversidad de organismos planctónicos.....	26
2.5	Análisis Estadísticos	27
2.5.1	Diferenciación estadística entre los puntos de muestreo	28
2.5.2	Análisis de Varianzas (ANOVA).....	28
2.5.3	Transformación unidimensional de la físico-química del agua.	28
2.5.4	Análisis de la covarianza. (ANCOVA).....	28
III.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	29
3.1	Análisis cualitativo y cuantitativo de la físico-química del agua en los diferentes sitios de la vertiente 6 del salar de Ascotán.	29
3.1.1	Variación estacional de registros realizados in situ.	29
3.1.2	Variación estacional de metales alcalinos y alcalino-térreos.....	32
3.1.3	Variación estacional para variables de Alcalinidad y Cloruros	34
3.1.4	Variación estacional de nutrientes	36
3.2	Estimación del Potencial redox en el sistema vertiente- bofedal- salar.....	39
3.3	Determinación cualitativa de la vía evolutiva de la concentración de sales....	40
3.4	Estudio de variaciones estacionales y locales de la comunidad planctónica de la vertiente 6 del salar de Ascotán.....	43
3.4.2	Zooplancton.....	48
3.5	Análisis Estadísticos de los resultados de análisis químicos.....	52
3.5.1	Análisis Discriminante Lineal de las zonas del humedal.	52
3.5.2	Determinación de diferencias significativas de variables físicoquímicas del agua en el sistema vertiente-bofedal-salar durante pre y post lluvias.	53

3.5.3	Test de comparación de medias de Tukey. Comparación por zonas y temporadas para las variables físicoquímicas del agua.	56
3.5.4	Escalamiento unidimensional para las variables físico-químicas del agua.....	57
3.6	Análisis Estadístico de los resultados de análisis biótico.	59
3.6.1.	Análisis de Varianza, diferencias significativas de comunidad fitoplanctónica y zooplanctónica en el sistema vertiente-bofedal-salar durante pre y post lluvias.....	59
3.6.2	Test de comparación de medias de Tukey. Variables de comunidad fitoplanctónica y zooplanctónica.	60
3.7.	Relación entre biodiversidad y características químicas del agua en humedales salinos de altura. Variaciones estacionales.....	68
3.8.	Comentarios finales y recomendaciones.	69
IV	CONCLUSIONES	71
V	REFERENCIAS	73
VI.	ANEXOS	81
Anexo 6.1	Metodología para analizar la calidad del agua.....	81
Anexo 6.1.1	Determinación de Alcalinidad Total, Carbonatos y Bicarbonatos.	81
Anexo 6.1.2	Metodología para determinar cuantitativamente la vía evolutiva en cuencas cerradas.	82
Anexo 6.1.3	Metodología para el potencial redox según Ríos y col. 2003.	85
6.1.4	Validación del método de Espectroscopía de Absorción Atómica y espectrofotometría.....	87
6.1.5	Curvas de calibración de Espectroscopía de Absorción Atómica y Espectrofotometría.	88
Anexo 6.2	Resultados calidad del agua.....	91
Anexo 6.2.1	Datos química por sitio de muestreo.....	91
Anexo 6.3	Resultados organismos planctónicos.	95
Anexo 6.3.1	Índices comunitarios y diversidad para fitoplancton y zooplancton....	95
Anexo 6.3.2	Datos de fitoplancton y zooplancton promedios por sitio de muestreo.	96

Anexo 6.3.3 Porcentajes de tasas de fitoplancton y zooplancton por sitio de muestreo.	99
Anexo 6.3.4 Porcentajes de fitoplancton y zooplancton temporal por Clases o géneros.	100
6.4 Anexo Análisis discriminante lineal.....	103
6.5 Vectorización variables químicas	104
Anexo 6.6 Fotografías de la biota acuática encontrada.	105
Anexo 6.7.1 BOXPLOT de las variables ambientales (físico-química del agua) significativamente distintas en el ANOVA por temporada y zona.	106
Figura 24. Diagrama de cajas de conductividad eléctrica, sulfato, oxígeno disuelto, calcio y magnesio, considerando temporada y zona de muestreo.	106
Anexo 6.7.2 BOXPLOT de las variables dependientes, Biota acuática (fitoplancton y zooplancton) que resultaron significativamente distintos en el ANOVA por temporada y por zona.....	107
Anexo 6.8 Diagramas de ANCOVA de las variables dependientes (Biota acuática: fitoplancton y zooplancton).....	109

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Sistema de estudio Vertiente-Bofedal-Salar ubicado en el Salar de Ascotán.	3
Figura 2. Diagrama de evolución salina en cuencas cerradas.....	4
Figura 3. Probabilidades de distribución de las categorías de trofia según la concentración de fósforo total. (Scholten y col., 2005).....	7
Figura 4. Área de estudio.....	12
Figura 5. Vertientes orientales que alimentan el salar de Ascotán.	13
Figura 6. Puntos de muestreo seleccionados en la vertiente 6 del salar.	14
Figura 7. Esquema de filtrado de muestras para la análisis químico del agua.	15
Figura 8. Esquema flujo metodológico de los análisis para la calidad del agua superficial.	16
Figura 9. Esquema de flujo de los análisis estadísticos realizados.	27
Figura 10. Variables <i>in situ</i> de la temporada posterior y la temporada previa a las lluvias altiplánicas.....	29
Figura 11. Concentraciones de metales alcalinos y alcalino-térreos de la temporada posterior y la temporada previa a las lluvias altiplánicas.....	32
Figura 12. Variables de Alcalinidad y Cloruros de la temporada posterior y la temporada previa a las lluvias altiplánicas.	34
Figura 13. Nutrientes de la temporada posterior y previa a las lluvias altiplánicas.	36
Figura 14. Clasificación del agua en función de pE-pH.	41
Figura 15. Diagrama de las vías evolutivas, las flechas indican la vía cálcica.....	43
Figura 16. Abundancia, Riqueza e Índices de diversidad de Shannon y de equitatividad para la comunidad fitoplanctónica.....	44
Figura 17. Abundancia relativa según clases de fitoplancton por sitio de muestreo, temporada de post lluvias (Mayo, 2014) [A] y pre-lluvias (Noviembre, 2014).....	45
Figura 18. Abundancia, Riqueza e Índices de diversidad de Shannon y de equitatividad para la comunidad zooplanctónica para la temporada posterior y previa a las lluvias altiplánicas en el sistema vertiente-bodefal-salar.....	48

Figura 19. Abundancia relativa según clases de zooplancton por sitio de muestreo, temporada de post lluvias (Mayo, 2014) [A] y pre-lluvias (Noviembre, 2014) [B]. Tabla 34 y 35 anexo 6.3.2.	49
Figura 20. Diferenciación de zonas entre Vertiente, Bofedal y Salar por Análisis Discriminante Lineal.	53
Figura 21. Diagrama de cajas de la variable salinidad para las vías de zona (vertiente y bofedal-salar) y temporada (pre lluvias y post lluvias).....	56
Figura 22. Escalamiento unidimensional variables físicas y químicas del agua en una dimensión ($k=1$, "fcoqca") en un sistema vertiente-bofedal-salar	58
Figura 23. Boxplot de abundancia de <i>Alona guttata</i> y <i>Alonella</i> por zona y temporada.	61
Figura 24. Fotografías de organismos biota acuática encontrada	105
Figura 25. Diagrama de cajas de conductividad eléctrica, sulfato, oxígeno disuelto, calcio y magnesio, considerando temporada y zona de muestreo.	106
Figura 26. Diagrama de cajas de <i>Chroococcus</i> , <i>Cocconeis</i> , <i>Denticula</i> , <i>Gomphonema</i> , <i>Nitzschia</i> y <i>Surirella</i> . Considerando temporada previa o posterior a las lluvias y las zonas de vertiente y bofedal-salar (Organismos/mL).	107
Figura 27. Diagrama de cajas de <i>Ulnaria</i> , Copépoda, Harpacticoida, <i>Alona guttata</i> y <i>Alonella</i> . Considerando temporada previa o posterior a las lluvias y las zonas de vertiente y bofedal-salar. (Organismos/mL para fitoplancton y organismos/15L para zooplancton).	108
Figura 28. Diagramas de ANCOVA para <i>Chroococcus</i> , <i>Cocconeis</i> , <i>Denticula</i> . Considerando temporada previa o posterior a las lluvias y las zonas de vertiente y bofedal-salar y como covariable la físico química del agua representativa.	109
Figura 29. Diagramas de ANCOVA para <i>Gomphonema</i> , <i>Nitzschia</i> y <i>Surirella</i> . Considerando temporada previa o posterior a las lluvias y las zonas de vertiente y bofedal-salar y como covariable la físico química del agua representativa.	110
Figura 30. Diagramas de ANCOVA para Copépoda, Harpacticoida y <i>Alonella</i> . Considerando temporada previa o posterior a las lluvias y las zonas de vertiente y bofedal-salar y como covariable la físico química del agua representativa.	111

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Coordenadas de los sitios de muestreo.....	14
Tabla 2. Condiciones experimentales del equipo de EAA.....	24
Tabla 3. Resumen de determinación cualitativa de la vía evolutiva.	25
Tabla 4. Resultados de conductividad, pH, concentración de oxígeno y su presión en los puntos de muestreo durante la temporada de post-lluvia.	39
Tabla 5. Datos de peróxido de hidrógeno en concentraciones máximas, medias y mínimas, tomados de literatura	39
Tabla 6. Componentes en meq/L y Alcalinidad total en mg/L, para determinar la vía evolutiva de la concentración de sales en el sistema	41
Tabla 7. Determinación cuantitativa de la vía evolutiva de la concentración de sales para la temporada post lluvias y pre lluvias altiplánicas.	42
Tabla 8. Análisis de varianza (ANOVA) de dos vías para las variables físicas y químicas del agua.....	54
Tabla 9. Test de Tukey de las variables físicas y químicas del agua que resultaron significativamente distintas para la interacción temporada y zona	56
Tabla 10. Análisis de varianza (ANOVA) significativo de dos vías para las variables bióticas como variables dependientes, en el sistema vertiente-bofedal-salar.....	59
Tabla 11. Test de Tukey de las variables comunidad fitoplanctónica y zooplanctónica que resultaron con una diferencia significativa entre la interacción temporada y zona.	60
Tabla 12. Análisis de covarianza ANCOVA para los grupos taxonómicos significativos en análisis previos..	62
Tabla 13. Test a <i>posteriori</i> TukeyHDS para el análisis de covarianza ANCOVA.....	66
Tabla 14. Resumen de determinación cualitativa de la vía evolutiva.	84
Tabla 15. Concentraciones y tasas de acumulación de H ₂ O ₂ en aguas superficiales y subterráneas expuestas a luz solar; 1.0 watt-hora m ⁻² Cooper and Zika, 1983.	86
Tabla 16. Curva de Calibración EEA Ca.....	88
Tabla 17. Curva de Calibración EEA Mg	88
Tabla 18. Curva de Calibración EEA Na.....	88
Tabla 19. Curva de Calibración EEA K.....	88

Tabla 20. Curva de Calibración Espectrofotometría B.	89
Tabla 21. Curva de Calibración Espectrofotometría Nitratos.	89
Tabla 22. Curva de Calibración Espectrofotometría Sílice.	89
Tabla 23. Curva de Calibración Espectrofotometría Nitrógeno total y Amonio.	90
Tabla 24. Curva de Calibración Espectrofotometría Sulfatos.	90
Tabla 25. Curva de Calibración Espectrofotometría Fósforo Total y Ortofosfatos.	90
Tabla 26. Variables determinadas <i>in situ</i> . Mayo y Noviembre 2014.	91
Tabla 27. Metales y alcalinidad Mayo y Noviembre 2014.	92
Tabla 28. Nitrógeno, fósforo y silicio, Mayo y Noviembre 2014.	93
Tabla 29. Determinación cuantitativa de la vía evolutiva de sales.	94
Tabla 30. Índices comunitarios de fitoplancton.	95
Tabla 31. Índices comunitarios de zooplancton.	95
Tabla 32. Datos del promedio de réplicas para fitoplancton, mayo 2014.	96
Tabla 33. Datos del promedio de réplicas para fitoplancton, noviembre 2014.	97
Tabla 34. Datos del promedio de réplicas para zooplancton, mayo 2014.	98
Tabla 35. Datos del promedio de réplicas para zooplancton, noviembre 2014.	98
Tabla 36. Porcentaje de las clases de la comunidad fitoplanctónica por sitio	99
Tabla 37. Porcentaje de las tasas de la comunidad zooplanctónica por sitio.	99
Tabla 38. Clasificación taxonómica actualizada de fitoplancton, temporada post lluvias altiplánicas (Mayo2014) y porcentaje (%) de abundancia de géneros según clase.	100
Tabla 39. Clasificación taxonómica actualizada de fitoplancton (www.algaebase.org), temporada pre lluvias altiplánicas (Noviembre, 2014) y porcentaje (%) de abundancia de géneros según clase.	101
Tabla 40. Clasificación taxonómica de organismos zooplanctónicos. Temporada post-lluvias altiplánicas (Mayo 2014).	102
Tabla 41. Clasificación taxonómica de organismos zooplanctónicos. Temporada pre-lluvias altiplánicas (Noviembre2014).	102
Tabla 42. Resultados LDA. Coef. de discriminante lineal y proporción del indicador.	103
Tabla 43. Valores del Escalamiento multidimensional global utilizando monoMDS. .	104

RESUMEN

El salar de Ascotán es un humedal de altura (3700 msnm) ubicado en la región altiplánica de la cordillera de los Andes (21°29' S, 68°19'W), en la II región de Antofagasta. Este humedal inicia con vertientes que avanzan por la explanada cambiando a bofedal y luego desde bofedal a salar, modificando la concentración de sales y la calidad química del agua.

El objetivo principal de este estudio fue cuantificar la distribución de la biodiversidad acuática zooplanctónica y fitoplanctónica en relación con la composición química del agua en un gradiente Vertiente - Bofedal - Salar, en el salar, en temporada post-lluvias y temporada pre-lluvias altiplánicas.

Para ello, se midió las variables ambientales *in situ*, se analizó parámetros físicos y químicos del agua, se identificó y cuantificó la biodiversidad acuática fitoplanctónica y zooplanctónica. La conductividad eléctrica es la variable que determina la separación entre las distintas zonas del sistema, separándolas en Vertiente y Bofedal-Salar..

Los análisis de la calidad físico-química del agua por temporada y zona, resultaron significativamente distintos para la conductividad eléctrica, oxígeno disuelto, Ca^{2+} , Mg^{2+} , SO_4^{-2} y NO_3^-

Respecto de las variables biológicas el fitoplancton de los géneros que pertenecen a cianobacterias, diatomeas, y *Fragilaria*, resultaron significativamente distinto entre zonas y temporadas y para el zooplancton los copépodos adultos y estadios tempranos, los copépodos harpacticoida, los cladóceros *Alona guttata* y *Alonella* resultaron significativamente distintos.

Además se obtuvo que las variables bióticas que estaban linealmente relacionadas con la físico-química del agua por temporada y/o zona, fueron las cianobacterias (*Chroococcus*), diatomeas (*Denticula*, *Nitzschia*, *Surirella*), con los copépodos, el género *Harpacticoida* y el cladóceros *Alonella*. Se concluye que este estudio logró relacionar la diversidad biológica estacional con un gradiente de sales y nutrientes en el sistema vertiente-bofedal-salar en el Salar de Ascotán.

ABSTRACT

The Salar de Ascotán is a high wetland (3700 m.a.s.l.), located in the Altiplano of the Andes Mountain in the II region of Antofagasta (21° 29'S, 68° 19'W). This wetland begins with springs that advance along the esplanade change from spring to bofedal and then bofedal to salar, modifying the concentration of salts and chemical quality of the water in the same direction.

The main objective of this study was to quantify the distribution of aquatic biodiversity of zooplankton and phytoplankton related to the chemical composition of water on a gradient spring-bofedal-salar, Ascotán Salar in II Región, during two different seasons.

Environmental variables were measured *in situ* and physical, chemical water parameters were analyzed and aquatic biodiversity of phytoplankton and zooplankton in the spring-bofedal-salar gradient were identified and quantified. The electrical conductivity is the variable that determines the separation between different zones into the system separating in spring and bofedal-salar

The physical chemistry of water for season and area were significantly different for electrical conductivity, O.D., Ca^{2+} , Mg^{2+} , SO_4^{-2} and NO_3^- . Respect to biological variables the phytoplankton of genera of cyanobacteria, diatoms and *Fragilaria* were significantly different among the different areas and seasons and for zooplankton the copepods adults and early stages, the *Harpacticoida* copepods, the cladocera *Alona guttata* and *Alonella* were significantly different.

In addition, was obtained that the biotic variables were linearly related to the physicochemical variables of water by season and / or area were the cyanobacteria (*Chroococcus*), diatoms (*Denticula*, *Nitzschia*, *Surirella*) with copepods, and *Harpacticoida* and gender *Alonella*. It is concluded that this study was able to relate the seasonal biological diversity with a gradient of salts and nutrients in the system spring-bofedal-salar in the Salar de Ascotán.

I. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes Generales

1.1.1 Origen y fuente hidrológica del Salar de Ascotán

El altiplano chileno de clima semi-árido, posee algunas cuencas cerradas donde su único mecanismo de descarga es la evaporación, lo que lleva a muchas de estas cuencas a convertirse en salares (Vila, 2002).

Los sistemas acuáticos altoandinos de cuencas endorreicas actuales, tienen su origen en el período de fines del Terciario y Cuaternario, por una intensa actividad volcánica, tectónica y sedimentaria que afectó a extensos sistemas lacustres, transformándolos en cuencas evaporíticas de diversos tamaños, proceso que continúa hoy y determina la existencia de lagos, lagunas salinas y salares de la región (Montti y Henríquez, 1970) tal como el salar de Ascotán, II región de Antofagasta, Chile.

El área de drenaje interior del Altiplano fue ocupado por un gran lago del período del Pleistoceno tardío, el cual se extendía desde el norte el Titicaca hasta la cuenca de Ascotán. La costa fósil más alta está a 3800 msnm, nombrada como la costa del Lago Minchin, incluye Ascotán como su punto más lejano del sur. Esta orilla de playa fósil se observa en el paso occidental entre el Salar de Ascotán y el Salar de Carcote. A nivel regional, la edad más alta de la orilla de playa es de hace 17 mil años atrás (Bills y col., 1994; Keller y Soto, 1998).

1.1.2 Características ambientales y climáticas de humedales de altura

Los sistemas acuáticos ubicados en el altiplano chileno son zonas desérticas y la presencia de agua, da origen a humedales de altura con características ambientales particulares tales como su baja presión atmosférica, amplias fluctuaciones de temperatura entre el día y la noche, extrema aridez de las zonas aledañas del salar (precipitaciones de 100–150 mm/año), con una evaporación potencial de 1630 mm/año

(Risacher y col., 1999) y salinidades que dependen de la geología o del reciclaje de aguas subterráneas (Keller y Soto, 1998).

La calidad física del agua está influenciada por la presión atmosférica, los cambios diarios y estacionales de la temperatura, los movimientos hidrológicos y su tasa de renovación. Así mismo, la extensión del área de inundación, los cambios de profundidad y los cambios de su hidrología estacional son aspectos importantes para la mantención de la vegetación de borde, que es generalmente la zona expuesta a la desecación lo que puede generar cambios en la calidad del agua.

En los humedales de la región del altiplano las aguas suelen congelarse por las noches y luego derretirse a medida que avanza el día, esto se da por el clima desértico característico de la región, con una gran diferencia de temperatura diariamente. Además las lluvias se concentran de diciembre a marzo, por el llamado invierno boliviano, mientras que durante el resto del año las precipitaciones son muy escasas.

El salar de Ascotán es un sistema representativo de estas características y pertenece al tipo de humedal (MinRel, 1981) de altura, ubicado a 3700 msnm. El agua superficial del Salar de Ascotán, se limita a los márgenes del salar, se alimenta por medio de vertientes generando canales y lagunas, aun así la mayor parte de esta superficie está cubierta por depósitos evaporíticos (Keller y Soto, 1998). Las evaporitas son rocas sedimentarias formadas por la evaporación de aguas salinas. Para que se formen es esencial que el ritmo de evaporación exceda al de los aportes de aguas.

Las vertientes del lado este (Figura 1), las cuales a medida que avanzan por la explanada disminuyen la altura de la columna de agua, permitiendo una capacidad de evaporación muy alta, transformando el sistema de vertiente a un sistema de bofedal y de bofedal a un sistema de salar. Esta transformación, crea un gradiente de conductividad eléctrica a medida que las aguas se alejan desde la cabeza de la vertiente adentrándose hacia el salar o cola de la vertiente. Este sistema desde ahora en adelante, se nombrará como sistema vertiente - bofedal - salar.

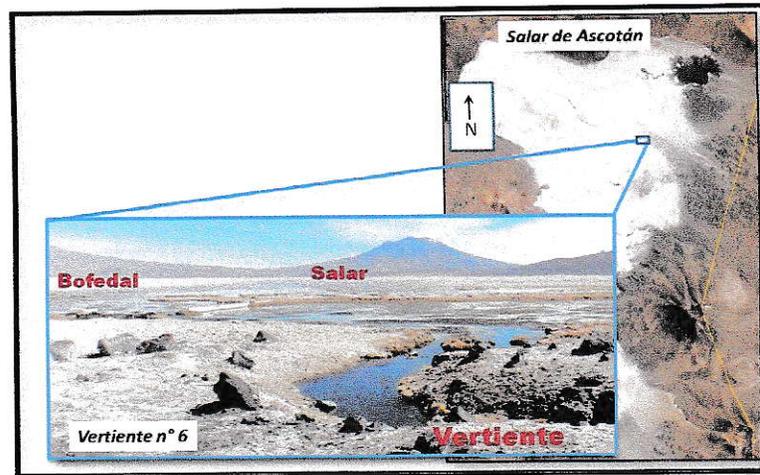


Figura 1. Sistema de estudio Vertiente-Bofedal-Salar ubicado en el Salar de Ascotán.

1.1.3. Concentración de sales en humedales altiplánicos: Precipitación por evaporación y vías evolutivas principales.

Los procesos de precipitación de sales ocurren en los humedales de cuencas cerradas, donde la única salida de los cuerpos de agua es la evaporación (Vila, 2002). En este sentido, Garrels y Mackenzie (1967), Hardie y Eugster (1978) y Eugster y Hardie (1970) proponen un modelo explicativo que considera la evolución de la composición química del agua por evaporación. Es así que el modelo propone que cuando un cuerpo de agua se evapora, sus componentes disueltos se concentran y precipitan en una secuencia de minerales en el orden de sus solubilidades crecientes.

La precipitación de los tres minerales fundamentales, calcita, silicatos de magnesio y yeso, determina cinco vías evolutivas que llegan a tres mega-tipos, o familias de salmueras:

- ❖ Tipo carbonatado $\text{Na}^+/\text{CO}_3^{2-}-\text{Cl}^-$.
- ❖ Tipo sulfatado $\text{Na}^+/\text{SO}_4^{2-}-\text{Cl}^-$.
- ❖ Tipo cálcico $\text{Na}^+-\text{Ca}^{+2}/\text{Cl}^-$ (figura 2).

Es importante mencionar que los tres componentes que caracterizan cada familia no son los únicos presentes en las salmueras, ni siquiera los más concentrados.

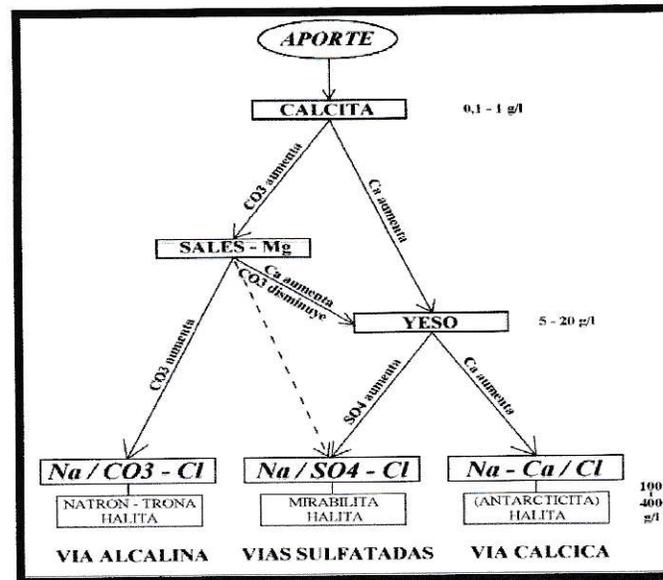


Figura 1. Diagrama de evolución salina en cuencas cerradas.

1.1.4. Fuentes hidrológicas del salar de Ascotán.

La fuente hidrológica del salar proviene de vertientes de aguas salobres que surgen en la orilla. Las vertientes son infiltraciones difusas, las cuales se percolan lentamente por debajo desde el salar a la superficie y su tasa de flujo no es distinguible, pero su extensión lateral puede llegar incluso a cientos de metros en la orilla del salar. Además, esta lenta tasa del flujo podría inducir una incipiente evaporación de las aguas hacia las infiltraciones superficiales (Risacher y col., 2003).

Las aguas de las vertientes en Ascotán están caracterizadas por aportes desde el este del tipo $\text{Na}^+(\text{Ca}^{2+})/\text{Cl}^-$; y desde el sur del tipo $\text{Na}^+(\text{Ca}^{2+})/\text{Cl}^-(\text{HCO}_3^-)(\text{SO}_4^{2-})$. El aporte occidental con una composición más variada, destacando aguas del tipo $\text{Na}^+(\text{Ca}^{2+})(\text{Mg}^{2+})/\text{Cl}^-(\text{HCO}_3^-)(\text{SO}_4^{2-})$ (Risacher y col., 1999).

La composición química de las aguas se origina por la meteorización de las rocas, las que por condiciones de presión y cambios de temperatura ocasionan el desequilibrio termodinámico, seguido por la acción del agua y gases disueltos, provocando reacciones químicas que las alteran y como consecuencia, forman nuevos minerales termodinámicamente estables a estas nuevas condiciones.

Este proceso tiene influencia directa en la dinámica geoquímica de los sistemas acuáticos destacando algunas reacciones y disoluciones. Entre ellos se encuentran:

- ❖ La ionización de cloruros (Cl^-), sulfatos (SO_4^{2-}) y silicatos (SiO_4^{4-}).
- ❖ La hidratación de anhidrita a yeso.
- ❖ La oxidación de azufre.
- ❖ Hidrólisis de silicatos y
- ❖ Disolución de gases como el dióxido de carbono que dependiendo del pH se puede disociar e hidratar estableciendo equilibrios químicos (Efecto buffer).

Por otra parte, la geología de la cuenca de drenaje, constituida de estrato-volcanes andesíticos y dacíticos como el Ollagüe y el Cañapa, contienen yacimientos de azufre. Esto indicaría que las aguas de aporte deberían ser ricas en azufre y sugiere una vía evolutiva alcalina sulfatada o neutra sulfatada, y que las salmueras de Ascotán deberían ser todas del tipo $\text{Na}^+/\text{Cl}^-/\text{SO}_4^{2-}$. Sin embargo, la litología no concuerda con las vías evolutivas que se han encontrado hasta ahora.

Algunos estudios, indicarían posibles orígenes de las aguas con aportes cálcicos desde el este de la cuenca de Ascotán, que por la altura podrían provenir de cuencas vecinas bolivianas más elevadas, sin embargo, las lagunas evolucionaron hacia la vía sulfatada con saturación en yeso de manera contraria lo que sucede en el salar de Ascotán. (Risacher y Fritz, 1991)

A unos pocos cientos de kilómetros de la cuenca de Ascotán, hay dos grandes características fisiográficas, aparentemente relacionadas con el régimen hidrológico del salar. Pastos Grandes Caldera, localizado al este del salar de Ascotán y a unos 100 kilómetros hacia el noreste se ubica el salar de Uyuni, el mayor salar en el área de drenaje interno del altiplano.

Esto sugiere que parte de la recarga hidrológica de la cuenca de Ascotán pasa por el flujo interno desde Pastos Grandes Caldera en Bolivia la cual tiene una vía evolutiva **cálcica**, sin embargo, la contribución relativa al salar no está cuantificada (Keller y Soto, 1998).

1.1.5. Aspectos químicos del agua en humedales

La composición de minerales, nutrientes y gases disueltos en el agua determinan el pH y la conductividad eléctrica, variables que por lo general definen la calidad química del agua. Las aguas continentales suelen tener altas concentraciones de sales minerales (calcio, sulfatos, carbonatos, silicatos, entre otros), en tanto el cloruro de sodio se presenta en altas concentraciones cuando los sistemas acuáticos están cercanos al mar o salares.

- ❖ **pH y conductividad eléctrica.** Por la concentración y diversidad de estos macro elementos, las aguas generalmente tienen pH entre neutros a medianamente alcalinos; sin embargo, los humedales de altura tienen procesos de evolución salina por evaporación de sus aguas, tienen una gran cantidad de sales alcalinas disueltas aumentando el pH y la CE.
- ❖ **Salinidad.** Está dada por la concentración de halitas o cloruro de sodio. Su clasificación para aguas continentales según Hammer (1986) puede ser dulce (0-0,5 g/L), subsalina (0,5-3 g/L), hiposalina (3-20 g/L), mesosalina (20-50 g/L) o hipersalina (>50 g/L).
- ❖ **Oxígeno disuelto.** La presencia de oxígeno es crucial para la interfaz entre sedimento - agua, ya que su ausencia en esta zona es causante de la mortalidad masiva de macrófitas y biota acuática, desencadenando su pudrición y disminución de oxígeno en la columna de agua. Esto se puede dar por la eutroficación del cuerpo de agua, proceso que tiene como consecuencia la proliferación de la biomasa algal, la turbiedad de aguas, condiciones anóxicas, mal olor y plaga de algunos macroinvertebrados (Vollenweir 1990; Moss y col., 1996a; Carpenter y col., 1998).
- ❖ **Micronutrientes.** Abarcan las especies químicas de nitrógeno, fósforo y silicio principalmente que se absorben desde el sustrato, el material disuelto y particulado. Los silicatos (ácido orto-sílico) son esenciales particularmente para el crecimiento de las diatomeas, aunque no se considera un indicador apropiado para la productividad total del sistema. El nitrógeno aunque es

generalmente nutriente mayoritario y con importante incidencia en la trofía no se usa como indicador ya que no es factor limitante como el fósforo, denominado como factor mínimo de regulación de producción (Lepistö., 2000).

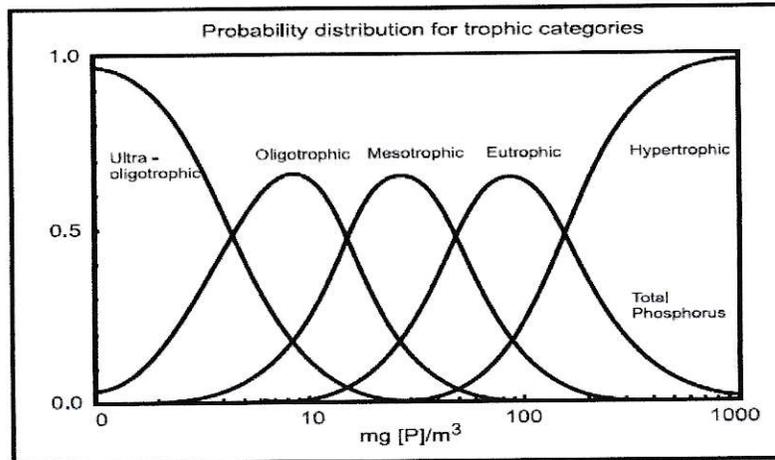


Figura 2. Probabilidades de distribución de las categorías de trofia según la concentración de fósforo total. (Scholten y col., 2005).

1.1.6. Biodiversidad y organismos planctónicos en humedales de altura

En los humedales de altura, el conjunto de factores ambientales tiene relación con los rangos de tolerancia a la concentración de iones disueltos, temperatura, pH, disponibilidad de recursos e interacciones ecológicas, entre otros. En estos particulares sistemas acuáticos suelen encontrarse índices de diversidad bastante bajos dado su condición de puna árida, sin embargo la dinámica estacional y la permanente irrigación por parte de las vertientes entregan un ecosistema propicio para desarrollar una particular diversidad fitoplanctónica y zooplanctónica.

- ❖ **Organismos fitoplanctónicos.** Consideran tanto a las **microalgas** como las **cianobacterias**, con un tamaño aproximado de $0,5 \mu\text{m}$, son la base de la red trófica ya que ingresan la energía al resto del sistema acuático (Lampert y Sommer, 2007).
- ❖ **Organismos zooplanctónicos.** Son microorganismos heterótrofos que no posee movimiento propio sino que van a la deriva en la columna de agua.

Poseen estados de resistencia, los cuales soportan condiciones desfavorables del medio ambiente para su desarrollo. En general su alimentación consta de algas, bacterias y detritus, aunque algunos se alimentan de otros zooplanctones. El zooplancton lacustre posee una longitud que va de unos pocos micrómetros (microzooplancton) a más de 2 mm (macrozooplancton), los representantes dominantes son los protozoos, rotíferos, cladóceros y copépodos (Arocena y Conde, 1999).

1.2. Planteamiento del problema

El salar de Ascotan es un sistema que cambia desde vertiente a bofedal y de bofedal a salar. Esto generaría un gradiente de conductividad eléctrica y una variación en la concentración de los macro y micro nutrientes a medida que las aguas se alejan desde el inicio o cabeza de la vertiente acercándose al salar.

Adicionalmente, los cambios estacionales que ocurren en la temporada posterior a las lluvias altiplánicas, provocan cambios en las características físicas y químicas del agua.

Por lo anterior, el salar de Ascotán representa un buen modelo de para establecer correlaciones significativas entre las variaciones de distribución, abundancia y diversidad de microorganismos planctónicos a lo largo del sistema Vertiente – Bofedal – Salar, con variaciones en parámetros físico-químicos del sistema.

Los resultados de este estudio permitirían evaluar el impacto potencial en el ecosistema altiplánico que tendría una actividad antropogénica, así como un análisis preliminar para una norma de calidad secundaria, debido a las actividades que se realizan por los alrededores de la zona (actividad agrícola, minería de extracción de sales o extracción de acuíferos), que pueden producir algún cambio relevante en las variables para la sustentabilidad de las especies que allí se encuentran.

1.3 Hipótesis.

La abundancia y diversidad de los organismos fitoplanctónicos y zooplanctónicos está relacionada directamente con la concentración de sales y nutrientes, en el sistema vertiente – bofedal – salar, en el humedal del salar de Ascotán.

1.4 Objetivo General

Relacionar la diversidad fitoplanctónica y zooplanctónica estacional con un gradiente de concentración de sales en un sistema Vertiente - bofedal - Salar, en el Salar de Ascotán, II Región, Chile.

1.5 Objetivos Específicos

- Seleccionar sitios adecuados de muestreo a lo largo del Sistema Vertiente - Bofedal - Salar que serán estudiados durante dos estaciones distintas del año.
- Determinar posibles variaciones estacionales y locales de las características fisicoquímicas del agua (T° , pH, conductividad, concentración salina, potencial redox, sólidos totales disueltos y oxígeno disuelto) en los sitios de muestreo.
- Determinar variaciones estacionales y locales en la composición química del agua de los sitios, en términos de concentraciones de: Nitratos, amonio, N-total, P-total, ortofosfatos, sulfatos, sílice, cloruros, alcalinidad total, carbonatos, bicarbonatos, boro, calcio, magnesio, sodio y potasio.
- Establecer posibles variaciones estacionales y locales en la diversidad y abundancia relativa de organismos fitoplanctónicos y zooplanctónicos presentes en los sitios de muestreo.
- Establecer una posible vía evolutiva para la presencia y concentración de sales determinadas en los sitios de muestreo.
- Correlacionar resultados de posibles variaciones químicas y biológicas mediante análisis estadísticos obtenidos en temporadas y sitios diferentes.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Materiales

2.1.1. Reactivos y Soluciones

- Acetato de Amonio (96% MERCK)
- Ácido acético glacial (99,5% ISN)
- Ácido ascórbico (99,7% MERCK)
- Ácido bórico, para solución estándar (99,5% EMSURE® MERCK)
- Ácido clorhídrico (36-38% MERCK)
- Ácido clorhídrico HCl 3 M (suprapur® MERCK)
- Ácido sulfúrico concentrado (1,84 g/mL MERCK)
- Ácido sulfúrico 0,02 M (Titrisol MERCK)
- Agua desionizada libre de amoniaco (A.L.A)
- Almidón soluble (pH 6,0 -7,5 MERCK)
- Antimonio (III) y potasio oxidotartrato hemihidrato (99,9% MERCK)
- Azometina-H (97% TOKYO CHEMICAL INDUSTRY CO., LTD.)
- Cloruro de Bario ($BaCl_2 \cdot 2H_2O$) (J.T.Baker ANALYZATED®)
- Cloruro estañoso ($SnCl_2 \cdot 2H_2O$) (98% J.T.Baker)
- Cloruro de Potasio ($\geq 99,5\%$ EMSURE® MERCK)
- Diclorocianurato (96%, SIGMA®)
- Dicromato de potasio ($K_2Cr_2O_7$) (99,9% MERCK)
- EDTA III (Ácido etilendiaminotetraacético, sal disódica) (99% MERCK)
- Etanol (95%, MERCK)
- Fenolftaleína (pH 8,2-9,8 MERCK)
- Fosfato dihidrógeno de potasio, para solución madre de P(99,5% MERCK)
- Hidróxido de Sodio ($\geq 99\%$ MERCK)
- Molibdato de amonio (J.T.Baker ANALYZATED®)
- Peróxido de hidrógeno (30% MERCK)
- Rojo de Metilo (pH 4,5-6,2 MERCK)

- Salicilato de sodio ($\geq 99,5\%$ MERCK)
- Sodio nitroprusiato (99% MERCK)
- Solución de dicromato de potasio ($K_2Cr_2O_7$) (99,5 % MERCK)
- Solución estándar de calcio (Titrisol Ca MERCK 1000mg/L) diluir a 250 mg/L
- Solución madre de magnesio (Titrisol Mg MERCK 1000mg/L) diluir a 100 mg/L
- Solución estándar de potasio (Titrisol K MERCK 1000mg/L) diluir a 100 mg/L
- Solución estándar de silicio (Titrisol $SiCl_4$ MERCK)
- Solución estándar de sodio (Titrisol Na MERCK 1000mg/L) diluir a 250 mg/L
- Solución estándar de sulfato a 1000mg $S-SO_4^{-2}$ /L (Sulfato de potasio $\geq 99,5\%$ EMSURE® MERCK)
- Solución molibdato de sodio dihidrato (99,5%)
- Solución nitrato de plata (EMSURE® MERCK)
- Solución patrón de amonio $1\mu g NH_3-N/L$ Sulfato de amonio granular ($(NH_4)_2SO_4$) (99,6% J.T.Baker)
- Solución supresora de Cloruro de Cesio (Titrisol Cs MERCK 1000 mg/L) diluir al 10%.
- Solución supresora de Cloruro de lantano (Titrisol La MERCK 1000 mg/L) diluir al 1%
- Sulfato monohidrato de manganeso (II) (99% MERCK)
- Tartrato de potasio de sodio (99% Fluka)
- Tiosulfato de sodio pentahidratado (99,5% MERCK)
- Verde Bromocresol (pH 3,8-5,4 MERCK)
- Yoduro de Sodio (99,5% MERCK)

2.1.2. Instrumentos

- GPS Garmin eTrex Vista HCx.
- Equipo portátil HANNA Instruments
- Medidor Multiparamétrico 3430 SET G
- Microprocessor-based sodium/sodium chloride meters
- WTW Handheld modelo 330i
- Espectrofotómetro Thermo Spectronic, modelo Helios

- Equipo de espectroscopía de absorción atómica por llama, modelo UNICAM 929 (Shimadzu AA-68006).

2.2. Métodos

2.2.1 Selección de puntos y temporada de muestreo

El área de muestreo (Figura 4) se encuentra en el Salar de Ascotán (21° S; 68° W), al suroeste del Salar de Uyuni y al norte del Salar de Atacama a 3700 m.s.n.m.

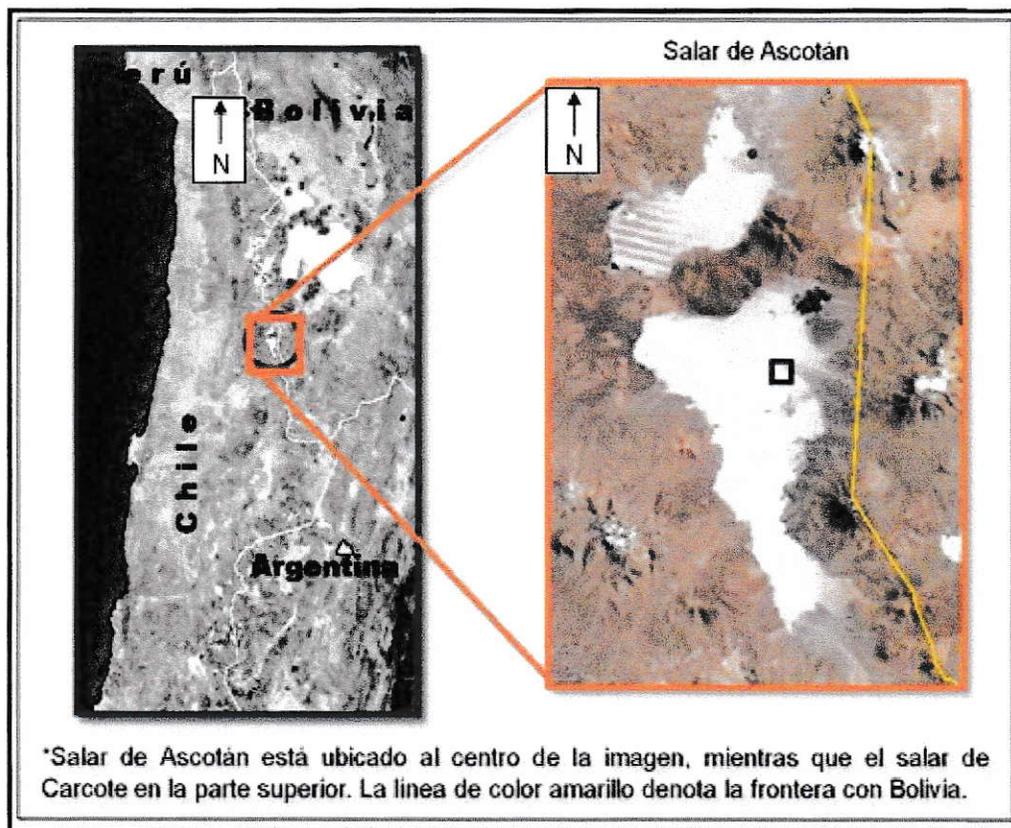


Figura 3. Área de estudio.

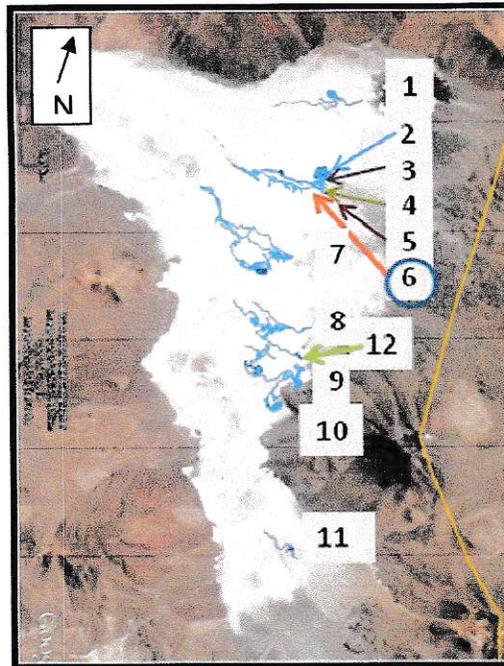


Figura 4. Vertientes orientales que alimentan el salar de Ascotán.

2.2.1.1. Selección de los sitios de muestreo

Se consideraron las variaciones en la altura de la columna de agua y las diferencias de la vegetación para identificar las zonas.

El inicio de la vertiente se muestra con abundancia de macrófitas y una columna de agua de alrededor de medio metro, la zona de bofedal con vegetación de pajonales, una marcada disminución de macrófitas y una columna de agua de menos de 10 cm y finalmente la zona más cercana al salar con una escasa cantidad de macrófitas y menos de 5 cm de columna de agua.

Se identifican como **vertiente** los sitios 1 y 2, como **bofedal** el sitio 3 y como **salar** los sitios 4 y 5 (Figura 6).



Figura 5. Puntos de muestreo seleccionados en la vertiente 6 del salar.

En la Tabla 1 se muestran los 5 puntos de muestreo del sistema, georreferenciados con GPS.

Tabla 1. Coordenadas de los sitios de muestreo

Sitio	Coordenadas	Altura [m.s.n.m.]
P1	S21° 29,898` W68° 15,426`	3731
P2	S21° 29,905` W68° 15,439`	3726
P3	S21° 29,910` W68° 15,468`	3727
P4	S21° 29,900` W68° 15,511`	3728
P5	S21° 29,882` W68° 15,556`	3737

2.2.1.2. Elección de temporada de muestreo.

Para tener una comparación de las variables de la calidad del agua y diversidad acuática, se determinó muestrear durante 2 temporadas del año considerando mayo

del 2014 como la temporada posterior a las lluvias altiplánicas y Noviembre del 2014 como previa a las lluvias altiplánicas.

2.2.2. Recolección de muestras y preparación de muestras.

Se recolectó 1 L de agua con réplicas de agua para el posterior análisis de la calidad química del agua. De esta muestra se filtró 350 mL utilizando un filtro Sartorius de Nitrato de celulosa (NC) de 47 mm de diámetro y un tamaño de poro de 0,45 μm . A 100 mL esta agua filtrada se le agregó HNO_3 a pH 2 para metales y a 250 mL se le agregó HCl hasta pH 2 para micronutrientes (nitrato, amonio, sulfato y fosfato) (figura 7); Luego, se transportaron con cadena de frío al laboratorio de Limnología, Facultad de Ciencias Universidad de Chile para su análisis posterior.

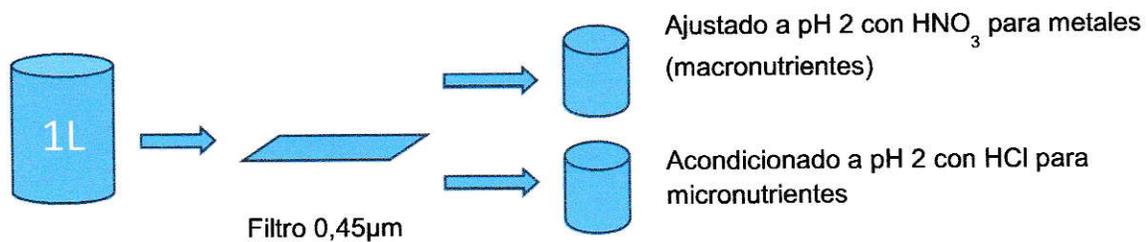


Figura 6. Esquema de filtrado de muestras para la análisis químico del agua.

2.2.2.1 Procedimiento toma de muestra para oxígeno disuelto, método Winkler.

Para solución sulfato de manganeso: Disolver 480 g de sulfato de manganeso ($\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$) en agua destilada, diluir hasta 1 L. Para la solución de yoduro alcalino: Disolver 500 g de NaOH (o 700g de KOH) y 150g de KI (o 135 g de NaI) en agua destilada y diluir hasta 1L. Para reducir la interferencia causada por la presencia de nitratos, agregar la solución de 10 g de azida de sodio (NaN_3) disuelta en 40 mL de agua destilada.

Las muestras de agua se colectan en botellas especiales de vidrio para 250 mL, tapa esmerilada y de forma que no se formen burbujas. El oxígeno se fija con 1 mL de MnSO_4 al fondo de la botella, seguido por 1 mL de yoduro alcalino por debajo de la

superficie. Se tapa la botella dejando caer suavemente la tapa de forma inclinada. Se agita invirtiendo la botella, dejando reposar el precipitado y se agita nuevamente. Cuando el precipitado ha reposado por segunda vez, se agregan 2 mL de ácido sulfúrico concentrado, haciendo que escurra por el cuello de la botella. Se tapa y se agita suavemente hasta que el precipitado se disuelva. En este punto la muestra se puede mantener entre 24 y 48 horas conservada en frío y sin luz. Luego se transportaron al laboratorio de Limnología, Facultad de Ciencias Universidad de Chile para su análisis.

2.3. Determinación de parámetros físico-químicos del agua.

La determinación de la calidad físico química del agua se puede resumir en el flujo metodológico de la figura 8.



Figura 7. Esquema flujo metodológico de los análisis para la calidad del agua superficial.

2.3.1 Análisis químico de las muestras de agua.

La validación del método para los análisis realizados con espectrometría y espectrofotometría de absorción atómica y los rangos de las curvas de calibración se pueden encontrar en el anexo 6.1.4. y 6.1.5

2.3.1.1 Nitrógeno total por variación del método tradicional Kjendahl (Mühlhauser y col., 1986).

Este método es apropiado para rangos desde los 40 a los 500 $\mu\text{g-N/L}$. Se digiere la muestra de agua agregando 10 mL de muestra y 80 μL de H_2SO_4 concentrado en un tubo para método Kjendahl. Se dejó a 100°C durante 3 días hasta que la muestra se evaporara completamente en un equipo Kjendahl. Luego se agregó 10 mL de A.L.A. (Agua libre de amonio) y 15 μL de H_2O_2 al 30% para eliminar la materia orgánica y se calentó a 250°C por 2 horas.

Para obtener la solución NaOH/EDTA: Disolver 13 g de NaOH en 100 mL de EDTA III (Ácido etilendiaminotetraacético, sal disódica) 0,1 M

Para obtener la solución de hipoclorito: Disolver 108 mg de diclorocianurato en 90 mL de la solución de NaOH-EDTA, es estable por 10-15 minutos. Trabajar a luz tenue y guardar en la oscuridad.

Para obtener la solución fenólica: Disolver 12 g de Salicilato de sodio y 100 mg de sodio nitroprusiato ($\text{Na}_2[\text{Fe}(\text{CN})_5\text{NO}] \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) en 100 mL de agua desionizada, estable por 10 a 15 min. Trabajar a luz tenue y guardar en la oscuridad.

Posterior a la digestión se agregó al tubo del método Kjendahl 1,2 mL de solución de hipoclorito y 1,2 mL de solución fenólica, para generar el compuesto coloreado. Se debe trabajar a luz tenue. Se esperó 90 minutos la generación del color y se midió a 685 nm en el espectrofotómetro, se calculó la concentración mediante una curva de calibración de 5 puntos con sus respectivos blancos.

2.3.1.2 Fósforo total por variación del método tradicional Kjendahl-Olsen y fosfatos (Olsen y Sommers, 1982).

De igual forma que la determinación de nitrógeno total, se realizó una digestión y luego, el compuesto coloreado se mide por espectrometría.

El rango de medición para este método se da en concentraciones desde los 20 a 200 $\mu\text{g-P/L}$. Para digerir la muestra de agua se agregó 10 mL de muestra y 80 μL de H_2SO_4 concentrado en un tubo para método Kjendahl. Se dejó a 100°C durante 3 días hasta que la muestra se evaporara completamente en un equipo Kjendahl. Luego se agregó 10 mL de A.L.A. (Agua libre de amonio) y 15 μL de H_2O_2 al 30% para eliminar la materia orgánica y se calentó a 250°C por 2 horas.

Para obtener A.L.A. Circular agua desionizada a través de una resina de intercambio catiónica (como una DOWEX 50 W X8 20-50 mesh en forma H^+). Para solución de molibdato se disuelven 3 g de molibdato de amonio en 100 mL de agua desionizada. Para solución de ácido sulfúrico 11mL de ácido concentrado en 489 mL de agua desionizada. Para solución de ácido ascórbico disolver 1,35 g en 25 mL de agua desionizada. Para solución de tartrato de potasio antimonil disolver 6,8 mg en 10 mL de agua desionizada. Mezcla de reactivos A (para 25 muestras). En el mismo orden en que se mencionan se mezclan los reactivos en un vaso precipitado: 10 mL de molibdato de amonio, 25 mL de ácido sulfúrico, 10 mL de ácido ascórbico y 5 mL de tartrato de potasio antimonio.

Para el compuesto coloreado se utilizan 10 mL de muestra y 2mL de mezcla A, luego de 5 minutos y dentro de las primeras 2 a 3 horas se mide la absorbancia de la solución en una celda de vidrio o cuarzo a 720 o 885 nm en el espectrofotómetro. Se corrige con el valor del blanco que es agua destilada tratada con los mismos reactivos, sustrayendo el valor de su absorbancia a las medidas de las muestras. Para medir las concentraciones se realiza una curva de calibración obtenida de la serie estándar a partir de fosfato hidrógeno de potasio, disolver 4,393 g (previamente secado) en agua destilada en un matraz aforado de 1 L. Se agrega 1 mL de ácido sulfúrico concentrado y se afora.

2.3.1.3 Nitrato, método de salicilato de sodio

El rango de medición es de 0,1-2 mg $\text{NO}_3\text{-N/L}$, para mayores concentraciones se deben realizar alícuotas.

Para obtener la solución de salicilato de sodio: Disolver 0,5 g de salicilato de sodio en 100 mL de agua desionizada. Solución se prepara fresca. Para la solución de

tartrato/NaOH: Disolver 400 g de NaOH en menos de 1 L de agua destilada. Luego de enfriar agregar 50 g de tartrato de potasio de sodio, disolver, aforar a 1 L y guardar en botella plástica. Estable por largo tiempo.

En un matraz de vidrio con 25 mL de muestra se le agrega 1 mL de la solución de salicilato de sodio, se evaporan a 100°C hasta secarlos (una noche), la temperatura del horno no debe exceder los 110°C. Al terminar el proceso, con el matraz aun caliente agregar 1 mL de ácido sulfúrico para disolver el residuo y de inmediato 50 mL de agua desionizada. Finalmente añadir 7 mL de la solución de tartrato-NaOH, llevar a 100 mL con agua desionizada y mezclar. La absorbancia se mide de inmediato a 420 nm. Para la curva de calibración se tratan los estándares de la misma forma. Para obtener la solución madre de nitrato se seca sulfato de amonio a 100°C. Disolver 4,714 g en 200 mL de A.L.A., agregar 2 mL de H₂SO₄ concentrado y diluir hasta 1 L. La solución contiene 1mg/mL, tomar 1 mL de esta solución para diluirlo a 1 L obteniendo 1µg NO₃-N /mL.

2.3.1.4 Amonio, método azul de indofenol (método fenato)

Este método es apropiado para concentraciones de amoniaco entre 10 y 1000 µg NH₃-N/L. Se realiza el mismo procedimiento que para la determinación de Nitrógeno total pero sin la digestión. La determinación de amonio se basa en la formación del complejo coloreado (azul de Indofenol). Para ello se debe agregar 2 mL de solución fenólica a 50 mL de muestra y mezclar. Agregar 2 mL de solución de hipoclorito y mezclar. Se debe trabajar a luz tenue, luego esperar 90 minutos y dentro de 48 horas medir la absorbancia a 685 nm. Para la curva de calibración se trabaja con la solución estándar de amonio y se les realizó el mismo procedimiento que a las muestras de agua.

2.3.1.5 Sulfato, Método turbidimétrico

Preparar gelatina de cloruro de Bario: disolver 0,6 g de gelatina bacteriológica en 200 mL de agua caliente (60-70 °C) y dejar reposar a 4°C. Luego de 16 horas y a temperatura obtener el fluido semigelatinoso; 2 g de BaCl₂*H₂O r.a. y mezclar hasta

que el cloruro de bario se disuelva. Guardar en tubos de ensayo tapa rosca y mantener a 4°C, sacar del refrigerador 2 hrs antes de usar. Dura 1 semana en esas condiciones.

Preparar HCl 0,5 N: Agregue 10,365 mL de HCl concentrado grado a 100mL de agua y aforar a 250 mL.

De una muestra filtrada extraer una alícuota de 2 mL (que contenga entre 5 a 100 mg de sulfato) a un matraz Erlenmeyer seco agregar, 2 mL de HCl y 1mL de gelatina BaCl_2 y aforar a 25 mL con agua desionizada. El ión sulfato es precipitado en medio ácido con cloruro de bario, se agita hasta mezclar el contenido, luego de 30 minutos se vuelve a agitar y se transfiere para la lectura. La luz absorbida del sulfato de bario en suspensión es medida por fotometría a 420 nm y la concentración de sulfato es determinada por comparación de la lectura con una curva estándar. Para obtener una solución estándar de sulfato 10 mg/L: disolver 5,438 g de sulfato de potasio r.a. en 200 mL de agua desionizada y llevar a 1 L.

2.3.1.6 Boro, Método de Azometina-H

Para obtener solución tampón: disolver 250 g y 15 g de EDTA disódico en 400 mL de agua destilada. Lentamente agregar 125 mL de ácido acético glacial y mezclar.

Para la solución de azometina-H y ácido ascórbico: se disuelven 0,9 g de azometina-H y 2 g de ácido ascórbico en 100 mL de agua destilada. Se almacena en frasco de polietileno y se refrigera, dura 2 semanas.

Una alícuota de 4 mL de muestra se le agrega 4 mL de de la solución tampón y 2 mL de azometina-H al 0,9%, se deja reposar por 30 a 60 minutos para que el ácido bórico desplace el equilibrio hacia la formación de un complejo color amarillento y luego se lee la absorbancia a 420 nm. La curva de calibración se realiza a partir del estándar de boro. Se disuelven 5,716 g de ácido bórico y se diluye a 1L con agua destiladaobteniendo 1000mg/L de boro. De diluyó para obtener un estándar de 50 mg/L y se tomaron alícuotas para la curva y se agregaron 2 mL de ácido sulfúrico (96%, 1,84 kg/L), se dejó enfriar y luego se enrasó hasta los 25 mL con agua desionizada, se les realiza el mismo tratamiento que a las muestras.

2.3.1.7 Sílice, método colorimétrico de molibdato para sílice reactivo

El rango de medición es de 0,1-5 mg Si/L.

Para obtener la solución de molibdato de sodio: disolver 5 g de Na_2MoO_4 en 100 mL de H_2SO_4 0,25 M. Dejar descansar por 48 horas antes de usar.

Para la solución stock de cloruro de estaño: Disolver 40 g de cloruro de estaño en 100 mL HCl 12 M y luego diluir 1 mL de esta solución en 100 mL de agua desionizada, se usa de inmediato.

A una alícuota de muestra enrasada a 20 mL (pH entre 5-8) que contenga alrededor de 100 μg Silicio se le agregan 2 mL de solución de molibdato de amonio, se deja descansar 20 minutos y agregar 5 mL de ácido sulfúrico, la mezcla se deja descansar a temperatura ambiente, posteriormente se agrega 1 mL de agente reductor (solución diluida de cloruro de estaño) y finalmente se mide la absorbancia a 810 nm con sus respectivos blancos y la curva de calibración que se realiza a partir de la solución estándar de silicio (100 mg Si/L), la cual se somete al mismo procedimiento que a las muestras de agua.

2.3.1.8 Oxígeno disuelto, método de Winkler.

Para la estandarización del tiosulfato, se realiza una titulación con la siguiente solución: 2g de KI en 100 mL de agua destilada, se le agregan 10 mL de ácido sulfúrico concentrado y 20 mL de una solución de dicromato de potasio 0,025 N, se diluye a 200 mL. Al titular la solución con tiosulfato de sodio la solución se vuelve color pajizo pálido, es cuando se le agrega el almidón. Para el factor de estandarización se usa la siguiente fórmula:

$$\text{Factor.de.estandarización } \text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 = \frac{20,00}{\text{mL.de.tiosulfato.de.sodio}} \quad \text{Ec. 1}$$

Procedimiento para la titulación de las muestras: la muestra fijada (200 mL) se pone en un Erlenmeyer para titular con la solución de tiosulfato de sodio sobre un fondo blanco hasta obtener un color amarillo pajizo. Se agregan 1 a 2 mL de la solución indicadora de almidón y se sigue la titulación hasta que el color azul del

indicador desaparezca. La estequiometría de las reacciones y el volumen del titulante utilizado:

$$\text{Oxígeno.Disuelto (mg/L)} = \frac{\left(\text{Volumen } S_2O_3^{2-} \right) \left(\text{Conc. } S_2O_3^{2-} \right) \left(\frac{I_2}{2 * S_2O_3^{2-}} \right) \left(\frac{Mn^{2+}}{I_2} \right) \left(\frac{32gO_2}{mol.O_2} \right) \left(\frac{1000mg}{1g} \right) (F.S.)}{\text{Volumen.muestra}}$$

$$\text{Oxígeno.Disuelto (mg/L)} = \frac{\left(\text{Volumen } S_2O_3^{2-} \right) * 200 * (F.S.)}{\text{Volumen.muestra}} \quad \text{Ec. 2}$$

2.3.1.9 Cloruros, método de Möhr con nitrato de plata.

Para obtener una solución de $AgNO_3$ 0,01 M: Se disolvió 1,698 de la sal en 1 L de agua destilada. Esta solución fue valorada con una solución patrón de cloruro de potasio 0,01 N, empleando como indicador cromato de potasio al 5%.

Pipetear una alícuota de muestra filtrada que no tenga más de 0,1 mmol de cloruro en el vaso de titulación, además el pH debe estar entre los valores de 6,5 a 10. Diluir a 25 mL y agregar 3 gotas del indicador, poner en vasos precipitados de 50 mL y titular con $AgNO_3$ 0,01M hasta la aparición del precipitado rojo de cromato de plata.

Fórmula para determinar la normalidad de nitrato de plata:

$$N_1 = \frac{N_2 * V_2}{V_1} \quad \text{Ec. 3}$$

Donde N_1 : Se refiere a la normalidad de nitrato de plata; N_2 : Normalidad de Cloruro de potasio, V_1 y V_2 a los volúmenes de nitrato de plata y cloruro de potasio utilizados.

Para determinar la concentración de cloruros en las muestras:

$$N_m = \frac{g}{meq * V_m} \quad \text{Ec. 4}$$

Donde N_m : normalidad de cloruro en las muestras; g es el gasto en mL del titulante ($AgNO_3$); meq: se refiere a los miliequivalentes del $AgNO_3$; V_m : se refiere al volumen utilizado de la muestra.

2.3.1.10. Alcalinidad total, carbonato (CO_3^{2-}) y bicarbonato (HCO_3^-), método acidimétrico con punto final de indicador.

Para obtener la solución de fenolftaleína: Disolver 0,5 g de fenolftaleína en 50 mL de etanol al 95% y agregar 50 mL de agua desionizada. Agregar gota a gota solución de NaOH 0,05 M hasta que la solución se ponga levemente rosada.

A una muestra de 20 mL se le agregan 2 gotas de la solución de fenolftaleína en un matraz Erlenmeyer. Si la solución permanece incolora (Alcalinidad fenolftaleína =0), se determina la alcalinidad total. Si la solución se vuelve rosa o fucsia, se determina la alcalinidad fenolftaleína titulando con ácido hasta que la coloración desaparezca. Una vez alcanzado un color débil se determinará el punto final con ayuda del buffer de fenolftaleína agregando una gota al Erlenmeyer y se compara con el color de la muestra en ese momento. Para los cálculos se consideran los gastos de ácido en las titulaciones (ver ecuaciones en el anexo 6.1.1)

2.3.1.11 Preparación y medición de iones sodio, potasio, calcio y magnesio por espectrofotometría de absorción atómica.

En las determinaciones de metales alcalinos y alcalinos térreos puede haber interferencias de oxianiones como fosfatos y cloruros por lo que se usa como agente liberador o solución supresora una solución de lantano o estroncio en las mediciones de metales alcalinos térreos y para los metales alcalinos una solución de cesio. Estas soluciones se agregan en la solución a medir, lo que compensa la interferencia debida a la ionización.

Se utilizó una alícuota de muestra según el factor de dilución para altas concentraciones de sales, se agregó 1 mL de HCl y se aforó a 25 mL con agua desionizada y se homogeneizó.

A 2 mL de la solución con la muestra preparada agregar 2 mL de la solución supresora según el metal, homogeneizar y medir por EAA. Hacer una curva de calibración con las soluciones estándares y sus respectivos blancos.

2.3.1.12 Condiciones experimentales para Espectrofotometría de Absorción Atómica.

Las condiciones de las mediciones fueron: lámparas de cátodo hueco de gas neón para sodio, potasio, calcio y magnesio, ranura del ancho del quemador de 7 mm, llama de aire/acetileno, entre otras que pueden verse en la tabla 2. La muestra fue filtrada y almacenada a 4°C y a pH 2.

Tabla 2. Condiciones experimentales del equipo de EAA.

Parámetro	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺
Longitud de onda (nm)	589,0	766,5	422,7	285,2
Tipo de Llama	Aire/Acetileno			
Flujo (L*min ⁻¹)	1,2	1,1 a 1,3	4,0 a 4,4	0,9 a 1,2
Altura quemador (mm)	7			
Tipo de lámpara	Cátodo hueco			
Gas	Neón			
Ancho de banda (nm)	0,2	0,2	0,5	0,5
Cantidad de mg/L que entregan una señal de 0,4 (A)	1,2	1,1	1,4	0,3
Sensibilidad Llama (mg/L)	0,013	0,012	0,015	0,003

2.3.2. Determinación cuantitativa de la vía evolutiva en cuencas cerradas.

Para determinar la vía evolutiva de la concentración de sales de forma cuantitativa se utilizó el método realizado en el estudio de Geoquímica de aguas en cuencas cerradas I, II y III Regiones – Chile, realizado por Risacher, Alonso y Salazar (1998). El método se basa en la noción de alcalinidad ([alc]) (Stumm y Morgan, 1970; Dickson 1981), la cual mide la reserva alcalina de la solución disponible para neutralizar ácidos fuertes, representada en la ecuación 5.

A medida que se evapora un cuerpo de agua, comienzan a precipitar las sales menos solubles como la calcita y luego las sales que siguen en orden de solubilidad y saturación, es así como las condiciones del medio acuático van variando con un factor

particular de cada cuerpo de agua, por ello se pone el subíndice "0" en las concentraciones iniciales y un factor F de concentración (ecuación 6).

$$[alc] = \{[Na^+] + [K^+] + [Li^+] + [Ca^{+2}] + [Mg^{+2}]\} - \{[Cl^-] + [SO_4^{-2}] + [NO_3^-]\} \quad \text{Ec. 5}$$

$$[alc] - [Ca^{+2}] = Fx\{[Na^+]_p + [K^+]_p + [Li^+]_p + [Mg^{+2}]_p\} - \{[Cl^-]_p + [SO_4^{-2}]_p + [NO_3^-]_p\} \quad \text{Ec. 6}$$

Por la solubilidad de las sales se puede llegar a un resumen de las vías evolutivas (Tabla 3) que pueden ocurrir en cuencas cerradas, Risacher y col. 1998, (detalle y ecuaciones en el Anexo 6.1.2):

Tabla 3. Resumen de determinación cualitativa de la vía evolutiva.

Inecuaciones a cumplir	Vías evolutivas que puede seguir
$[alc] > [Ca]$ y $[alc] > [Ca] + [Mg]$	Vía Carbonatada
$[alc] < [Ca]$ y $[alc] > [Ca] + [Mg]$	Vía Sulfatada alcalina o directa
$[alc] < [Ca]$ y $[alc] + [SO_4] > [Ca]$	Vía Sulfatada neutra
$[alc] < [Ca]$ y $[alc] + [SO_4] < [Ca]$	Vía Cálcida

2.3.3. Determinación indirecta del potencial redox (Ríos y col., 2003).

Utilizando las concentraciones de oxígeno disuelto, la presión del oxígeno en el cuerpo de agua medidos con el multiparamétrico, los valores de pH, la concentración de peróxido de hidrógeno (tabla 15 del anexo 6.1.3) y la constante de equilibrio del mecanismo de control del potencial redox según Sato y Money (1960), en cuerpos de aguas oxigenados, se obtuvo la actividad del electrón y se calculó el valor de potencial redox, para dos estaciones diferentes del año (ecuaciones 30, 31 y 32 en el anexo 6.1.3).

2.4. Determinación de organismos planctónicos

2.4.1 Fitoplancton.

Para la determinación de organismos fitoplanctónicos se tomó una muestra de 250 mL en cada punto de muestreo con 2 réplicas y se fijaron con una solución de lugol al agua (I_2/KI).

En el laboratorio, las muestras fueron concentradas por sedimentación en cámaras de recuento de 10 ml y 25 ml durante 24 y 48 horas respectivamente, de acuerdo al método de Utermöhl (1958), y analizadas en un microscopio invertido Olympus B071, de acuerdo a Villafañe y Reid (1995). Para la identificación taxonómica de los géneros, se utilizaron las descripciones de Parra y Bicudo (1995), Rivera y col. (1982) y Diaz (2005).

2.4.2 Zooplancton.

Para los organismos zooplanctónicos, en cada punto de muestreo, se filtran 15 L de agua por una red de zooplancton de 55 μm para cada réplica, luego se fijan con alcohol para analizar posteriormente en el laboratorio de Limnología.. Esto se realizó de la misma manera para las muestras tomadas en las dos estaciones del año pre y post lluvias altiplánicas.

Las muestras de zooplancton fueron analizadas en el laboratorio en una cámara Bogorov (Horne y Goldman 1994) bajo microscopio estereoscópico Nikon SMZ445, Leica EZ4HD y microscopio DM500 con cámara ICC50 HD. Para la identificación taxonómica, se utilizó como referencias base a Araya y Zúñiga (1985); Thorp and Covich (2001); Williamson y Reid, (2001); Wallace y Snell (2001); De los Rios y Salgado (2012).

2.4.3 Determinación de biodiversidad de organismos planctónicos

La determinación de los índices de diversidad se realizó para cada muestra y para cada comunidad por separado (comunidad fitoplanctónica y comunidad zooplanctónica), considerando la abundancia (N), la riqueza (número S), el índice de Shannon-Wiener (H') y el índice de equitatividad (J). el índice H' es la sumatoria de las

proporciones de cada tipo de organismo respecto al total de individuos y el índice de equitatividad es un indicador de la equitatividad del tipo de individuos en la proporción.

$$H' = - \sum_{i=1}^S P_i * \ln(P_i) \quad \text{Ec. 7}$$

$$J = \frac{- \sum_{i=1}^S P_i * \ln(P_i)}{\ln(S)} \quad \text{Ec. 8}$$

Se determinó en cada punto y temporada las especies o géneros por clase, para la comunidad fitoplanctónica y por especie o género para la comunidad zooplanctónica. Copépodos se agruparon como la sumatoria de nauplius, copepoditos, ciclopidas, harpacticoidas y calanoidas; y los rotíferos como la sumatoria de *Euchlanis sp.* y *Trichotria aff.*

2.5 Análisis Estadísticos

Los análisis estadísticos realizados y sus objetivos se presentan resumidos en la figura 9. Para esto se trabajó con el programa "R", versión i386 3.1.3.

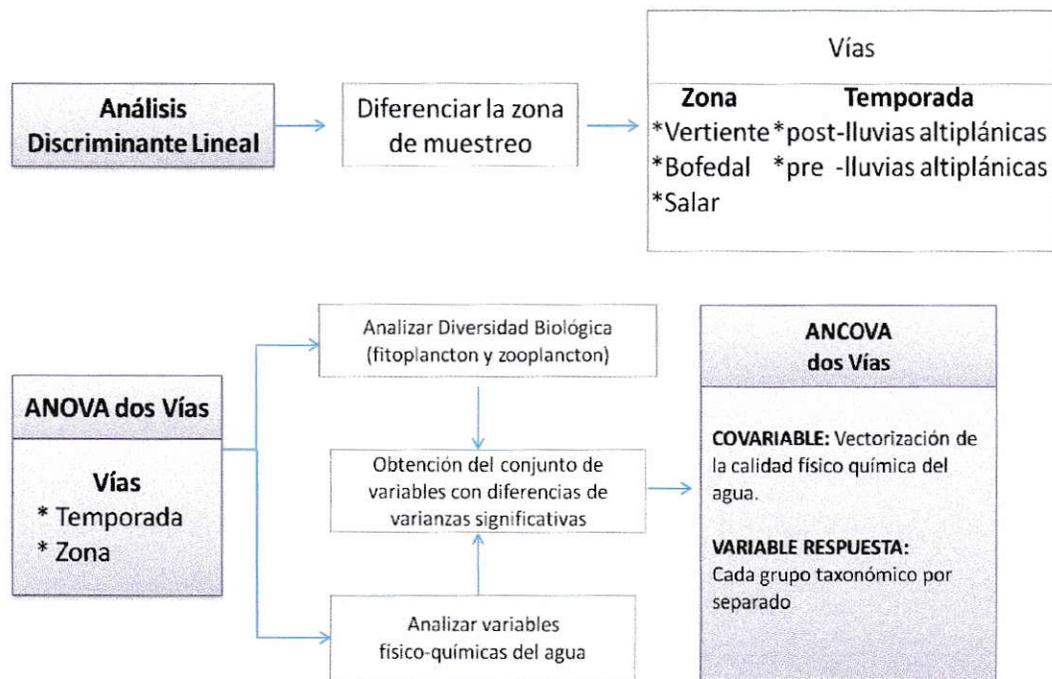


Figura 8. Esquema de flujo de los análisis estadísticos realizados.

2.5.1 Diferenciación estadística entre los puntos de muestreo

Se utilizó el análisis discriminante lineal (LDA) para obtener determinar un orden de proyección de los datos y obtener una estimación de las variables físicas y químicas del agua que las determinan. Para el análisis se identifican como **vertiente el sitio 1 y 2**, como **bofedal el sitio 3** y como **salar el sitio 4 y 5**. Este se ordenamiento se corrobora con el valor de stress que entrega el programa "R".

2.5.2 Análisis de Varianzas (ANOVA)

Permite determinar si las variables químicas del agua y la diversidad zooplanctónica y fitoplanctónica son significativamente diferentes entre las categorías pre-definidas. Se usó dos vías, por "temporada" y por "zona", considerándose las temporadas de muestreo de pre y post lluvias y las zonas de vertiente-bofedal-salar.

Si los datos no eran normales utilizó BOXCOX y si los datos no podían ser normalizados se empleó ANOVA desbalanceado.

Para obtener diferencias significativas entre cada combinación de las variables considerando temporada y zona se realizó el test de Tukey por múltiples pruebas no paramétricas de contraste e intervalos de confianza (MCTP).

2.5.3 Transformación unidimensional de la físico-química del agua.

Los sitios de muestreo y las variables físico-químicas se integraron mediante escalamiento multidimensional no métrico (NMDS). Con esto queda en un solo eje la distribución de los puntos de muestreo, ordenados según el grado de disimilitud entre los sitios de muestreo considerando las variables de la calidad del agua que resultaron significativas según el ANOVA anterior.

2.5.4 Análisis de la covarianza. (ANCOVA)

Este análisis se realizó con el fin de de determinar la posible influencia de las variables físico-químicas del agua en las variables de diversidad. Luego se realizó un test de Tukey para obtener combinaciones significativamente distintas. Para el ANCOVA se consideró la diversidad de cada taxa fitoplanctónica y zooplanctónica como variable respuesta y considerando como covariable las variables físicas y químicas del agua.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Análisis cualitativo y cuantitativo de la físico-química del agua en los diferentes sitios de la vertiente 6 del salar de Ascotán.

El detalle completo de datos registrados se encuentra en el ANEXO 6.2, tabla 26, 27 y 28.

3.1.1 Variación estacional de registros realizados in situ.

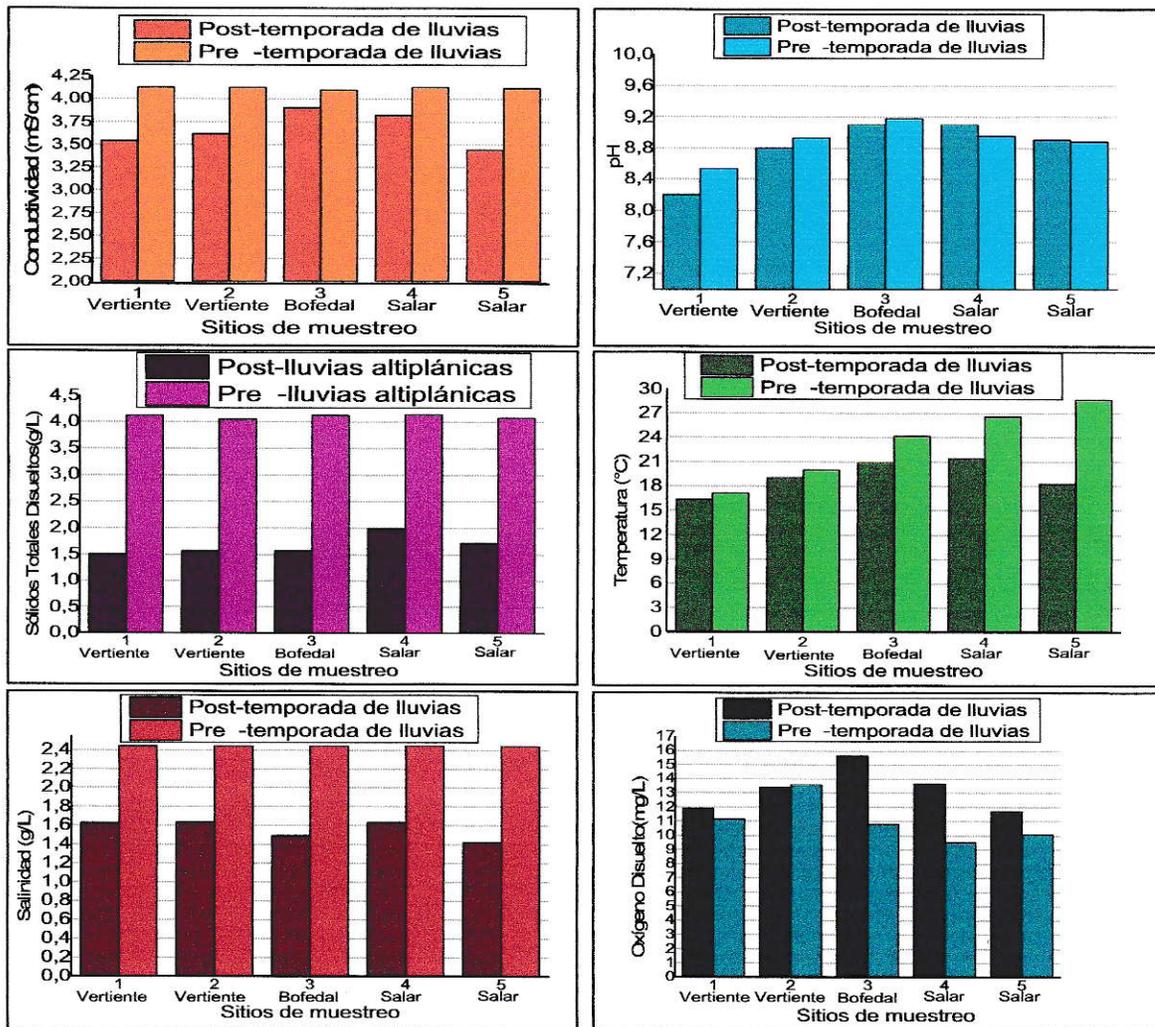


Figura 9. Variables *in situ* de la temporada posterior y la temporada previa a las lluvias altiplánicas.

Conductividad eléctrica. Después de la temporada de lluvias (Mayo, 2014) el valor máximo es de 3,9 mS/cm en el sitio 3 correspondiente a la zona de bofedal y 3,4 mS/cm en la zona de la vertiente; mientras que los valores durante la temporada previa a las lluvias fueron mayores en todo el sistema vertiente-bofedal-salar, manteniéndose entre 4,08 a 4,13 mS/cm con máximos en la zona de la vertiente. Como era de esperarse la conductividad eléctrica aumentó en la temporada seca, por la disminución del volumen de agua, concentrándose las sales y creando incluso precipitaciones de sales en los bordes del cuerpo de agua. Estos valores por sobre los 2,250 mS/cm caen en la categoría de Clase 4 (mala calidad) según la clasificación de Aguas por medio de la Guía de Establecimiento de Normas Secundarias de Calidad Ambiental para Aguas Continentales Superficiales y Marinas (CONAMA, 2004).

Unidades de pH. Durante ambos muestreos los valores se mantienen alcalinos, con rangos entre 8,2 a 9,1 en la temporada posterior a las lluvias, con su máximo en la zona de bofedal; mientras que la temporada posterior a las lluvias en todos los sitios resultó más alcalino, con rangos entre 8,5 a 9,2 valores de pH, manteniendo los máximos y los mínimos en las mismas zonas que la temporada anterior. Sus altos valores se deben a las grandes concentraciones de sales alcalino, alcalino-térreas, carbonatos y bicarbonatos que se espera encontrar en los humedales cercanos a salares. Con un valor por sobre lo 7,5 valor de pH cae en la categoría de Clase de expección (muy buena) según la guía de CONAMA (2004).

Sólidos Totales Disueltos. Post-lluvias alcanza su máximo en el sitio 4 con 1,990 g/L y valores mínimos presentándose en la vertiente con 1,513 g/L. Para la temporada antes de las lluvias tuvo débiles fluctuaciones entre 4,01 a 4,15 g/L, aumentando a más del doble los valores en la temporada seca. Además del aporte de agua de esta vertiente difusa y la concentración de sales por disminución de las lluvias, el factor viento en un ecosistema de la zona altiplánica también aporta material y puede ser la razón del aumento de los sólidos totales disueltos en el segundo muestreo. Esta variable cataloga como clase 4 al humedal, según la guía de CONAMA (2004).

Salinidad. Aumentó sus valores a más del doble entre la temporada posterior a las lluvias con 1,4 a 1,64 g/L y la temporada seca con valores entre 4,09 a 4,12 g/L. Su clasificación de salinidad según Hammer (1986) es Subsalina para la temporada posterior a las lluvias e hiposalina para la temporada seca.

Temperatura. En ambas temporadas se observa un incremento de la temperatura a medida que se avanza por el sistema vertiente – bofedal – salar, sin embargo durante la temporada posterior a las lluvias mostró una baja considerable por el viento que se presentó a la hora del último muestreo, afectando también a otras variables como la conductividad y STD. Aun así, su temperatura inicial va desde los 16,35°C hasta los 21°C registrados en el sitio 4 cercano al salar. En la temporada previa a las lluvias, se marcó una diferencia de 12°C entre el sitio 1 (15,7°C) y el sitio 5 (28,4°C).

Oxígeno disuelto. Durante la temporada de post lluvias (mayo 2014) en el sitio 3 se alcanzan valores máximos de oxígeno disuelto de 15,68 mg/L y casi siempre fueron mayores que durante la temporada seca. Durante la pre-temporada de lluvias su máximo se encuentra en la zona de la vertiente con 13,5 mg/L y su disminución en comparación a la temporada post lluvias se debe principalmente al aumento de la temperatura. A pesar de la baja presión atmosférica, las concentraciones de oxígeno disuelto fueron bastante altas, atribuible al factor viento. Esta variable cataloga como clase de excepción al humedal, gracias a que supera los 7,5 mg/L.

3.1.2 Variación estacional de metales alcalinos y alcalino-térreos

Las variables determinadas fueron sodio, potasio, calcio y magnesio.

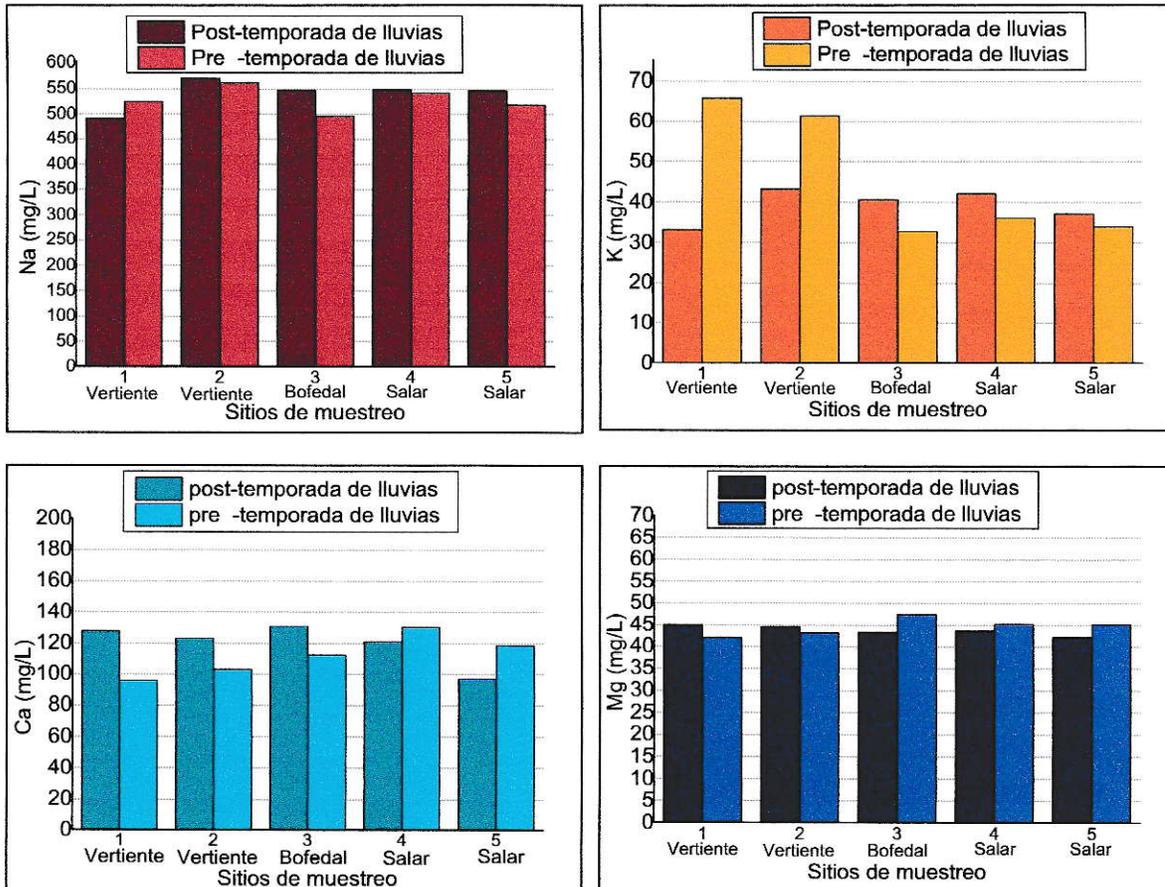


Figura 10. Concentraciones de metales alcalinos y alcalino-térreos de la temporada posterior y la temporada previa a las lluvias altioplánicas.

Sodio. Cation más abundante con concentraciones que van desde los 490 a 570 mg/L durante la tempora posteriores a las lluvias (mayo, 2014) y durante la temporada seca (Nov. 2014) se encuentra en un rango de 495 a 550 mg/L, con su máxima concentración en la zona de la vertiene, segundo sitio de muestreo para ambas temporadas. Su concentración se acentúa en la zona de la vertiente, zona de menores temperaturas, lo que puede deberse a que la solubilidad de los demás cationes disminuye en mayor medida, luego tiende a bajar al avanzar por el sistema vertiente-bofedal-salar, al aumento de la actividad electrónica de los demás cationes por el aumento de temperatura en el agua.

Potasio. Cation menos abundante de los metales alcalino y alcalino térreos, sus concentraciones varían entre los 33 a los 67 mg/L durante la temporada posterior a las lluvias altiplánicas; para la temporada previa a las lluvias en el inicio de la vertiente tiene valores de 32,73 mg/L con un máximo en el segundo sitio de muestreo con 43 mg/L y luego vuelve a disminuir hasta los 37 mg/L en la zona cercana al salar. Durante la temporada seca, la zona de la vertiente resultó con concentraciones mucho más altas que en el resto de los sitios y también comparándolo con las otras temporadas. Esto se puede deber a que la temperatura en esta zona es más baja que el resto de la vertiente y la solubilidad de las sales de potasio que suelen haber en el salar (KNO_3) es mucho mayor que la solubilidad de las sales de los metales alcalinotérreos (CaCO_3 , MgSO_4). Además el potasio tiene la tendencia de sustituir al sodio contenido en las arcillas, esto ocurre en los sedimentos y como se aprecia en la zona bofedal-salar de la temporada seca disminuye a la mitad sus concentraciones en la columna de agua, la cual se está en estrecho contacto con los sedimentos al tener menos de 10 cm.

Calcio. Es el segundo catión mayoritario de los metales alcalinos, sus concentraciones van desde los 130 a los 97 mg/L durante la temporada de post lluvias y de los 96 a los 130 mg/L durante la temporada seca, con sus máximos en la zona de bofedal y salar. Esto puede deberse a que durante la temporada seca la temperatura influyó en mayor medida en su coeficiente de actividad electrónica, superando a las actividades de los aniones con que puede formar sales como el carbonato, llevándolos a precipitar.

Magnesio. Al igual que el potasio, también se encuentra en bajas concentraciones. Sus concentraciones van desde los 45 a los 42 mg/L post-temporada de lluvias disminuyendo a lo largo del gradiente vertiente-bofedal-salar y para la temporada seca su concentración va desde los 42 hasta los 47 mg/L con su máximo en la zona bofedal (sitio 3), luego se mantiene en los 45 mg/L en la zona cercana al salar. La solubilidad de sus sales es baja, pero se sitúa después de la calcita. Por su doble carga positiva se comporta como el calcio.

Por lo tanto los metales del mismo grupo químico tienen comportamientos similares en cada temporada.

Según la determinación del RAS (donde se consideran las concentraciones en miliequivalentes de sodio, calcio y magnesio) los valores siempre estuvieron sobre 9, catalogando el salar como Clase 4 según la guía de CONAMA (2004).

3.1.3 Variación estacional para variables de Alcalinidad y Cloruros

En esta sección se determinó las concentraciones de carbonatos, bicarbonatos, alcalinidad total, la dureza, el boro y cloruros.

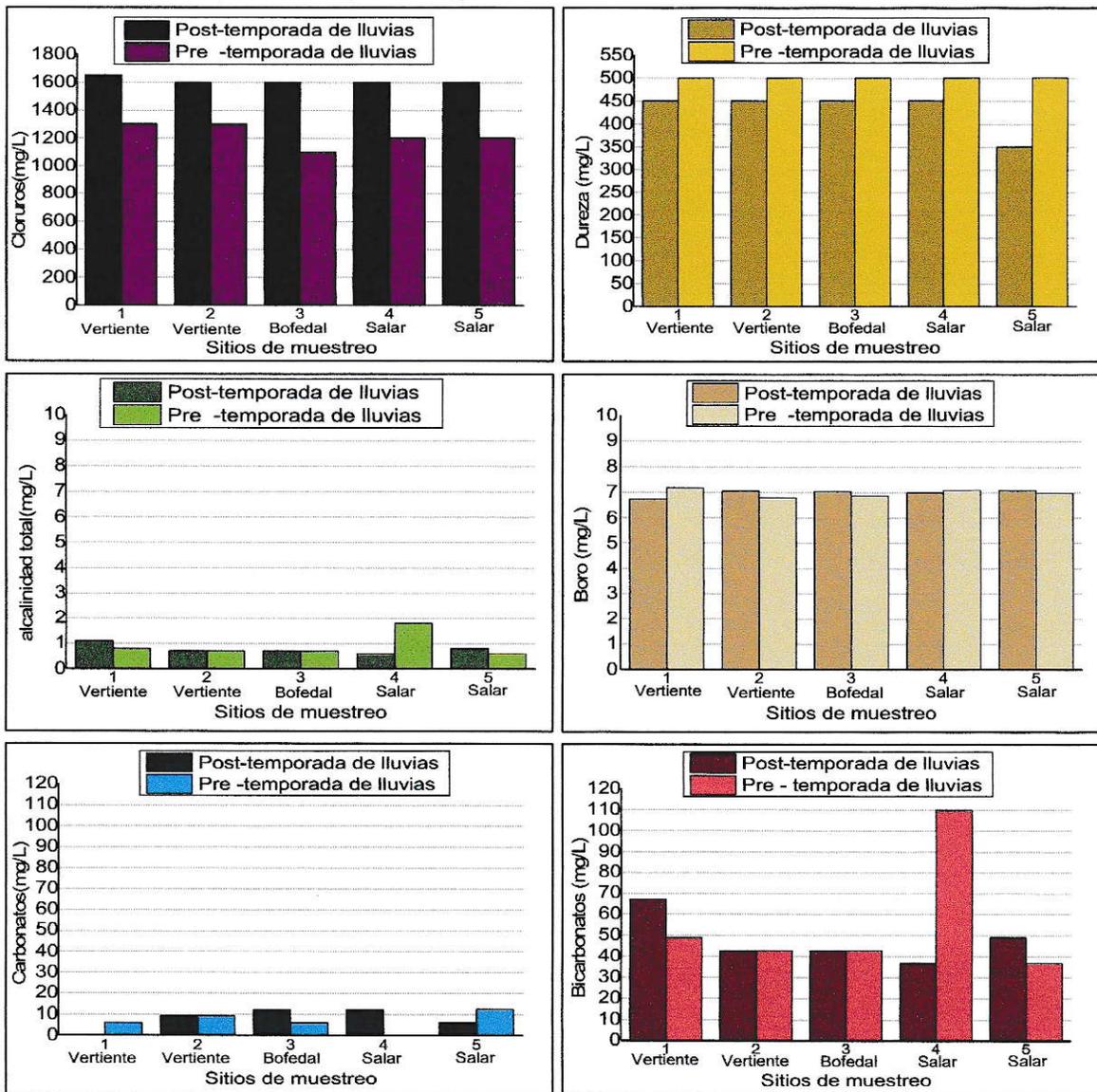


Figura 11. Variables de Alcalinidad y Cloruros de la temporada posterior y la temporada previa a las lluvias altiplánicas.

Cloruros. En la temporada post lluvias, figura 12, se muestra una concentración de 1650 mg/L en el primer punto y luego disminuye a 1600 mg/L para mantener constante en el resto del sistema. En la temporada seca hay menor concentración de cloruros dentro de los rangos de 1100 a 1300 mg/L con su máximo en la zona de la vertiente. El aporte de aguas del humedal viene con altas concentraciones de halita, es por esto que posterior a las lluvias puede verse aumentada su concentración, dado que se recarga a través del origen y escorrentía subterránea. Califica en clase 4 al humedal por tener concentraciones por sobre los 200 mg/L, según la guía de CONAMA (2004).

Bicarbonatos y alcalinidad. Para la temporada previa a las lluvias el sitio 4 alcanza un máximo, con 1,8 mg/L para alcalinidad total y 109,8 mg/L para bicarbonatos, casi triplicando la concentración post-lluvias, para luego disminuir en el sitio 5 (0,6 y 36,6 mg/L, respectivamente). Debido al comportamiento similar se sugiere que la capacidad alcalina del agua se deba principalmente a la concentración de bicarbonato. Las concentraciones de bicarbonatos inician con una disminución en la zona de la vertiente a bofedal, lo que puede ser por el cambio de la dinámica desde el aporte de la vertiente a la intromisión del sistema, precipitando como carbonatos.

Carbonato. Los carbonatos presentan el patrón contrario al de la alcalinidad y bicarbonatos entre temporadas, con diferencias más representativas en la zona bofedal-salar, ya que disminuye en el sitio 4 llegando a 0 mg/L durante la temporada previa a las lluvias y luego aumenta hasta los 12 mg/L; durante la temporada posterior a las lluvias de 0 a los 12 mg/L desde la zona de la vertiente hasta el sitio 4, en el sitio 5 disminuye hasta los 6 mg/L. El aporte de sales carbonatadas (bicarbonatadas) al humedal se debe por el lavado de piedra caliza, lo que aumenta de forma natural el pH al hidrolizar parcialmente el agua, sin embargo el pH que alcanza en el cuerpo de agua permite principal la forma de bicarbonato.

Boro y dureza. La concentración de boro es casi constante a lo largo del sistema vertiente-bofedal-salar, entre 6,7 a 7,1 mg/L. La dureza permaneció constante a excepción del último sitio de la temporada posterior a las lluvias que disminuyó de un valor constante en el sistema de 450 a 350 mg/L, durante la temporada seca la concentración aumentó a 500 mg/L. Catalogado clase 4 por boro sobre los 0,75 mg/L.

3.1.4 Variación estacional de nutrientes

Las variables que se determinaron es esta sección fueron: fósforo total, nitrógeno total, ortofosfatos, nitratos, amonio, sílice y sulfatos.

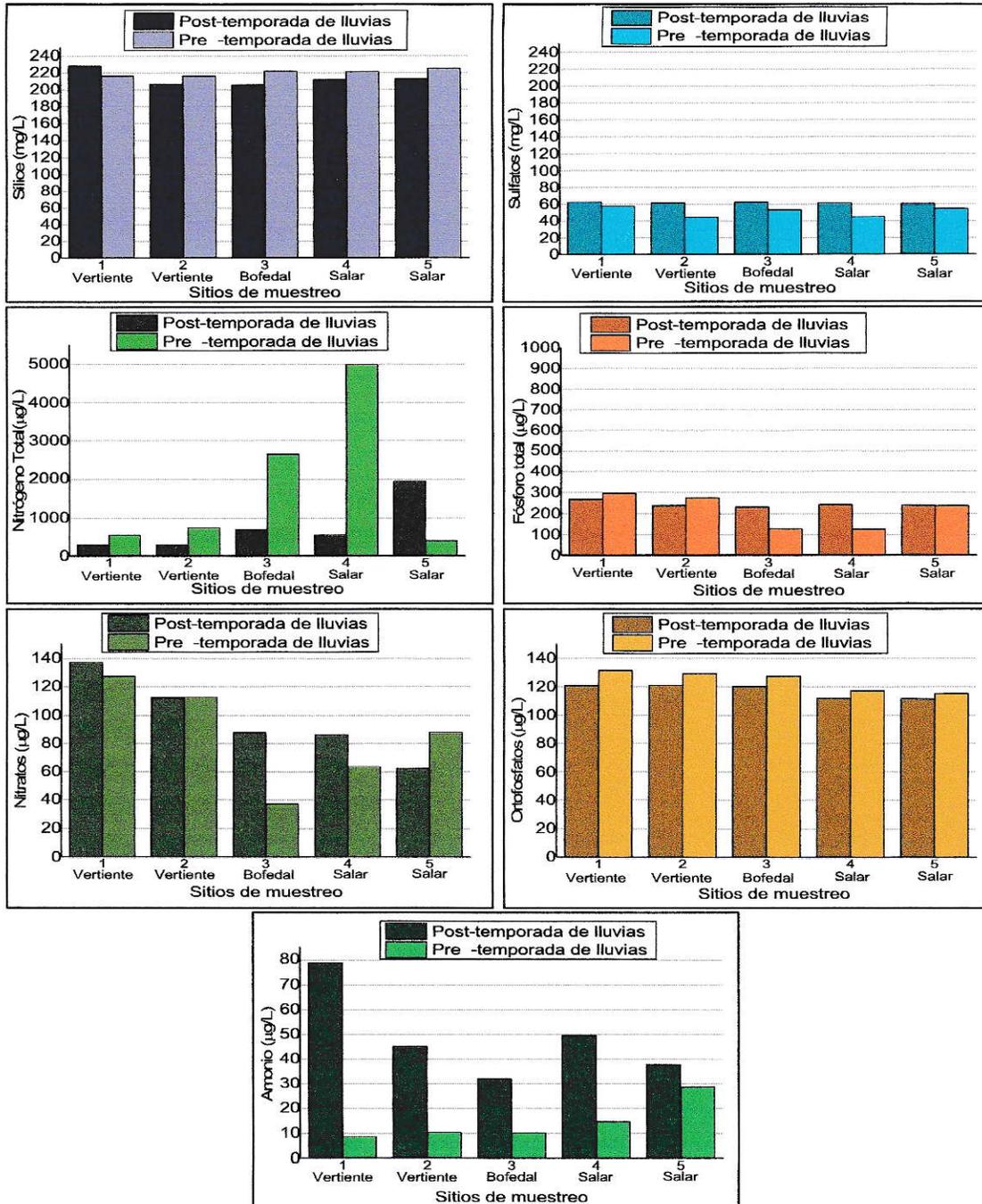


Figura 12. Nutrientes de la temporada posterior y previa a las lluvias altiplánicas.

Durante ambas temporadas (mayo 2014 y noviembre 2014) el orden de los valores de mayor a menor concentración son la sílice, luego le sigue el sulfato, el nitrógeno total y fósforo total, posteriormente en unidades de $\mu\text{g/L}$ prosiguen los fosfatos, el nitrato y finalmente el amonio.

Sílice. Su rango de concentración es de 227 mg/L, en el primero sitio, hasta los 204 mg/L en los sitios 2 y 3 para la temporada posterior a las lluvias. Durante la temporada seca va desde los 216 mg/L en la zona de la vertiente y aumenta por el sistema vertiente-bofedal-salar hasta los 224 mg/L como máximo en el último sitio de muestreo. Las concentraciones máximas se encuentran en la zona de la vertiente posterior a las lluvias, mientras que en la temporada seca se encuentra en la zona bofedal-salar, esto puede ser un indicio de la distribución de las diatomeas, microalgas que incorporan el silicio para la generación de las frústulas.

Sulfatos. Se muestran relativamente constantes en el sistema variando entre los 59 a los 62 mg/L durante la post- temporada de lluvias, y en la temporada seca van desde los 44 a 57 mg/L con su máximo en el sitio 3. Las concentraciones de la temporada posterior a las lluvias siempre son mayores que en la temporada seca. Los valores son bajos para un sistema altiplánico, esto corrobora que el aporte es principalmente de calcita, aun así por los valores mayores durante la temporada posterior a las lluvias, debe ser porque el afluente también ingresa minerales sulfatados, por el lavado de yeso. Según esta variable se cataloga como clase de excepción por tener concentraciones menores a los 120 mg/L.

Nitrógeno total. Durante la temporada post-lluvias se muestra un aumento continuo por el sistema vertiente-bofedal-salar llegando hasta los 1926 $\mu\text{g/L}$ en el último punto más cercano al salar. Para la temporada seca tiende a aumentar con un crecimiento importante en el sitio 3 al 4 con 4,984 mg/L como máximo, y luego vuelve a disminuir hasta los 394 $\mu\text{g/L}$ en el último sitio. Este aumento sustancial en la zona bofedal y a inicio de la zona de salar, se puede deber a la disminución de macrófitas que pudiesen incorporar nitrógeno y la disminución del flujo del afluente pudo haber magnificado las concentraciones en la temporada seca. La disminución en la zona del salar en ambas temporadas, pudo deberse a la actividad de la microfauna bacteriana, por las bacterias

nitrificantes. Según las concentraciones de nitrógeno las aguas se encuentran en la categoría de eutróficas.

Fósforo total. Para la temporada post- lluvias sus concentraciones tienden a disminuir a lo largo del sistema vertiente-bofedal-salar desde 268 a 238 $\mu\text{g/L}$. Y durante la temporada previa a las lluvias su concentración va bajando desde el inicio con 294 $\mu\text{g/L}$ a los 125 $\mu\text{g/L}$ en el sitio 4 de muestreo. Sólo en la zona de la vertiente el fósforo total es mayor en la temporada seca. Las concentraciones de fósforo total corresponden a un sistema eutrofizado, comenzado incluso a ser hipertrófico según Scholten y col. (2005) ya que los valores superan los 100 $\mu\text{g/L}$.

Fosfato. El rango de concentraciones durante la post- temporada de lluvias es de 120 $\mu\text{g/L}$ en la zona de la vertiente hasta los 111 $\mu\text{g/L}$ en la zona cercana al salar. Para la temporada previa a las lluvias las concentraciones van desde los 131 $\mu\text{g/L}$ hasta los 114 $\mu\text{g/L}$ a lo largo del sistema en estudio. Las concentraciones de fosfato disminuyen a lo largo del sistema vertiente-bofeda-salar durante ambas temporadas, esto puede deberse al consumo del fosfato en la columna de agua por parte de las macrófitas y microalgas.

Nitratos. El rango para la temporada post-lluvias va desde los 137 a los 61 $\mu\text{g/L}$; mientras que la temporada seca va desde los 127 $\mu\text{g/L}$ como máximo hasta los 37 $\mu\text{g/L}$ en la zona de bofedal para volver a aumentar hasta los 88 $\mu\text{g/L}$. En ambas temporadas las concentraciones tienden a disminuir desde la vertiente hacia el salar, esto se puede deber al proceso de dinitrificación que sucede en los sedimentos en condiciones anóxicas, por parte de microorganismos y bacterias denitrificantes, además de la absorción de las macrófitas y microalgas. Este proceso se acentúa en la zona de bofedal, que puede ser un indicio de la distribución de las microalgas.

Amonio. Sus concentraciones son mucho más altas durante la temporada posterior a las lluvias con un rango entre los 78 $\mu\text{g/L}$ en la vertiente como máximo a los 32 $\mu\text{g/L}$ en el sitio 3 como mínimo; mientras que la temporada previa a las lluvias el mínimo va desde el inicio de la vertiente con unos 8,5 $\mu\text{g/L}$ aumentando paulatinamente hasta los 28,7 $\mu\text{g/L}$ en los puntos cercanos al salar. Los valores más bajos durante la temporada seca se pueden atribuir a los altos valores de nitrógeno total, lo que significa que existe

una mayor productividad durante esta temporada, es por ello que se puede atribuir a los microorganismos nitrificantes la transformación de amonio a nitrato y por ello su disminución en el sistema. Al tener valores bajo los 0,5 mg/L se cataloga como clase de excepción, según la guía de CONAMA (2004).

3.2 Estimación del Potencial redox en el sistema vertiente- bofedal- salar.

Esta determinación indirecta del potencial óxido reducción se realizó para descartar posibles interferencias de los sedimentos en la abundancia o desarrollo de las especies fitoplanctónicas y zooplanctónicas del sistema en estudio.

Tabla 4. Resultados de conductividad, pH, concentración de oxígeno y su presión en los puntos de muestreo durante la temporada de post-lluvia.

Sitio	Hora	Conductividad (mS/cm)	Temperatura (°C)	[O ₂] (mg/L)	Presión Parcial O ₂ (atm)	pH
P1	12:24	4,01	15,6	8,55	0,178	8,15
P2	12:56	4,08	17,6	12,45	0,267	8,5
P3	13:10	4,06	20,4	13,4	0,304	8,9
P4	13:37	4,13	20,7	10,27	0,233	9
P5	13:54	4,17	20,1	9,57	0,216	8,8

Con los valores de la presión de oxígeno en el agua (ver tabla 4) y las concentraciones de peróxido de hidrógeno (H₂O₂) según Cooper y Zika (1983) se estimaron los valores del potencial redox (Tabla 5), usando las ecuaciones 25 y 30 (ver anexo 6.1.3)

Tabla 5. Datos de peróxido de hidrógeno en concentraciones máximas, medias y mínimas, tomados de literatura (Anexo 6.1.3 y Tabla 15), y resultados de pE y EH, según las condiciones de la Tabla 7.

Sitio	H ₂ O ₂ [Mol/L]			H ₂ O ₂ [Mol/L]			H ₂ O ₂ [Mol/L]		
	Máximo	pE	Eh[V]	Medio	pE	Eh[V]	Mínimo	pE	Eh[V]
P1	1,00E-05	5,3	0,31	7,00E-06	5,38	0,32	8,80E-08	6,32	0,37
P2	1,00E-05	5,21	0,308	7,00E-06	5,29	0,31	8,80E-08	6,24	0,37
P3	1,00E-05	5,04	0,297	7,00E-06	5,09	0,3	8,80E-08	6,07	0,36
P4	1,00E-05	4,93	0,291	7,00E-06	5,01	0,295	8,80E-08	5,96	0,35
P5	1,00E-05	5,02	0,296	7,00E-06	5,1	0,3	8,80E-08	6,05	0,36

Los valores de pE y Eh (tabla 5) tienden a disminuir a medida que se alejan de la vertiente y se van acercando al salar. Los valores de pE se dieron entre un rango mínimo de 4,934 y 6,32 y para Eh entre 0,291 V y 0,37 V, valores que están dentro de los niveles oxidativos del potencial redox para la mayoría de los metales pesados como el cadmio (II), cromo (III), cobre (I), hierro (III), manganeso (II), plomo (II) y cinc (II).

Sin embargo hay otros elementos que se pueden encontrar en estados móviles como el mercurio (II;0), molibdeno(VI) (Montero y col. 2009) y arsénico(V) (Galindo y col.,2005), este último se conoce por literatura que hay 0,65 mg/L en algunas vertientes del salar de Ascotán (Risacher y col.,1999).

Si consideramos la ecuación 17 (ver metodología), se puede observar, que los valores mínimos de peróxido de hidrógeno tienen un mayor potencial dado que se correlacionan inversamente con el potencial óxido-reducción; de forma opuesta, la concentración de iones de hidrógeno disminuye a medida que se avanza por el sistema vertiente-bofedal-salar, teniendo como consecuencia que el valor de pE disminuya.

El oxígeno tiende a aumentar hasta el punto 3 y luego disminuye su concentración, por lo que en el tramo vertiente-bofedal tiene un efecto opuesto al pH.

Sin embargo, durante el conteo y determinación de especies zooplanctónicas y fitoplanctónicas no fueron encontrados individuos con las deformaciones particulares de contaminación por metales pesados o arsénico.

El fondo rico en sedimentos y materia orgánica podría significar un cambio en la dinámica de los nutrientes disponibles, en una columna de agua de poca profundidad, pasando de nitratos a nitritos al bajar de un potencial redox de 0,4 – 0,45 V (Athas y Bartha, 1993).

Los valores de pE estimados y de pH medidos se condicen con los esperados para aguas con aportes salinos (figura 14).

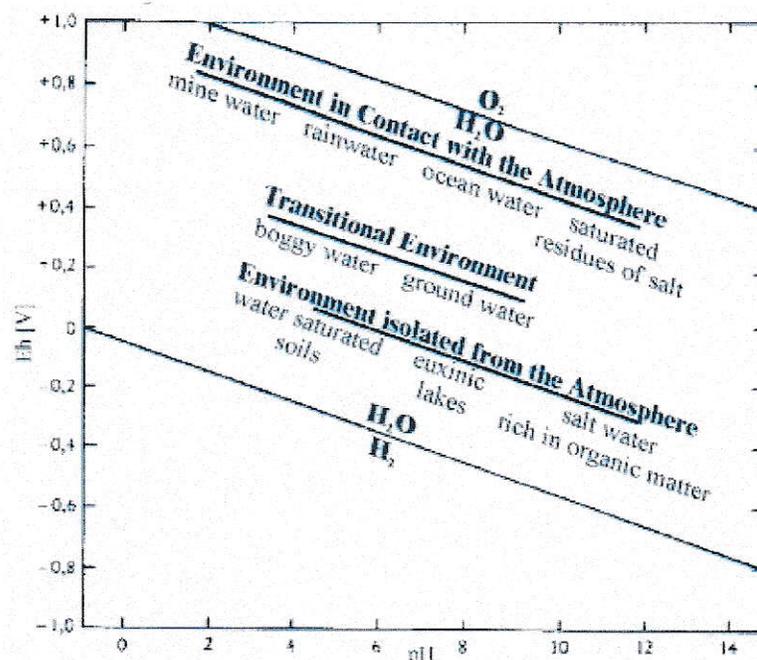


Figura 13. Clasificación del agua en función de pE-pH. Merkel y Planer Friederich (2008), con base en modificaciones de Wedepohl, 1978.

3.3 Determinación cuantitativa de la vía evolutiva de la concentración de sales.

Utilizando los componentes de la Ecuación 13, se transforman sus valores a mili equivalentes para hacer los cálculos de la tabla 3. La transformación a mili equivalente muestra que los valores de calcio siempre son mayoritarios.

Tabla 6. Componentes en meq/L y Alcalinidad total en mg/L, para determinar la vía evolutiva de la concentración de sales en el sistema vertiente-bofedal-salar en ambas temporadas.

Sitios	Zonas	<i>Mediciones temporada posterior a las lluvias</i>				<i>Mediciones temporada previa a las lluvias</i>			
		Alc.total	Ca ²⁺	Mg ²⁺	SO ₄ ²⁻	Alc. total	Ca ²⁺	Mg ²⁺	SO ₄ ²⁻
1	Vertiente	1,1	6,37	3,75	2,02	0,8	4,78	3,5	1,87
2	Vertiente	0,7	6,14	3,71	1,98	0,7	5,14	3,59	1,43
3	Bofedal	0,7	6,53	3,6	1,99	0,7	5,6	3,93	1,7
4	Salar	0,6	6,03	3,63	1,97	1,8	6,5	3,76	1,44
5	Salar	0,8	4,84	3,5	1,93	0,6	5,91	3,75	1,74

Con los resultados de la Tabla 6 y comparándolos con la Tabla 14 del anexo 6.1.2., se observa (en la tabla 7) que la vía evolutiva que sigue la concentración de sales en los puntos muestreados es del tipo Cálcica, aun cuando en la temporada de post lluvias los últimos datos fluctúan debido a una baja de temperatura ocasionando una disminución en la solubilidad de las sales.

Tabla 7. Determinación cuantitativa de la vía evolutiva de la concentración de sales para la temporada post lluvias (Mayo 2014) y pre lluvias altiplánicas (Noviembre 2014), (ejemplo de cálculo anexo 6.2.1 tabla 29).

Sitios de muestreo	Post- lluvias altiplánicas		Antes de las lluvias	
	Inecuaciones		Inecuaciones	
	$[alc] > [Ca]$	$[alc] > [Ca] + [Mg]$	$[alc] > [Ca]$	$[alc] > [Ca] + [Mg]$
1 (vertiente)	No	No	No	No
3 (bofedal)	No	No	No	No
5 (salar)	No	No	No	No
	$[alc] > [Ca]$	$[alc] < [Ca] + [Mg]$	$[alc] > [Ca]$	$[alc] < [Ca] + [Mg]$
1 (vertiente)	No	Si	No	Si
	$[alc] < [Ca]$	$[alc] + [SO_4] > [Ca]$	$[alc] < [Ca]$	$[alc] + [SO_4] > [Ca]$
1 (vertiente)	Si	No	Si	No
3 (bofedal)	Si	No	Si	No
5 (salar)	Si	No	Si	No
	$[alc] < [Ca]$	$[alc] + [SO_4] < [Ca]$	$[alc] < [Ca]$	$[alc] + [SO_4] < [Ca]$
1 (vertiente)	Si	Si	Si	Si
3 (bofedal)	Si	Si	Si	Si
5 (salar)	Si	Si	Si	Si

Las flechas rojas en la figura 15, indican que la evolución de la concentración de sales en el tramo inicial de la vertiente sigue la vía cálcica para los dos periodos.

Sin embargo el rango de salinidad en el que se encuentran los puntos muestrales están aun a una baja concentración, entre 1,4 y 2,2 g/L, esto quiere decir que avanzando hacia el salar hay dos posibilidades de evolucionar, la vía cálcica y la vía sulfatada.

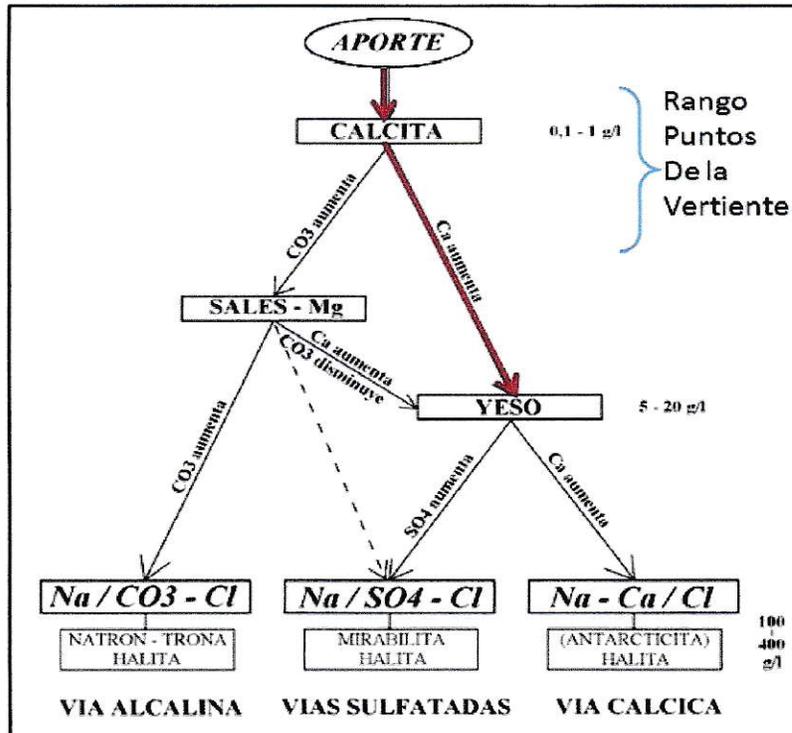


Figura 14. Diagrama de las vías evolutivas, las flechas indican la vía cálcica.

3.4 Estudio de variaciones estacionales y locales de la comunidad planctónica de la vertiente 6 del salar de Ascotán.

Los índices comunitarios de la diversidad de fitoplancton y zooplancton se determinaron para cada sitio en el sistema vertiente – bofedal – salar, analizando la riqueza (S), la abundancia (N), el índice de Shannon y Wiener (H') y el índice de equitatividad (J), los valores se pueden encontrar en el anexo 6.3.1 en las tablas 30 y 31.

Los individuos de la comunidad fitoplanctónica se lograron reconocer hasta la clasificación de géneros y para la comunidad zooplanctónica hasta especies en muchos casos, se puede apreciar el porcentaje representativo para cada taxa por temporada (pre-lluvias y post lluvias) en las tablas 36, 37, 38 y 39. Del anexo 6.3.3

3.4.1 Fitoplancton

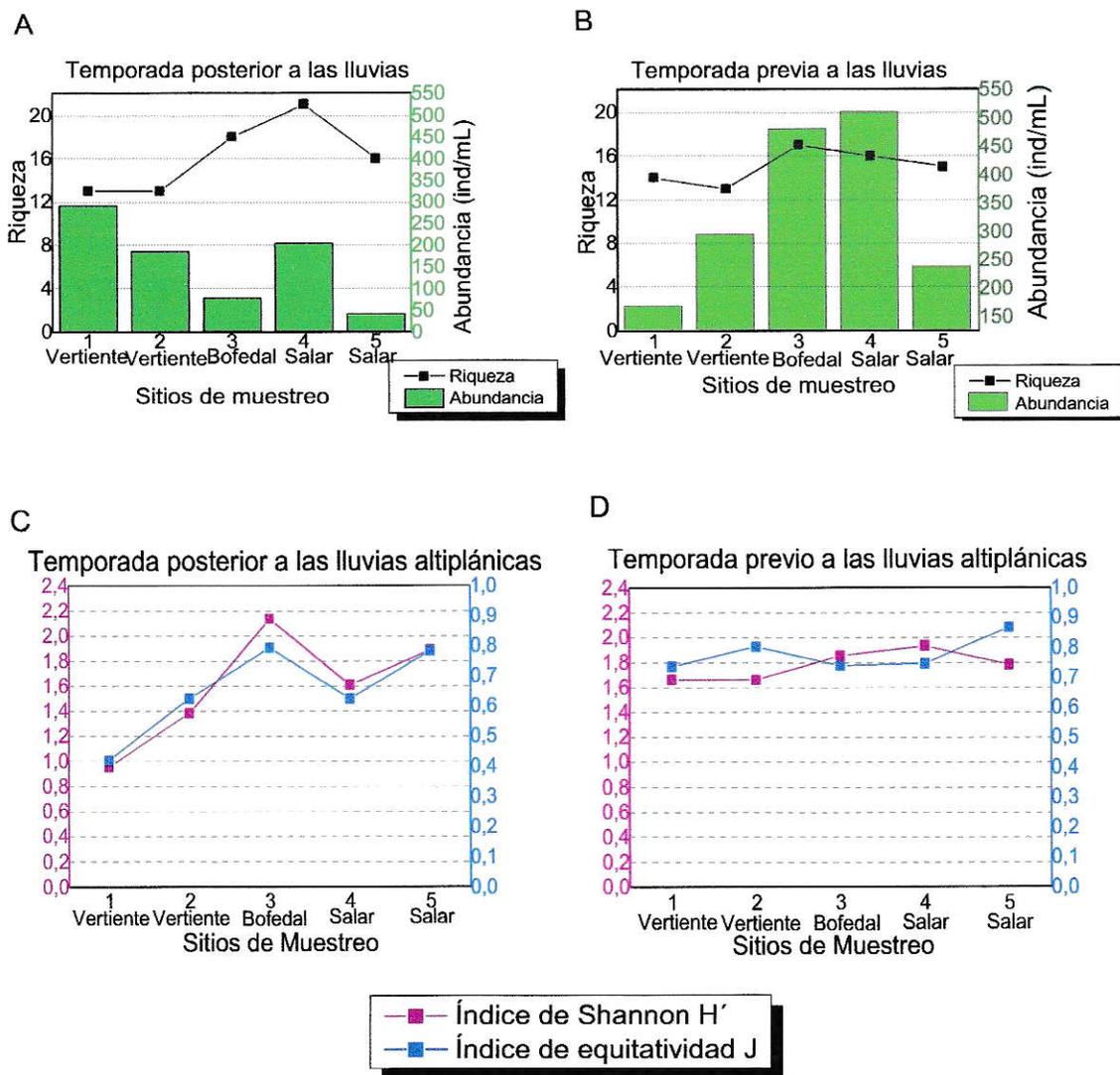


Figura 15. Abundancia, Riqueza e Índices de diversidad de Shannon y de equitatividad para la comunidad fitoplanctónica para la temporada posterior y previa a las lluvias altioplánicas en el sistema vertiente-bodefal-salar.

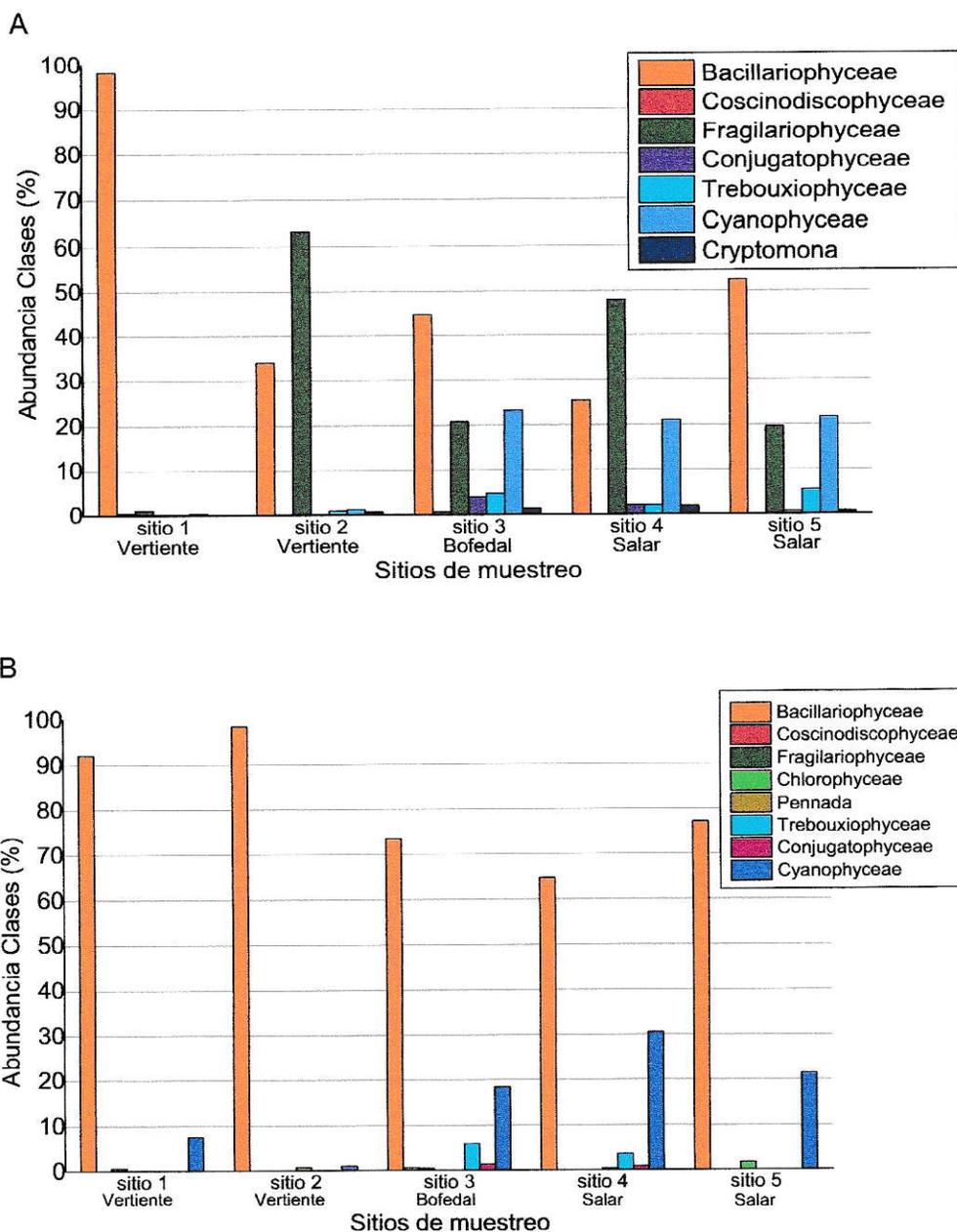


Figura 16. Abundancia relativa según clases de fitoplancton por sitio de muestreo, temporada de post lluvias (Mayo, 2014) [A] y pre-lluvias (Noviembre, 2014) [B]. Tabla 32 y 33 anexo 6.3.2.

Temporada post-lluvias.

- ❖ **La abundancia** (figura 16[A]) después de las lluvias fue disminuyendo desde la vertiente al bofedal, en el sitio 4 aumenta nuevamente, sus rangos estuvieron entre los 290 ind./mL y 40 ind./mL en el sitio 5.
- ❖ Con respecto a la **riqueza** (figura 16 [A]), el mínimo se encuentra en el inicio de la vertiente con 13 y su máximo alcanza los 21 géneros en el sitio 4, cercano al salar, siendo la más alta en ambas temporadas.
- ❖ Sin embargo el **índice de diversidad de Shannon** (figura 16 [C]) tiene su máximo en la zona de bofedal, esto se debe al mayor número de géneros cuando la abundancia disminuyó a más de la mitad de su máximo, el sitio 5 siguió la misma tendencia.
- ❖ El **índice de equitatividad** por lo tanto sólo fue mayor cuando las abundancias disminuyeron y la riqueza aumentó.
- ❖ **Porcentaje de Taxas.** Como se puede ver en la figura 17 [A], el sitio 1 de muestreo se observa una dominancia casi del 100% de la clase Bacillariophycea. La segunda clase dominante son las *Fragilariophyceae*, están en todos los puntos de muestreo con una dominancia entre el 60 y el 20% de dominancia entre los sitios 2 al 5. Las *Cyanophyceae* son la tercera clase dominante, con porcentajes del 20% de dominancia desde la zona de bofedal, donde también se observa un aumento de diversidad con la presencia de las 7 clases de comunidades: *Bacillariophyceas*, *Coscinodiscophyceae*, *Fragilariophyceas*, *Conjugatophyceas*, *Trebouxiophyceas*, *Cyanophyceas* y *Cryptophyceas*.

Temporada pre-lluvias.

- ❖ Para la temporada seca, la **abundancia** es mayor, pudiendo atribuirse al incremento de la radiación solar durante esta época, la abundancia se inicia con 166 ind./mL en la vertiente y alcanza hasta los 511 ind./mL en el sitio 4, para disminuir en el sitio 5 a 236 ind./mL.

- ❖ La **riqueza** en esta temporada se mantuvo entre los 13 y 17 géneros, con su máximo en la zona de bofedal.
- ❖ El **índice de Shannon y Wiener** aumenta a medida que avanza desde la zona de vertiente hacia el bofedal y luego disminuye ya que tanto la abundancia como la riqueza bajaron.
- ❖ El **índice de equitatividad** en las zonas más abundantes (zona bofedal salar) disminuyó, por lo que la comunidad fitoplanctónica durante esta temporada aunque haya sido la más abundante no es muy diversa.
- ❖ **Porcentaje de Taxas.** Como se muestra en la figura 17 [B], las *Bacillariophyceas* y *Cyanophyceas* fueron más dominantes que en la temporada anterior, ya que las diatomeas no bajaron del 60% de dominancia y las algas verde-azules alcanzaron hasta 30% de dominancia en el sitio 3; mientras, las *Chlorophyceas* no alcanzaron a estar sobre el 10% del total de la abundancia de las microalgas.

Un análisis de fitoplancton en lagos europeos (Schres, 1992) explica que las cianobacterias dominan los lagos con concentraciones relativamente bajas de fosfato reactivo soluble (100-800 $\mu\text{g/L}$); mientras que las algas verdes dominan con altos valores de concentración de fosfatos (>800 $\mu\text{g/L}$).

Estas observaciones concuerdan con la dominancia de las *Cyanophyceas* por sobre las algas verdes en todos los puntos de muestreo, ya que los valores máximos de fosfato soluble no superan los 200 $\mu\text{g/L}$. Además son más resistentes a menores concentraciones de oxígeno disuelto que el resto de las microalgas, como las zonas de bofedal y salar que tienen una menor altura de la columna de agua.

Sin embargo el grupo taxonómico de las microalgas que dominan casi en la totalidad de los sitios de muestreo en ambas temporadas son las diatomeas. Esto podría deberse a que la zona altiplánica es muy ventosa, logrando incluso el movimiento inverso de la escorrentía en extensas partes del sistema vertiente-bofedal-salar y dada su resistente estructura formada por sílice, las *Bacillariophyceas* y fragilarias, son dominantes en todos los sitios muestreados del sistema en estudio de salar de Ascotán.

3.4.2 Zooplancton.

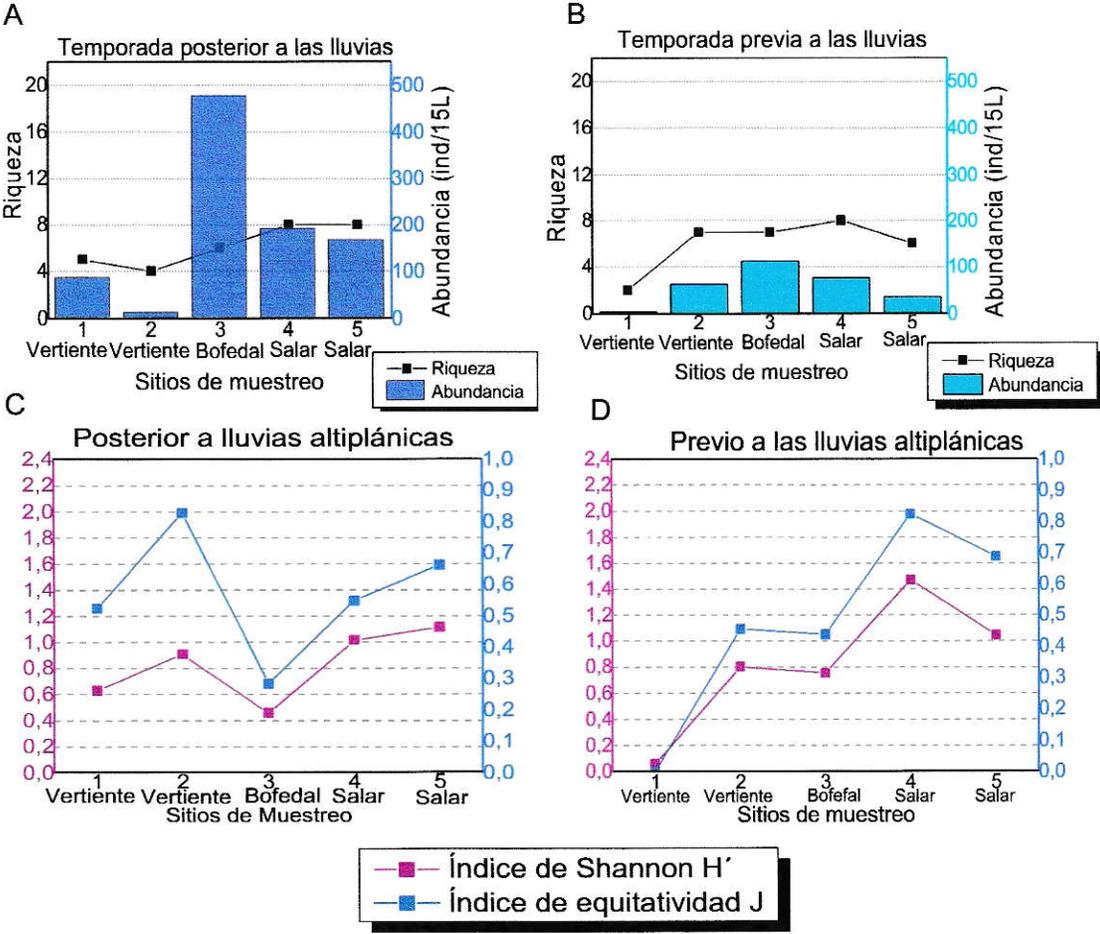


Figura 17. Abundancia, Riqueza e Índices de diversidad de Shannon y de equitatividad para la comunidad zooplanctónica para la temporada posterior y previa a las lluvias altiplánicas en el sistema vertiente-bodefal-salar.

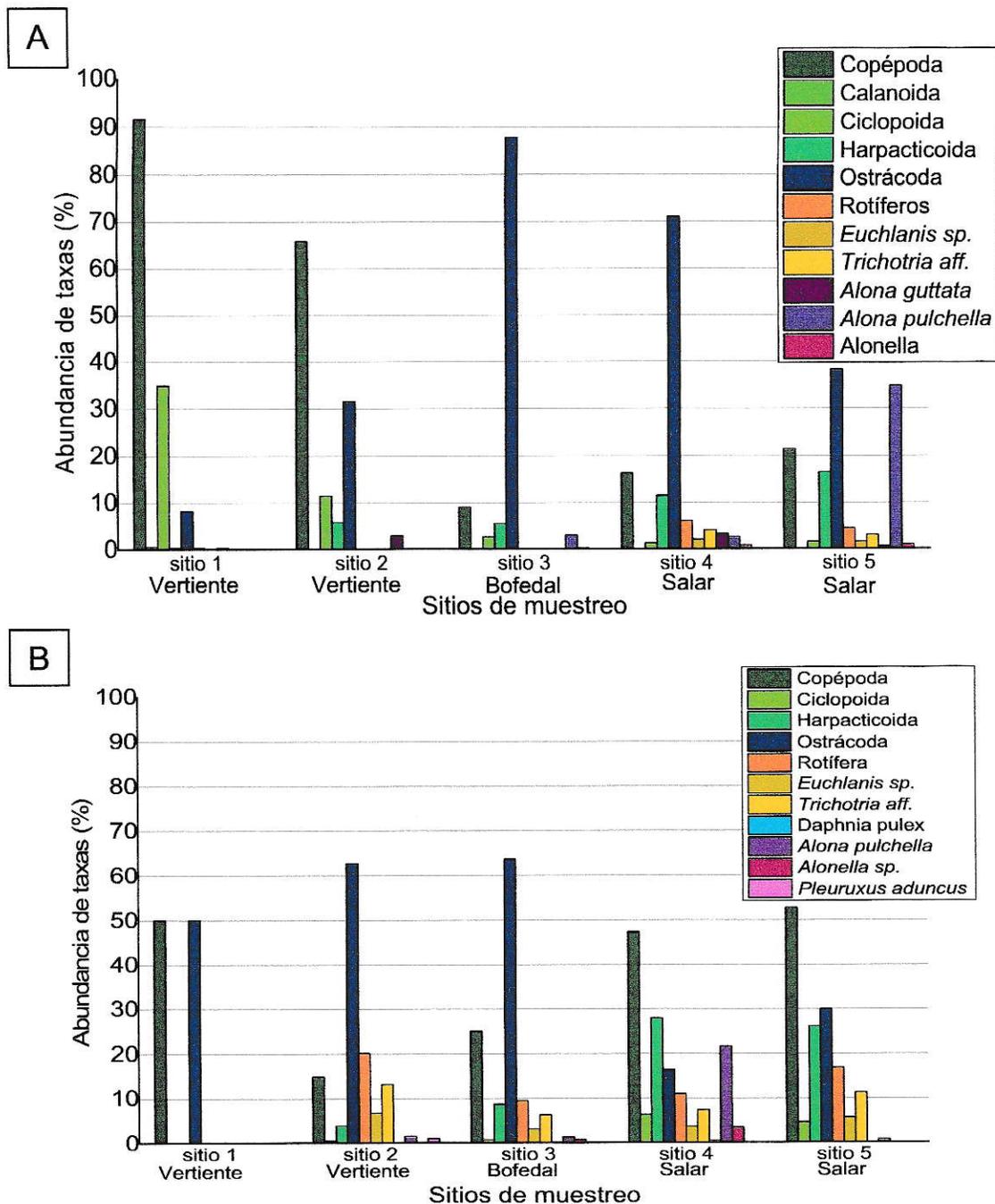


Figura 18. Abundancia relativa según clases de zooplancton por sitio de muestreo, temporada de post lluvias (Mayo, 2014) [A] y pre-lluvias (Noviembre, 2014) [B]. Tabla 34 y 35 anexo 6.3.2.

En la Figura 18 se observa que los organismos zooplanctónicos muestran valores muy bajos de abundancia en la zona de la vertiente (puntos 1 y 2) durante ambas temporadas. La mayor abundancia se obtiene luego de las lluvias, pero la riqueza en términos de géneros es baja en comparación al fitoplancton.

Temporada post lluvias.

- ❖ **La abundancia** mínima se da en el sitio 2 con 9 ind./15L. En los sitios siguientes, se observa un aumento importante de la abundancia donde el máximo valor se presenta en el sitio 3 (zona de bofedal) alcanzando los 480 org./15L (casi 90% Ostrácodos) y luego baja paulatinamente a medida que se adentra en la zona de salar.
- ❖ Mientras la **riqueza** inicia con 4 especies en la zona de la vertiente y aumenta hasta 8 géneros en la zona de salar.
- ❖ Consistente con lo anterior, en la figura 18[C] se muestra que los valores de los **índices de diversidad y de equitatividad** más altos se dieron en el sitio 2, donde se presentaron bajas abundancias y bajos número de especies, esto se debe a que un conjunto de pocas especies presentaron una abundancia relativamente más equitativa, mientras que el sitio con mayor abundancia presentó los más bajos índices de diversidad.
- ❖ **Porcentaje de taxas.** Como señala la figura 19 [A], el porcentaje más alto en ambas temporadas de muestreo representado por los grupos zooplanctónicos de Copépoda y por Ostrácoda. En la zona de la vertiente, se observa que el grupo dominante es Copépoda (copepoditos), y a partir del bofedal hay un aumento importante en la abundancia del grupo Ostrácoda llegando a representar casi el 90% de dominancia, también aumentan los harpacticoidas a lo largo de sistema de estudio pero no alcanza a superar el 20%.

Cabe señalar que el grupo Copépoda tiene una abundancia similar a lo largo del sistema vertiente-bofedal-salar, pero se ve superada por la abundancia de Ostrácoda de hasta quince veces en el sitio 3, siete veces mayor en el sitio 4 y casi dos veces mayor en el último punto.

También se destaca la presencia de *Alona pulchella* que sobrepasa el 30% de la abundancia total en el sitio 5 de muestreo, cuando el grupo Copépoda y Ostrácoda disminuyeron notoriamente.

Con respecto al grupo Rotífera, están presentes en últimos sitios de muestreo del sistema vertiente-bofedal-salar, particularmente en los sitios 4 y 5.

Temporada pre-lluvias.

- ❖ La **abundancia** en general es mucho menor que durante la temporada post-lluvias, esto puede estar relacionado con la salinidad y la conductividad ya que los organismos zooplanctónicos son menos tolerantes a las altas concentraciones de sales. Los valores más bajos están en el sitio 1 con 4 ind./15L, y el valor de máxima abundancia ocurre en la zona de bofedal con 112 ind./15L.
- ❖ **Índices de diversidad y de equitatividad.** Se puede apreciar en la figura 18[B] que durante esta temporada hay menor abundancia de organismos zooplanctónicos que en la temporada anterior, sin embargo la riqueza también alcanza hasta 8 especies con un mínimo de 2 especies para el sitio 1 evidenciando que no hay diversidad (figura 18[D]). A medida que se avanza por la vertiente y la zona de bofedal va aumentando la diversidad para luego bajar en los últimos puntos cercanos al salar. Considerando lo anterior, en la figura 19 se muestra que los valores de los índices de diversidad y de equitatividad más altos se dieron en el sitio 4, donde la abundancia con respecto al número de taxas fue más equitativa.
- ❖ **Porcentaje de taxas.** Aparecen nuevos grupos taxonómicos con respecto a la temporada de post lluvias. El grupo de Ostrácoda sólo alcanzó el 60% de la dominancia en los sitios con máxima abundancia. La diversidad de especies se comienza a observar desde el sitio 2 con valores máximos en el sitio 4, alcanzando de 8 especies y/o géneros (Figura 19[B]).

En ambas temporadas dentro del grupo Copépoda, los Cyclopoida son dominantes en la zona de la vertiente y luego los Harpacticoida son dominantes

desde el sitio 4. Además, esta familia se presentó por sobre el 20% en el sitio 4 de muestreo, cuando la mayoría de los grupos taxonómicos están presentes.

Los rotíferos están presentes en casi todo el sistema vertiente-bofedal-salar llegando a una dominancia cercana al 20% en el sitio 2 y 5 del sistema, excepto en el sitio 1 de muestreo, donde tampoco se encuentran Cladóceros.

La baja abundancia de la temporada seca en comparación con la temporada posterior a las lluvias, se puede relacionar con el aumento de conductividad y salinidad que sufre el sistema.

En un estudio realizado en la puna argentina (Locascio y col., 2005) se evaluaron las características limnológicas (como la salinidad y la conductividad) con especies zooplanctónicas, entre ellas se encontraba *Diacyclops andinus*, Ciclopoide mayoritario de la abundancia zooplanctónica, el cual se presentó en cuerpos de agua bajo los 6,52 g/L y nunca sobre los 17 g/L.

De la misma forma los Cladóceros como Alonas y Alonellas sólo se encontraron bajo los 0,47 g/L.

En cambio los Ostrácodos se encontraron en ambientes oligohalinos y salinos (sobre los 17 g/L).

Considerando ambas temporadas, posterior y previo a las lluvias altiplánicas, entre las representantes más abundantes de las diatomeas estuvieron los géneros *Achnanthis* y *Denticula*; en tanto *Ulnaria* y *Diatoma* representan mayoritariamente a las fragilarias ; mientras que para las representantes de las cianobacterias *Chroococcus* fue ampliamente mayoritario. Las taxas representantes del zooplancton fueron Ostrácodos y Copépodos.

3.5 Análisis Estadísticos de los resultados de análisis químicos

3.5.1 Análisis Discriminante Lineal de las zonas del humedal.

Cuando se procesan los datos de la tabla 43 anexo 6.4, se observa en la Figura 20, una gran diferenciación dada principalmente por el eje discriminante LD1, donde la **conductividad**, la **salinidad** (dado por el cloruro de sodio) y el **pH** son las principales

entre las 14 dimensiones analizadas. Estas variables serían las que determinan más fuertemente las zonas de vertiente, bofedal y salar.

Este resultado muestra una separación de dos zonas diferentes (círculo verde y círculo rojo de la figura 20), que corresponden a la zona de la vertiente (sitios 1 y 2) y la zona bofedal-salar (sitios 3, 4 y 5).

El valor de la proporción del indicador es de 0,983 en LD1. Este valor indica que LD1 puede separar muy bien las zonas entre vertiente, bofedal y salar. LD2 resultó con una proporción de 0,017. La combinación de ambos ejes discriminantes, aunque con una menor proporción del eje discriminante LD2, separa las tres zonas pre-establecidas como vertiente – bofedal – salar.

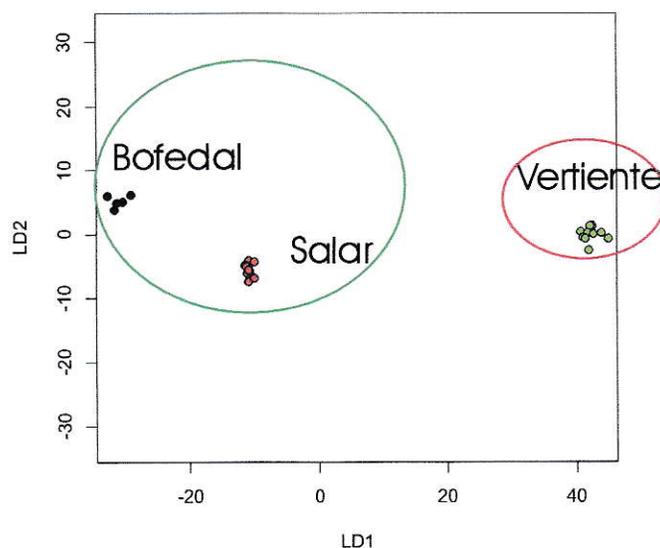


Figura 19. Diferenciación de zonas entre **Vertiente**, **Bofedal** y **Salar** por Análisis Discriminante Lineal.

3.5.2 Determinación de diferencias significativas de variables fisicoquímicas del agua en el sistema vertiente-bofedal-salar durante pre y post lluvias.

Los ANOVAS de dos vías se realizaron para todas las variables fisicoquímicas medidas en el sistema vertiente-bofedal-salar para cada temporada. Sólo resultaron significativamente diferentes las variables de conductividad, oxígeno disuelto, calcio, magnesio, nitrato y sulfato para cada temporada, pre y post lluvias altiplánicas (Tabla

8). Las otras variables no cumplieron con los test de normalidad y/o homocedasticidad y tampoco resultaron significativas sus diferencias por las vías dadas para el ANOVA desbalanceado.

Los iones de calcio, megnesio y sulfato están relacionados con la vía evolutiva de la concentración de sales en cuencas cerradas, entendiéndose la importancia de las concentraciones de estos iones en la dinámica de la química del agua. Cabe destacar que el magnesio no está dentro de los iones de concentraciones mayoritarias.

Tabla 8. Análisis de varianza (ANOVA) de dos vías para las variables físicas y químicas del agua, como variables dependientes en el sistema vertiente-bofedal-salar. Las dos vías fueron temporada: pre-lluvias y post-lluvias y Zona: Vertiente y Bofedal-Salar.

Variable	Categoría de interés	df	F value	P value
Conductividad	temp:zona	1	2,855	0,0411 ,
O.D.	temp:zona	1	11,167	0,003 **
Ca ²⁺	temp:zona	1	13,284	0,001 **
Mg ²⁺	temp:zona	1	88,206	7,702e-10 ***
NO ₃ ⁻	zona	1	78,889	2,357e-09 ***
SO ₄ ²⁻	temp	1	16,214	1,113e-12 ***
SO ₄ ²⁻	zona	1	5,890	0,022 ,

Códigos de significancia: p < 0,000 *** ; p < 0,001 ** ; p < 0,01 * ; p < 0.05.

Los diagramas de bloxplot de las variables se pueden ver en el anexo 6.7.1.

Las variables físicas y químicas del agua que se muestran en la tabla 8, resultan significativamente distintas en la interacción zona-temporada, con excepción de nitrato y sulfato.

Nitrato. Tiene concentraciones significativamente distintas sólo por zona de muestreo, ya que en ambas temporadas en la zona de la bofedal-salar (puntos 3, 4 y 5) los valores fueron mucho menores que en la zona de la vertiente.

Sulfato. Muestra concentraciones significativamente distintas en todas sus categorías por separado, pero no en las interacciones de las vías. Esto ocurre, porque la zona de la vertiente presenta mayores concentraciones que la zona bofedal-salar, y además durante la temporada post lluvias el sulfato tiene concentraciones significativamente mayores.

Oxígeno Disuelto. Su concentración es significativamente distinta en la interacción de temporada y zona, posiblemente porque en la zona de bofedal y cercano al salar la columna de agua sólo es de unos pocos centímetros, lo cual disminuye la solubilidad del oxígeno en el agua al aumentar la temperatura, además durante la temporada seca aumenta la temperatura, disminuyendo significativamente la concentración de O.D.

Conductividad eléctrica. Resultó significativamente diferente entre la interacción de temporada y zona, debido al aumento de conductividad hasta la zona de bofedal, para luego disminuir paulatinamente durante la temporada posterior a las lluvias y la diferencia en promedio con la temporada previa a las lluvias. Reflejando el aumento de la conductividad por la escasez del agua y a través del sistema vertiente-bofedal-salar durante la temporada posterior a las lluvias.

Esta dinámica se vio reflejada en el Análisis Discriminante Lineal con un 98% en el eje LD1 siendo la conductividad la variable dominante, demostrando su injerencia en el sistema del humedal, lo que confirma como una buena forma la diferenciación de las zonas, según la distribución que se da en el eje LD1.

Salinidad. La variable de salinidad no mostró los valores necesarios por la variabilidad de los datos en el test de Shapiro-Wilk, pero existe una clara tendencia con una diferencia significativa en la interacción de las dos vías temporada y zona (ANOVAS y ANOVA por BOXCOX), ver figura 21.

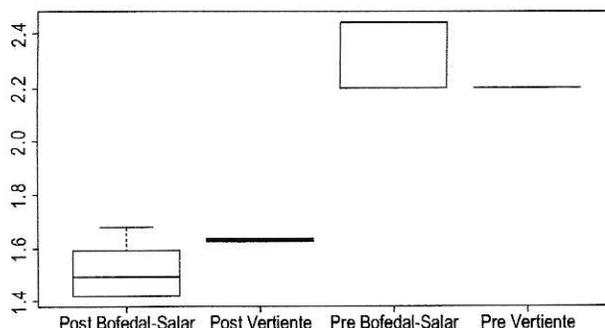


Figura 20. Diagrama de cajas de la variable salinidad para las vías de zona (vertiente y bofedal-salar) y temporada (pre lluvias y post lluvias).

3.5.3 Test de comparación de medias de Tukey. Comparación por zonas y temporadas para las variables físicoquímicas del agua.

Tabla 9. Test de Tukey de las variables físicas y químicas del agua que resultaron significativamente distintas para la interacción de las vías pre y pos lluvias altiplánicas con vertiente y bofedal-salar ($p < 0,05$).

Variable	pre:vert post:vert	post:bof-sal post:vert	pre:bof-sal post:vert	post:bof-sal pre:vert	pre:bof-sal pre:vert	pre:bof-sal post:bof-sal
Conduct.	<0,0001	0,6066	<0,0001	<0,0001	0,1883	0,0001
O.D.	0,9691	0,5365	0,0035	0,2740	0,0119	<0,0001
Ca ²⁺	0,0012	0,3785	0,6412	0,0238	0,0082	0,9582
Mg ²⁺	0,0001	0,0002	0,0914	0,8817	<0,0001	<0,0001

*valores en rojo muestran diferencias significativas que se dan entre las interacciones.

- ❖ Los valores de **conductividad eléctrica** ($p < 0,05$, tabla 9), entre las dos temporadas dentro de una misma zona presentan diferencias significativas, al igual que cuando se comparan diferentes zonas con distintas temporadas. Sin embargo, no existen diferencias significativas para esta variable al comparar las distintas zonas en una misma temporada de lluvias.

- ❖ Concentraciones de oxígeno disuelto al ser comparadas se obtuvo diferencias significativas cuando las concentraciones en la zona bodefal-salar, previa a las lluvias altiplánicas, se compara con las otras categorías. Esto ocurre porque algunos valores en la zona de salar (sitio 4 y 5) resultaron menores que en el resto del sistema vertiente-bofedal-salar de ambas temporadas.
- ❖ Los valores de **calcio** muestran diferencias significativas al comparar cualquier combinación de categorías con la zona de vertiente en la temporada de pre lluvias, ya que existen concentraciones mínimas en la zona de la vertiente para la temporada post-lluvias y en la zona del salar para la temporada pre-lluvias.
- ❖ Las concentraciones de **magnesio** son significativamente distintas en todas las comparaciones entre zona de muestreo y temporada, esto se debe principalmente a que la concentración tiende a disminuir a medida que avanza por el sistema vertiente-bofedal-salar y aumenta desde la vertiente al salar en la temporada seca.

3.5.4 Escalamiento unidimensional para las variables físico-químicas del agua.

Las variables físico químicas que resultaron significativamente distintas por temporada y/o zona con el ANOVA, se escalaron para obtener los valores con un vector único. La figura 22 es la representación de la tabla 44 (anexo 6.5), donde se relacionan las variables con el orden de los sitios de muestreo. Es necesario destacar que todas las variables seleccionadas influyen en el escalamiento, sólo que lo hacen en mayor o menor grado.

El análisis permite establecer la relación de la composición química y la dinámica de aguas de la vertiente 6, que dependerá principalmente de la composición del caudal y los sedimentos de los puntos muestreados. Algunas de las relaciones son:

- ❖ Los **sitios, más cercanos al salar**, posterior a las lluvias se relacionan con el **calcio**, el **magnesio** y la **conductividad**.

- ❖ La zona **bofedal-salar** durante la temporada de pre lluvias altiplánicas está más relacionada con la **salinidad**, porque las concentraciones alcanzan un máximo valor en estos puntos.
- ❖ La concentración de **nitrate** está relacionada principalmente con los sitios de muestreo de la zona de la **vertiente post lluvias y bofedal de pre lluvias**. Esto se debe a que los valores de concentración de nitrato en estos sitios son máximos (vertiente-post lluvias) y mínimos (bofedal-pre lluvias). Además, tiene una menor relación con la zona salar de la temporada de pre-lluvias.
- ❖ La concentración de **OD** se relaciona con el sitio **bofedal** de la post temporada de lluvias debido a que las concentraciones son máximas en tal zona.
- ❖ Las concentraciones de **sulfato** y **calcio** se relacionan con la **zona de salar** ya que los iones son mínimos para la temporada de post lluvias altiplánicas.

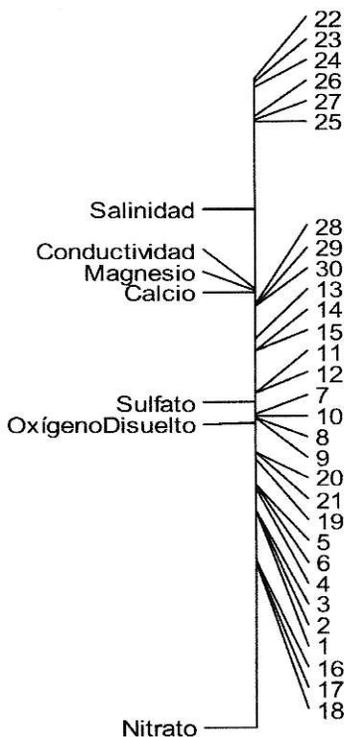


Figura 21. Escalamiento unidimensional variables físicas y químicas del agua en una dimensión ($k=1$, "fcoqca") en un sistema vertiente-bofedal-salar, Salar de Ascotán, II Región, Chile.

3.6 Análisis Estadístico de los resultados de análisis biótico.

3.6.1. Análisis de Varianza, diferencias significativas de comunidad fitoplanctónica y zooplanctónica en el sistema vertiente-bofedal-salar durante pre y post lluvias.

Los géneros que resultaron significativos en el ANOVA coincidieron en su mayoría con tener mayores abundancias relativas de sus respectivos grupos, logrando representar una fracción importante de la abundancia total de los siguientes análisis.

Tabla 10. Análisis de varianza (ANOVA) significativo de dos vías para las variables bióticas como variables dependientes, en el sistema vertiente-bofedal-salar. Las dos vías fueron Temporada: pre lluvias, post lluvias y Zona: vertiente y bofedal-salar.

Variable	Categoría de interés	Df	F value	P value
<i>Chroococcus</i>	Temp	1	9,02	5,83e-03 **
<i>Chroococcus</i>	Zona	1	81,89	1,63e-09 ***
<i>Cocconeis</i>	Temp	1	12,83	1,38e-03 **
<i>Cocconeis</i>	Zona	1	13,58	1,06e-03 **
<i>Denticula</i>	Temp	1	51,20	1,34e-07 ***
<i>Gomphonema</i>	Zona	1	10,17	3,70e-03 **
<i>Nitzschia</i>	Zona	1	9,65	4,55e-03 **
<i>Surirella</i>	Zona	1	9,11	5,62e-03 **
<i>Ulnaria</i>	Temp	1	12,03	1,84e-03 **
Copepodito	temp:zona	1	8,19	8,22e-03 **
Harpacticoida	Zona	1	33,77	4,01e-06 ***
<i>Alona guttata</i>	temp:zona	1	0,15	0,047
<i>Alonella</i>	temp:zona	1	0,90	1,09e-03

Códigos de significancia: $p < 0,000$ *** ; $p < 0,001$ ** ; $p < 0,01$ * ; $p < 0,05$

Los diagramas de caja de la variación de abundancia están en anexo 6.7.2.

Las diferencias significativas están dadas principalmente por los grupos fitoplanctónicos *Chroococcus* (cianobacterias), *Cocconeis*, *Denticula*, *Gomphonema*, *Nitzschia*, *Surirella* (Diatomeas), *Ulnaria* (Fragilaria) y zooplanctónicos Copépoda (suma de estadios tempranos y copépodos y copépodos adultos), Harpacticoida, *Alona guttata* y *Alonella*.

Las demás variables bióticas no cumplieron con los test de normalidad y/o homocedasticidad y además tampoco resultaron significativas sus diferencias por las vías dadas para el ANOVA desbalanceado.

Los géneros que resultaron significativos en el ANOVA coincidieron en su mayoría con tener mayores abundancias relativas de sus respectivos grupos, logrando representar una fracción importante de la abundancia total de los siguientes análisis.

Sólo 3 géneros del plancton resultaron con diferencias significativas en la interacción de temporada y zona. El resto sólo tuvo diferencias significativas por temporada y/o por zona.

3.6.2 Test de comparación de medias de Tukey. Variables de comunidad fitoplanctónica y zooplanctónica.

El test de Tukey realizado a *posteriori*, especifica la combinación entre zona y temporada cuando su interacción resultó significativamente diferente. Las variables fueron: Copépoda, *Alona guttata* y *Alonella*. En la tabla 11 los valores en rojo muestran las diferencias significativas que se dan entre las interacciones.

Tabla 11. Test de Tukey de las variables comunidad fitoplanctónica y zooplanctónica que resultaron con una diferencia significativa entre la interacción de las vías pre y pos lluvias altiplánicas con vertiente y bofedal-salar ($p < 0,05$).

Variable	pre:vert	post:bof-sal	pre:bof-sal	post:bof-sal	pre:bof-sal	pre:bof-sal
	post:bof-sal	post:vert	post:vert	pre:bof-sal	pre:vert	post:bof-sal
Copépoda	7,69E-01	8,06E-01	1,83E-01	9,98E-01	2,00E-02	1,28E-02
Alona guttata	Poca variabilidad estadística					
Alonella	Poca variabilidad estadística					

Para la diferenciación de las zonas y temporada se analizaron los diagramas de caja de la variación de abundancia, figura 22.

Para *Alona guttata* y *Alonella*, no se pudo obtener diferencias en el análisis estadístico, por tener abundancia “0” en más de una alternativa comparada, sin embargo en los diagramas de cajas o boxplots se pueden observar diferencias.

Los resultados obtenidos del análisis indican que:

- ❖ La abundancia del grupo taxonómico Copépoda es muy baja durante la temporada seca en la zona bofedal-salar, lo cual produce una diferencia significativa al comparar con la vertiente y al comparar la zona bofedal-salar de la temporada anterior.
- ❖ Al analizar la abundancia de la variable *Alona guttata* por medio de un ANOVA por permutaciones se obtuvo un valor de $p < 0,05$ para la interacción de temporada y zona. La figura 23[A] indica que las diferencias significativas en el sistema se atribuyen a que estos grupos taxonómicos se encuentran mayoritariamente en la zona de bofedal -salar durante la temporada post lluvias y durante la temporada pre lluvias no se presentaron.
- ❖ Respecto del grupo taxonómico *Alonella*, ocurrió algo parecido que con *Alona guttata*, ya que las abundancias resultaron significativamente distintas en la interacción de temporada: zona. Como se ve en la Figura 23 [B], la abundancia en la zona de bofedal-salar durante la temporada post lluvias es mucho mayor que durante la temporada pre lluvias, y que en la zona de vertiente no se encontraron representantes de *Alonella* durante las dos temporadas de muestreo.

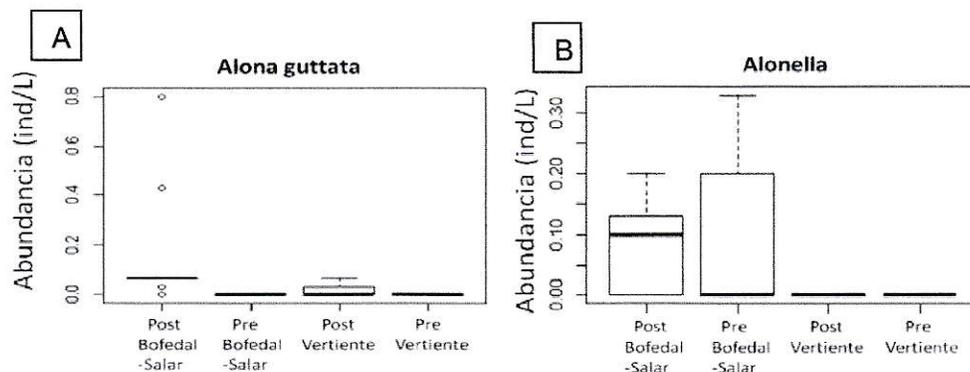


Figura 22. Boxplot de abundancia de *Alona guttata* y *Alonella* por zona y temporada.

3.6.3 Análisis de la covarianza, ANCOVA

A los géneros de fitoplancton y zooplancton que resultaron con diferencias significativas en el ANOVA (*Chroococcus*, *Cocconeis*, *Denticula*, *Gomphonema*, *Nitzschia*, *Surirella*, *Ulnaria*, Copepodito, Harpacticoida, *Alona guttata* y *Alonella*), se les realiza el ANCOVA para determinar el rol de la temporada y la zona en las variables dependientes (biota) sin la influencia de la covariable (fcoqca).

Los grupos taxonómicos que presentaron un efecto significativo respecto de la covariable (variables físico-químicas), o sea, covariable linealmente relacionada con la variable dependiente (variable biótica), fueron: *Chroococcus*, *Denticula*, *Nitzschia*, *Surirella*, Copépodos, Harpacticoida y *Alonella* (tabla 12).

Tabla 12. Análisis de covarianza ANCOVA para los grupos taxonómicos significativos en análisis previos. La covariable utilizada fue la físico química del agua por medio de las vías de temporada y zona. (Diagramas de ANCOVA en anexo 6.8).

Variable	Categoría de interés	df	ANCOVA	
			F value	P value
<i>Chroococcus</i>	fcoqca	1	60,83	3,72e-08 ***
<i>Cocconeis</i>	tempzona	3	9,53	2,24e-04 ***
<i>Denticula</i>	fcoqca	1	58,05	5,65e-08 ***
<i>Denticula</i>	tempzona	3	10,62	1,097e-04 ***
<i>Gomnphonema</i>	tempzona	3	11,21	7,55e-05 ***
<i>Nitzschia</i>	fcoqca	1	5,69	0,025 *
<i>Nitzschia</i>	tempzona	3	5,81	3,73e-03 **
<i>Surirella</i>	fcoqca	1	8,36	7,83e-03 **
Copépoda	fcoqca	1	5,22	0,031 *
Harpacticoida	fcoqca	1	4,74	0,039 *
Harpacticoida	tempzona	3	6,55	2,02e-03 **
<i>Alonella</i>	fcoqca	1	5,90	0,023 *

Código de significancia: $p < 0$ *** ; $p < 0,001$ ** ; $p < 0,01$ * ; $p < 0,05$.

Los resultados de este análisis muestran que:

- ❖ La categoría por temporada*zona no explica la presencia o ausencia de *Chroococcus*, *Surirella* y Copépoda en el sistema vertiente-bofedal-salar, sólo la covariable (físico-química).
- ❖ Para los grupos *Cocconeis* y *Gomphonema* la covariable no resulta significativa, por lo tanto esta no explica su varianza, sin embargo existe influencia significativa en la presencia o ausencia de estos grupos fitoplanctónicos por la combinación de temporada*zona.
- ❖ *Ulnaria* y *Alona guttata* no tuvieron resultados significativos por la Covariable ni por los tratamientos.

Las tasas de la comunidad planctónica que resultaron correlacionadas con la covariable físicoquímica fueron:

- ❖ Cianobacterias (*Chroococcus*),
- ❖ Diatomeas (*Denticula*, *Nitzschia*, *Surirella*),
- ❖ el grupo Copépoda (en su mayoría copepoditos y nauplius),
- ❖ Harpacticoidas y *Alonella*.

Estas tasas además son las dominantes o dentro de las abundancias mayoritarias representando un conjunto amplio de la biodiversidad del sistema en estudio.

Las variables físico-químicas de la covariable son:

- ❖ Conductividad eléctrica
- ❖ Oxígeno disuelto
- ❖ Calcio, magnesio, nitrato, sulfato
- ❖ Salinidad

Considerando lo anterior, se pueden hacer las siguientes aseveraciones:

Chroococcus Su abundancia máxima se sitúa en el sitio 4 de la temporada seca, la cual se relaciona con alta conductividad eléctrica, altas concentraciones de sales y

como característica típica de cianofíceas, soporta bajos niveles de oxígeno, seguramente esto permite que su porcentaje de abundancia haya llegado hasta el 20% en la zona de bofedal-salar en la temporada post-lluvias y hasta 30% en la temporada seca. Su nivel de trofia óptimo es menor al registrado en el sistema estudiado, hasta mesotrófico, lo cual puede ser la razón de su baja abundancia en general. Además está asociado a ambientes salobres o mineralizados, de hecho el rango de concentración salina es muy amplio, se presenta en ambientes de aguas subsalina hasta hipersalinas (Consejería de Medioambiente, Junta de Andalucía,2007).

Denticula, al presentarse con mayores abundancia durante la temporada seca en la zona bofedal –salar, más pronunciada en la zona de bofedal, también está asociada a mayor conductividad eléctrica, mayor concentración salina, calcio y magnesio; pero también menores concentraciones de oxígeno disuelto, nitrato y sulfato.

Según un estudio sobre diatomeas en el altiplano boliviano (Álvares y col., 2011), este género se presenta en sistemas hiposalinos (5,8 g/L), a pH 9,2 y con importantes yacimientos de azufre de origen volcánico (5,1 g/L). Las cantidades de sulfato no están en concordancia con los valores encontrados en el sistema de la vertiente 6, sin embargo con el resto de variables nombradas sí.

Surirella chilensis, también presenta mayores abundancias durante la temporada seca, y su máxima se encuentra en el sitio 4 de la zona bofedal-salar. Como las microalgas anteriores, se correlaciona con mayores valores de CE, salinidad, los cationes (Ca y Mg) y con menores valores de OD, nitrato y sulfatos. Según Álvares y col. (2011), puede encontrarse esta especie hasta valores de 12,1 g/L de salinidad, sin embargo existe una mayor abundancia en los lugares de la laguna de Pastos Grandes de clasificación subsalina (1,4 g/L).

Otra característica que no se pudo relacionar estadísticamente por su valor constante a lo largo del sistema fue la concentración de cloruros, la cual es menor durante la temporada seca, con 1200 mg/L en el sitio 4, de la misma forma, el lugar de estudio de Álvares y col. (2011), en la laguna Pastos Grandes coincide la mayor abundancia de esta microalga con menores concentraciones de cloruros (700 mg/L),

además el resto de los iones en la laguna también se presentan con menores concentraciones.

Nitzschia. Su abundancia es máxima en la zona de la vertiente durante la temporada seca, por lo tanto, está correlacionada con la mayor conductividad eléctrica, alta concentración salina y altos niveles de OD, concentraciones de nitratos mayores de esta temporada, menores concentraciones de sulfatos que el muestreo posterior a las lluvias y también las más bajas concentraciones de calcio y magnesio.

El género *Nitzschia*, tiene una gran variedad de especies las cuales tienen distintos rangos de concentraciones óptimas de sales para su desarrollo. En el caso de la vertiente 6, esta diatomea se presenta en niveles hiposalinos, con bajas concentraciones de calcio y magnesio.

Copépodos. Conformado en su mayoría por copepoditos de cyclopoidas y nauplius, tuvieron su mayor abundancia durante el muestreo post-lluvias, con su máximo en el sitio 1 de la vertiente. Estas se correlacionan con concentraciones subsalinas de preferencia (1,62 g/L) y menor CE del sistema (3,54 mS/cm), valores medios de OD (12 mg/L), valores de nitratos y sulfatos máximos del sistema, y altas concentraciones de calcio (127 mg/L) y magnesio (45 mg/L).

Según Locascio y col. (2005) los *Diacyclops andinus*, copépodo mayoritario de la vertiente en estudio, se presentan en aguas dulces, hasta hiposalinas, pero no a mayores de 12 g/L, a pH alcalinos (entre 8,1 a 8,5), con conductividades que están entre los 0,612 a los 8,5 mS/cm. Aunque pueden presentarse en aguas con casi el doble de la conductividad de la temporada seca (4,12 mS/cm), por su abundancia y repetividad en ambos estudios, prefieren aguas subsalinas y dulces, por lo que podría considerarse como una especie indicadora si la concentración salina aumenta sobre los 10 g/L ya que no deberían encontrarse ejemplares.

Harpacticoidas. La zona de bofedal-salar en la temporada posterior a las lluvias, es donde alcanzan las mayores abundancias promedio. La abundancia de harpacticoidas está relacionada con las variables de nitratos ya que hubo mayor abundancia cuando su concentración estuvo dentro de los valores más bajos (entre 37 y 87 mg/L) y sulfatos, con concentraciones medias y bajas (52 a 61 mg/L). El calcio y el magnesio

tendieron a tener altas y medias concentraciones respectivamente durante las mayores abundancias. Con las demás variables más representativas no se encontraron tendencias para relacionar.

Alonella. Su abundancia fue mayor cuando las concentraciones de calcio tendieron a ser máximas (130 mg/L) y las concentraciones de nitrato y sulfato tenían concentraciones medias, ya que cuando las concentraciones subieron no se presentaron individuos de este género. La presencia de *Alonella* fue mayor durante la temporada posterior a las lluvias, donde la salinidad y conductividad eléctrica fue menor. Según el estudio de Locascio y col. (2005), realizado en la puna Argentina, el género de *Alonas* y *Alonellas* se encuentran en sistemas de aguas dulces, con pH de 8,5 y conductividad de 1,99 a 0,612 mS/cm.

Según el Atlas de organismos planctónicos (Consejería de Medioambiente, Junta de Andalucía, 2007), también tienden a aparecer y con mayores abundancias en sistemas de aguas entre dulces y apenas sobrepasando el rango de subsalinas. Por estas características tanto las *Alonas* como las *Alonellas* encontradas en este estudio también podrían formar parte de las taxas que indicarían cambios en la concentración de sales por su ausencia.

3.6.4 Test de comparación de medias de Tukey. ANCOVA

Tabla 13. Test a *posteriori* TukeyHSD para el análisis de covarianza ANCOVA. Por medio de las vías de temporada (pre y post lluvias altiplánicas) y zona (vertiente y bofedal-salar).

Variable	post:bof-sal post:vert	pre:vert post:vert	pre:bof-sal post:vert	post:bof-sal pre:vert	pre:bof-sal post:bof-sal	pre:bof-sal pre:vert
<i>Cocconeis</i>	0,094	0,027 *	0,387	<0,001 ***	0,990	0,015 *
<i>Denticula</i>	0,109	0,015 *	0,715	<0,001 ***	0,976	0,039 *
<i>Gomphonema</i>	0,690	<0,001 ***	0,465	<0,001 ***	0,659	0,003 **
<i>Nitzschia</i>	0,977	0,011 *	0,757	0,005 **	0,737	0,039 *
<i>Harpacticoida</i>	0,011 *	0,999	0,872	0,012 *	0,376	0,887

Los códigos de significancia: $p < 0$ *** ; $p < 0,001$ ** ; $p < 0,01$ * ; $p < 0,05$.

Los diagramas de los ANCOVA para la Tabla 13 se pueden ver en el anexo 6.8.

Como se puede ver en la Tabla 12 para los grupos taxonómicos *Denticula* y *Nitzschia* y Harpacticoida fue posible distinguir la influencia significativa de la covariable (variables físico-químicas) y también su influencia de la categoría temporada*zona por lo que se pueden determinar de forma separada la influencia de las categorías en su distribución. Para *Cocconeis* y *Gonphonema* su distribución no está explicada por la respuesta de la covariable, por lo que debe ser explicada por factores que no lograron entrar en el análisis.

Cocconeis. Su mayor abundancia se da en la zona de la vertiente durante la temporada seca, también se presenta en la zona de la vertiente y bofedal durante la post-temporada. Aunque no se pudo relacionar con la covariable, sí se observa que coincide con altas concentraciones de nitratos, menos en la zona de bofedal.

Según varios estudios de microalgas, (Consejería de Medioambiente, Junta de Andalucía, 2007), Servant y Roux (1990), Maidana y Seeligmann (2006) y Wen y col. (2005), el género athalásico de *Cocconeis* suele ser de distribución cosmopolita, ya que crece en aguas continentales, tanto dulces como salinas (hipersalinas) de condiciones mesotróficas y eutróficas, aunque hay variedades que prefieren aguas de mejor calidad, este género prefiere pH alcalino. Esto explica que se correlacione con los valores máximos de fósforo total y cloruros del sistema.

Denticula. Recordando que su mayor abundancia se da en temporada previa a las lluvias, y en la zona de bofedal donde estuvo su abundancia máxima, además de la correlación de la covariable, tiene coincidencias con que las concentraciones de cloruros fueron las mínimas de todo el sistema (1100 mg/L), lo mismo ocurre con las concentraciones de potasio (32,7 mg/L) que disminuyeron a la mitad de su concentración inicial.

Las concentraciones de fósforo total (PT) también fueron mínimas en la zona de bofedal, aunque se presentó en todo el sistema durante la temporada seca, la microalga fue mucho más abundante en el sitio 3, donde el PT alcanzó concentraciones mínimas del estudio en la vertiente 6 (126 mg/L).

Gomphonema. Esta microalga en el sistema de estudio tuvo mayor abundancia durante la temporada previa a las lluvias en sitio 2 de muestreo, en esta zona estuvo

las más altas concentraciones de sodio (560 mg/L), bajas concentraciones de calcio y magnesio y las más altas concentraciones de OD para esta temporada (13,57 mg/L), el sulfato se encontró con las mínimas concentraciones de ambas temporadas.

Según varios estudios de diatomeas en la zona del altiplano, Scott y col. (2015), Servant y Roux (1990) y Maidana y Seeligmann (2006), este género se suele encontrar en aguas mesotróficas y es eurihalina, pueden encontrarse tanto en aguas dulces como halinas, el tipo de sistemas en el que suelen encontrarse son sulfatadas y cálcicas. Estas características hacen que no se pueda correlacionar con la covariable, pero sí incluirse dentro de especies que puedan desarrollarse en los niveles de salinidad y eutroficación de la vertiente 6 del salar de Ascotán.

Nitzschia. Además de su relación con la covariable, se puede agregar que los valores más altos de fósforo total coinciden con su máxima abundancia en la zona de la vertiente temporada seca (sobre los 270 mg [P]/m³) por lo que es una especie que puede estar en aguas muy eutrofizadas, o sea de alta productividad.

Harpacticoida. Este grupo de copépodos está en estrecha relación con el sedimento, es así como se encontró un número considerable de estos individuos por la altura de la columna de agua, que a partir de la zona de bofedal hay menos de 10 cm. de profundidad, lo que coincide con su abundancia a partir de bofedal y salar en ambas temporadas.

3.7. Relación entre biodiversidad y características químicas del agua en humedales salinos de altura. Variaciones estacionales.

Existe abundancia de organismos fitoplanctónicos entre los sitios de la zona de bofedal y salar y con ello una disminución en las concentraciones de nitratos, fosfatos y fósforo total, dada la productividad de los organismos autótrofos. La abundancia de los organismos zooplanctónicos en la misma zona, se debe seguramente al seguimiento de los primeros para su alimentación.

La diversidad también es un tema importante, ya que da cuenta de la tendencia que tienen los organismos a situarse en las distintas zonas dependiendo de su

tolerancia o las concentraciones óptimas para su desarrollo. Sin embargo, en este sistema la riqueza tiende a aumentar desde la zona de bofedal y luego disminuir en el último punto, independiente de la abundancia, esto denota el alto grado de adaptación que existe en el gradiente vertiente-bofedal-salar.

Se pudo apreciar que existen especies o géneros que se presentan con amplios rangos de valores para algunas de las variables, y aun así tienen sus niveles específicos para distribuirse. Por ejemplo las microalgas tuvieron mayores abundancias durante la temporada seca, prefiriendo distintas zonas del sistema, esto porque tienen tolerancias distintas a las diferentes sales, cloruros o trofia como se especificó para cada género estudiado.

De la misma forma, los organismos zooplanctónicos fueron más abundantes durante la temporada posterior a las lluvias y también hubo especies que fueron más abundantes durante la zona de la vertiente y otras en bofedal-salar, para este tipo de organismos fue más generalizado que prefirieran menos cantidades de conductividad y concentración salina. Por lo tanto, la conductividad eléctrica, la concentración salina, cloruros y trofia son variables que pueden ser empleadas para que la biota acuática sea indicadora de los cambios en la dinámica del humedal.

3.8. Comentarios finales y recomendaciones.

Los rangos en los que se encuentra la concentración de sales, los nutrientes, la conductividad, las variaciones de temperatura y el oxígeno disuelto entre otras variables, puede que se alejen de los valores a los que suele estar relacionada una buena calidad de aguas.

Es así como al implementar la guía de Establecimiento de las Normas Secundarias de Calidad Ambiental para Aguas Continentales Superficiales y Marinas en el sistema de estudio, enmarca a las variables de CE, STD, cloruros y boro, como clase 4, o sea de mala calidad y los valores de pH, la concentración de sulfatos y amonio la catalogan como clase de excepción, o sea muy buena.

Además se debe considerar que no se aprecia contaminación antrópica, como contaminantes de la agricultura, minería o por cercanía a alguna población o carretera transitada.

Esta disyuntiva con respecto a la calidad ocurre porque el agua de los humedales de altura cercanos a salares es atípica o diferente a lo que se entiende de “buena calidad”, considerando la guía CONAMA para el establecimiento de Normas Secundarias de Calidad Ambiental para aguas continentales superficiales y marinas (2004). En el sentido que contienen alta cantidad de cloruro de sodio, fosfatos, sulfatos, carbonatos de calcio y magnesio por su origen (intemperización de la roca madre) y actividad volcánica cercana.

Estas condiciones son naturales del sistema y los organismos acuáticos están adaptados ellas, por lo que se debe considerar al momento de elaborar una Norma Secundaria de Calidad Ambiental o una línea base, para enmendar correctamente (mitigar) los daños que puedan causarse.

Por ejemplo, al realizarse una extracción del acuífero o directamente desde el humedal, podría ocasionar la disminución en la columna de agua aumentando el contenido salino y la eutroficación, lo que conlleva a la disminución del oxígeno en el agua, de paso elimina la fauna por la disminución del oxígeno y comienza la pudrición de la materia orgánica de forma anóxica, haciendo disminuir el pH y poniendo los posibles metales pesados y el arsénico adsorbidos del sistema de forma disponible.

IV CONCLUSIONES

Se puede considerar que la hipótesis es correcta, ya que se logró relacionar la diversidad fitoplanctónica y zooplanctónica estacional con variables físico-químicas tales como la conductividad y un conjunto de iones y nutrientes que variaban a lo largo del sistema en estudio, determinado por medio análisis de varianzas (ANOVA) y covarianza (ANCOVA)

1. Conjuntamente se observó:
 - A menor concentración de sales hubo mayor abundancia de organismos zooplanctónicos, lo que ocurrió durante a temporada posterior a las lluvias altiplánicas (Mayo 2014).
 - A mayor concentración de sales hubo mayor abundancia de organismos fitoplanctónicos, lo que ocurrió durante la temporada seca (Noviembre 2014).
 - Se presentó una tendencia a aumentar la riqueza desde la zona de bofedal y luego disminuir en la zona de salar (Sitio 5). Esto debido una relación entre la adaptación de los géneros y especies a las diversas concentraciones de sales, la alta trofía y la disminución de cloruros (este último sólo en la temporada seca.).
2. Las microalgas: *Chroococcus*, *Denticula*, *Nitzschia*, *Surirella*, microcrustáceos de las taxas de Copépoda, Harpacticoida y *Alonella* son las que se lograron relacionar con las variables físico-químicas vectorizadas que se muestrearon en temporadas de post y pre lluvias altiplánicas en las zonas de vertiente, bofedal y salar de este sistema acuático particular.
3. Las variables físico-químicas del sistema que responden a los modelos estadísticos utilizados resultaron ser efectivas para determinar su influencia en la biodiversidad acuática en estudio, abarcando un conjunto representativo de taxonomías.

4. Los resultados señalan que las variables forzantes del sistema tales como conductividad eléctrica, salinidad, oxígeno disuelto, calcio, magnesio, sulfato y nitrato, serían suficientes para calificar el estado de calidad del agua para la vida acuática.
5. Se logró relacionar la diversidad fitoplanctónica y zooplanctónica estacional con un gradiente de sales en el sistema vertiente-bofedal-salar, ya que la conductividad eléctrica, como variable centralizadora fue una de las variables que tomó más importancia durante los distintos análisis realizados, iniciando por el análisis discriminante lineal (LDA), el ANOVA para las variables químicas y luego la integración de los resultados en el MANCOVA y especificando sus diferencias con el ANCOVA.
6. Se obtuvo coincidencias entre los resultados de análisis de varianza de las variables de la calidad del agua con el modelo cuantitativo de determinación de las vías evolutivas por concentración de sales en cuencas cerradas de Risacher, Alonso y Salazar (1998), y este aunque fue un método indirecto, sería muy útil de considerar en futuras investigaciones para este tipo de sistemas de humedales de altura ya que gracias a esto se comprendió la dinámica de las concentraciones de sales en el sistema de estudio.
7. Considerando la definición de nicho de Hutchinson (1958), donde se consideran las variables ambientales y los rangos de tolerancia, se podrían tomar más puntos de muestreo en dirección al salar, lo suficiente como para determinar si existe una variación en la vía de evolución en cuencas cerradas y así evidenciar en mayor medida el efecto de la conductividad, la concentración de sales y disminución de nutrientes versus la abundancia de los organismos fitoplanctónicos y zooplanctónicos, para clarificar los grupos taxonómicos que resisten estas variables aun más extremas.

V REFERENCIAS

- Abida B., Harikrishna S., Irfanulla K. 1999. Analysis of Heavy metals in Water, Sediments and Fish samples of Madivala Lakes of Bangalore, Karnatakall. *International Journal of ChemTech Research*. Vol.1: No.2, pp 245-249.
- Álvares I., Cejudo C., de Godos I., Muñoz R., Blanco S. 2011. Las diatomeas de los salares del Altplano boliviano: singularidades florísticas. *Boletín de Real Sociedad Española de Historia Natural Sección Biología*. Vol. 105 (1-4), 67-82.
- APHA. 2012. Standard Methods for examination of water and wastewater, 22nd ed., American Public Health Association, Washington.
- Araya, J.M. & L. Zuñiga. 1985. Manual taxonómico del zooplancton lacustre de Chile. *Boletín Informativo Limnológico, Chile*. Vol. 8: pp.1-110.
- Arendt F., Annokké G., Bosman R., van den Brink W. Contaminated Soil. 1993, pp. 227-231. Netherlands, Kluwer Academic Publishers.
- Badaut, D.; Risacher F. 1983. Authigenic smectite on diatom frustules in Bolivian saline lakes. *Geochim. Cosmochim. Acta* 47, p. 363-375.
- Bakker, Phaff, Ewijk-Rosier & Pauw. 1977. Copepod biomass in an estuarine and a stagnant brackish environment of the S.W. Netherlands. *Hydrobiologia* vol.52,1, pp.3-13.
- Bellinger, E. & Sigeo, D. (2010). Algae as Bioindicators, in *Freshwater Algae: Identification and Use as Bioindicators*. Chichester, UK: John Wiley & Sons, Ltd.
- Bills B., de Silva S., Currey D., Emenger R., Lillquist K., Donnellan A. & Worden B, 1994. Hydro-isostatic deflection and tectonic tilting in the central Andes: Initial results of a GPS survey of Lake Michin shorelines. *Geophysical Research Letters* vol. 21: pp. 1043-1052.
- Björnsdóttir I., 1996. Metals and Metal Speciation in Waste Water from the Nesjavellir Geothermal Power Plant, SW-Iceland and Possible Effects on Lake Thingvallavatn. Chalmers University of Technology, Gothenburg, M.Sc. thesis.
- Bradley, B. P. 1975. The anomalous influence of salinity on temperature tolerances of summer and winter populations of the copepod *Eurytemora affinis*. *Biol. Bull.* vol.148(1): pp. 26-34.

- Brookins G. Douglas, 1988. Eh-pH Diagrams for Geochemistry, with 98 Figures and 61 Tables. Departamento de Geología, Universidad de Nuevo México. Springer-Verlag.
- Bundschuh, J., Pérez A., Litter M., 2008. Distribución del arsénico en las regiones Ibérica e Iberoamericana, por IBEROARSEN. Editorial CYTED.
- Carpenter S., Bolgrien D, Lathrop R., Stow C., Reed T., Wilson M. 1998. Ecological and economic analysis of lake eutrophication by nonpoint pollution. *Austral Ecology A Journal of Ecology in the Southern Hemisphere*. vol. 23: pp.68-79.
- Chen. W., Tan S., Tay J. 1996, Diciembre. Distribution, fractional composition and release of sediment-bound heavy metals in tropical reservoirs. *Water, air, and soil pollution*. vol. 92: pp. 273-287.
- Colin Baird, 2004. Metales tóxicos pesados. En: Química Ambiental. Pp. 391-431. Barcelona. Editorial Reverté S.A.
- CONAMA, 2004. Guía para el Establecimiento de las Normas Secundarias de Calidad Ambiental para Aguas Continentales Superficiales y Marinas. Gobierno de Chile.
- Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía. 2007. Atlas de organismos planctónicos en los Humedales de Andalucía. Red de Información Ambiental de Andalucía.
- Cooper, W. and Zika, R. (1983, Mayo). Photochemical formation of hydrogen peroxide in surface and ground waters exposed to sunlight. *Science*, vol. 220: pp. 711-712.
- Elder J., 1988. Metal Biogeochemistry in Surface-Water Systems – A review of Principles and Concepts. U.S. *Geological Survey*. Circular 1013.
- De los ríos, P. 2003. Efectos de las disponibilidades de recursos energéticos, estructurales y de protección sobre la distribución y abundancia de copépodos y cladóceros zooplanctónicos lacustres chilenos. PhD Thesis, Austral University of Chile, Science Faculty, Valdivia, 107 pp.
- Diaz, C. & N. Maidana. 2005. Diatomeas de los salares Atacama y Punta Negra. II Región Chile. Centro de Ecología Aplicada. Minera Escondida. Servicios de Impresión laser S.A. Santiago. Chile.
- DGA, 2004. Diagnóstico y clasificación de los cursos y cuerpos de agua según objetivos de calidad, Cuenca del río Limarí. Ministerio de Obras Públicas, Gobierno de Chile. Cade-idepe, consultores en ingeniería.

- Förstner U., Ahlf W., Calmano W., Kersten M.(1990) . Sediment criteria development. In: Sediments and environmental Geochemistry. Heling D, Rothe P., - Föster U, and Stoffers P. (Eds), Berlin: Springer-Verlag, pp 311-338.
- Galan E., Romero A., 2008. "Contaminación de suelos por metales pesados", Departamento de Cristalografía, Mineralogía y Química Agrícola, Facultad de Química, Universidad de Sevilla. Macla 10. pp 48-60.
- Galindo g., Fernández-Turiel J, Parada M., Gimeno Torrente D., 2005. Arsénico en aguas: origen, movilidad y tratamiento. Taller. II Seminario HispanoLatinoamericano sobre temas actuales de hidrología subterránea IV Congreso Hidrogeológico Argentino.Río Cuarto, Argentina.
- Garrels R.; Mackenzie F. 1967. Origin of the chemical composition of some springs and lakes. En: Equilibrium concepts in natural systems. American Chemical Society. pp. 222-242. Washington, D.C. Ed. Robert F. Gould.
- Golterman H, Clymo R. & Ohnstad M. 1978. Methods for physical and chemical analisis of freshwaters. 2ed, Blackwell, Oxford.
- Hammer T. 1986. Saline lake ecosystem of the world. Dr. W. Junk publishers. Vol 59.
- Hardie, L.A.; Eugster H.P. 1970. The evolution of closed-basin brines. *Mineralog. Soc. America Spec. Pub.* vol. 3: pp. 273-290.
- Harvie, C., Weare, J. 1980. The prediction of mineral solubilities in natural waters:the Na-K-Mg-Ca-SO₄- H₂O system from zero to high concentration at 25°C. *Geochimica et Cosmochimica Acta.* vol 44: p. 981-997.
- Harvie, C., Moller N., Weare, J. 1984. The prediction of mineral solubilities in natural waters: the Na-K-Mg-Ca-H-Cl-SO₄-OH-HCO₃-CO₃-CO₂-H₂O system to high ionic strength at 25°C. *Geochimica et Cosmochimica. Acta.* vol 48: pp. 723-751.
- Helgeson H.C.; Garrels R.M.; Mackenzie F.T. 1969. Evaluation of irreversible reactions in geochemical processes involving minerals and aqueous solutions-II. Applications. *Geochimica et Cosmochimica Acta.* vol. 33: pp. 455-481.
- Hochachka P. & Somero G. 1973. Strategies of Biochemical Adaptation. Edit. Cambridge University Press. P. 358.
- Horne J. Alexander y Goldman R. Charles, 1994. Limnology, Segunda Edición. New York. McGraw-Hill.

- Hutchinson, G. E. (1958). Concluding remarks. Cold Spring Harbor Symposia on Quantitative Biology Vol. 22: pp. 415–427.
- Jara R., 2007. Elementos base para la gestión ambiental de mercurio en Chile. Memoria para optar al título de ingeniero civil químico. Universidad de Chile.
- Jeffries, H. P. 1967. Saturation of estuarine zooplankton by congeneric associates. In.: Estuaries, ed. G. H. Lauff, *American Assoc. Adv. Sci.* vol. 83: pp. 500-508.
- Katona, S. K. 1970. Growth characteristics of the copepods *Eurytemora affinis* and *E. herdmani* in laboratory cultures. *Helgoländer wiss. Meeresunters.* vol. 20: pp. 373-384.
- Katona, S. K. 1971. The developmental stages of *Eurytemora affinis* (Pope, 1880) (Copepoda, Calanoida) raised in laboratory cultures, including a comparison with the larvae of *Eurytemora Americana* Williams, 1906, and *Eurytemora herdmani* Thompson & Scott, 1897. *Crustaceana.* vol. 21(1): pp. 5-20.
- Keller y Soto, 1998. Hydrogeologic influences on the preservation of *Orestias ascotanensis* (Teleostei: Cyprinodontidae), in Salar de Ascotán, northern Chile. *Revista de Historia Natural.* vol. 71: pp.147-156.
- Lampert W. & Sommer U., 2007. Limnoecology: The ecology of Lakes and Streams. 2nd edition. Oxford:Oxford University Press.
- Lepistö A. 2000. Nitrogen Leaching from Forested Soils into Watercourses. In: Hydrological and Limnological Aspects of Lake Monitoring. Edited by Heinonen P., Ziglio G and Van der Beken A. John Wiley & Sons, Ltd, England.
- Locascio C., Villagra A., Juárez J. y Ceraolo M. 2005. Características limnológicas y zooplankton de cinco lagunas de la Puna – Argentina. *Ecología en Bolivia.* Vol. 40 (1): 10-24.
- Maidana y Seelingmann, 2006. Diatomeas (Bacillariophyceae) de ambientes acuáticos de altura de la provincial de Catamarca, Argentina II. *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica.* 41 (1-2): 1 - 13. Buenos Aires, Argentina.
- Manheim F. & Landergren S., 1974. Molybdenum. En: Wedepohl KH (ed). *Handbook of geochemistry*, Vol. 2(3): 1-87. Springer-Verlag, New York.
- Marín G. 2003. Físicoquímica y microbiología de los medios acuáticos, tratamiento y control de la calidad de agua. 1^oed. Universidad Politécnica de Cartagena, España. Editorial Díaz de Santos.

- Ministerio de Relaciones Exteriores. 1981. Decreto 771, Promulga Convención relativas a las Zonas Húmedas de Importancia Internacional especialmente como Habitat de las Aves Acuáticas, suscrita en Ramsar, Irán, el 2 de Febrero de 1971. Biblioteca del Congreso Nacional de Chile.
- Montero J., Martínez M., Tribovillard N., Riboulleau A., Garbán, G. 2009, Agosto. Comportamiento geoquímico del molibdeno y sus isótopos en el ambiente sedimentario. N resumen bibliográfico. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*. vol 44(2): pp. 263-275.
- -Montti y Henriquez, 1970. Interpretación hidrogeológica de la génesis de salares y lagunas del altiplano chileno. *Congreso Geológico chileno*, No. 2, Actas 3: G69-G81.
- Morel F. and Hering J.,1993. Principles and Applications of Aquatic Chemistry. New York. John Wiley & Sons,Interscience.
- Morris J., & Stumm W. 1967. Redox equilibria and measurement of potenciales in the aquatic environment. In Stumm W., Ed. *Equilibrium Concepts in Natural Water Systems*, pp. 270-285. *American Chemical Society*, Washington, D.C.
- Moss B., Madgwick J., Phillips G. 1996a. A guide to the restoration of nutrient-enriched shallow lakes. Norwich, UK, Broads Authority.
- Mühlhauser H., Soto L. & Zahradnik P. 1986. Improvement of the Kjeldahl Method for Total Nitrogen including Acid-Hidrolizable Phosphorous determinations in Freshwater Ecosystems.*International Journal of Environmental and Analytical Chemistry*.28(3):1-12.
- OECD, 1982. Eutrophication of waters. Monitoring, assessment and control. OECD, Paris, 154 pp
- Ongley E., 1997.Canadá, Food and Agriculture Organization of the United Nations. GEMS/Water Collaborating Centre Canada Centre for Inland Waters Burlington.
- Parra, O. & C. Bicudo. 1995. Introducción a la biología y sistemática de las algas continentales. Gráfica Andes Ltda. Santiago. Chile.
- Pechar, L. y col., 2002. Hydrobiological evaluation of Trebon fishponds since the end of the nineteenth century. *Hydrobiologia*, vol 40, pp. 247–250.
- Petasne R. and Zika, R.,1997. Hydrogen peroxide lifetimes in south Florida coastal and offshore waters. *Marine Chemistry*, vol. 56: pp. 215–225.

- Pitzer, K. 1979. Theory: Ion interaction approach. En: Activity coefficients in electrolyte solutions, pp. 157-208. Florida, Ed. R.M. Pytkowicz, CRC Press.
- Prosser L. 1978. Comparative Animal Physiology. Edit. Saunders College Publishing, 3a. edic.p. 966.
- Pokorny, J. y col.,2002a. Role of macrophytes and filamentous algae in fishponds. In Kvet, J., Jenik, J. and Soukupova, L. (eds) FreshwaterWetlands and their Sustainable Future. New York, USA, Parthenon Publishing, pp. 97–124.
- Randall D., Burggren W. & French K.1998. Fisiología Animal. Edit. Mc. Graw HillInteramericana. 4a. Edic. 795 pp.
- Ríos L., Macías J. & Zirino A. 2003, octubre. Iridio: una opción para medir el potencial redox. *Ciencias Marinas* N°4, vol. 29., pp. 509-520.
- Risacher y Fritz, 1991. Quaternary geochemical evolution of the salars of Uyuni and Coipasa, Central Altiplano, Bolivia. *Chemical Geology*. vol. 90: pp. 211-231.
- Risacher, Alonso y Salazar, 1999. Geoquímica de aguas en cuencas cerradas I, II y III regiones - Chile. Estudio de cuencas II Región. S.I.T. N° 51. Volumen III.
- Risacher, Alonso y Salazar, 2003. The origin of brines and salts in Chilean salars: a hydrochemical review. *Earth-Science Reviews*. vol. 63: pp. 249-293.
- Rivera, P., Parra, O., González, M., Dellarossa, V. & M. Orellana. 1982. Manual taxonómico del fitoplancton de aguas continentales. IV. Bacillariophyceae. Editorial Universidad de Concepción, 97 pp. 15 Láms.
- Rosas H., 2001. Estudio de la contaminación por metales pesados en la cuenca del Llobregat, Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Catalunya, España.
- Sadzawka R., Carrasco R., Grez Z., Mora G., Flores P., Neaman. Métodos de análisis recomendados para los suelos de Chile, Revisión 2006, INIA, Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Centro Regional de Investigación la Platina. Santiago.
- Sarthou G., Jeandel C., Brisset L., Amouroux D., Besson T. and Donard, O (1997, marzo). Fe and H₂O₂ distributions in the upper water column in the Indian sector of the Southern Ocean. *Earth Planetary Science Letters*, vol 147: pp. 83–92.
- Sato, M. and Mooney, H.M. (1960). The electrochemical mechanism of sulfide self-potentials. *Geophysics*, vol. 25: pp. 226–249.

- Scholten M., Foekema E., Van Dokkum H., Kaag N., Jak R. 2005. *Eutrophication Management and Ecotoxicology*. Ed. Springer-Verlag. Berlin, Heidelberg.
- Scott S., Dorador C., Oyanedel J., Tobar I., Hengst M., Maya G., Harrod C, Vila I., (2015). Microbial diversity and trophic components of two high altitude wetlands of the Chilean Altiplano. *Gayana (Concepción)*, 79(1), 45-56.
- -Servant S. y Roux M. Multivariate analisis of diatoms and water chemistry in Bolivian saline lakes. *Hydrobiologia*, vol 197: 267-290.
- Sigeo, D.C. (2004) *Freshwater Microbiology: Diversity and Dynamic Interactions of Microorganisms in the Aquatic Environment*. Chichester, UK, John Wiley & Sons, p.524.
- Sillén, L.G. (1967). Master variables and activity scales. *Advances in Chemistry. Series*, vol. 67: pp. 45–55.
- Sinev A. Separation of *Alona cambouei* Guerne & Richard, 1893 from *Alona pulchella* King, 1853 (Brachiopoda: Anomopoda:Chydoridae), 2001. *Arthropoda Selecta*. Vol. 10 (1): pp. 5-18.
- Soto, D. & Zúñiga, L. 1991. Zooplankton assemblages of Chilean temperate lakes: a comparison with North American counterparts. *Rev. Chil. Hist. Nat.* Vol 64:pp. 569–581.
- -Soto, D. 2002. Oligotrophic patterns in southern Chile lakes: the relevance of nutrients and mixing depth. *Rev. Chil. Hist. Nat.* vol. 75: pp 377–393.
- Soto y De los Ríos, 2006, octubre. Influence of trophic status and conductivity on zooplankton composition in lakes and ponds of Torres del Paine National Park (Chile). *Biología*. vol. 61. pp 541-546.
- Stumm & Lee, 1960. The chemistry of aqueous iron. *Schweizerische Zeitschrift für Hydrologie*. vol. 22: pp. 295-319.
- Stumm & Morgan. 1981, Abril. *Aquatic Chemistry: An Introduction Emphasizing Chemical Equilibria in Natural Waters (Environmental Science and Technology: A Wiley-Interscience Series of Texts and Monographs)*. 2da Edición J. Wiley & Sons, New York.
- Stumm W. 1996. Redox potencial as a enviromental parameter; conceptual significance and operational limitation. 3er Conference Water Pollution Research (Munich, Germany), Water Pollution Control Federation, Washington, DC. Sec 1, paper 13, p. 16.

- Takeno, N. 2005. Atlas oh Eh-pH diagrams. Intercomparison of thermodynamic databases. Geological Survey of Japana Open File Report N°419. National Institute of Advanced Industrial Science and Technology. Págs 29 y 30.
- Utermöhl. 1958. Zur Vervoll Kommung der quantitativez Phytoplankton-Methodik. Mitt. Int. Ver. Theor. Angew. Limnol. 9:1-3.
- Villalobos, L. 2002. Comparison of the filtration structures in South American Daphnia. Arch. *Hydrobiologia*. vol. 154: pp. 647–663.
- Vila, 2002. Sistemas intertropicales de altura: humedales altiplánicos. El agua en Iberoamérica; de la escasez a la desertificación. Edit. Alicia Fernández y Elena Abraham. Seminario Internacional CYTED-XVII, CETA y FAC: Cs. Veterinarias UBA. Pp .63-72.
- Villafañe, V. & F. Reid. 1995. Métodos de microscopia para la cuantificación del fitoplancton. En E.C. Oliveira y E. Sar. (eds), Manual de métodos ficológicos, Universidad de Concepción, Concepción, Chile.
- Vollenweir RA (1990). The process of biomass formation as the key point in the restoration of tropical eutrophic lakes. *Hydrobiologia*.Vol. 342/343, pp. 351-354.
- Wetzell, 1984. Limnology. 2da Edición. W.B. Saunders Company Publishing. Philadelphia.
- Wen Z., Mian Z., Xian X., Xi L., Gan G. y Zhi H. 2005. Biological and ecological features of saline lakes in northern Tibet, China. *Hydrobiologia*. Vol 541: 189-203.
- Wollast R., Mackenzie F., Bricker O. 1968. Experimental precipitation and genesis of sepiolite at earth-surface conditions. *The American Mineralogist*. Vol 53: pp. 1645-1662.

VI. ANEXOS

Anexo 6.1 Metodología para analizar la calidad del agua.

Anexo 6.1.1 Determinación de Alcalinidad Total, Carbonatos y Bicarbonatos.

Fórmulas para determinar la alcalinidad:

Para determinar:

$$AF[mM / L] = (OH^-) + \left(\frac{1}{2}CO_3^{2-}\right) \quad \text{Ec. 9}$$

Se calcula:

$$AF = Ca * \frac{V_{8,3}}{V_s} \quad \text{Ec. 10}$$

Donde: Ca=concentración de ácido (mM); $V_{8,3}$ =Volumen ácido usado para titular a pH 8,3 en mL; V_s =Volumen de muestra en mL.

Se utilizará como ejemplo los siguientes valores: Ca=20 mM/L; V_s =20 mL; $V_{8,3}$ =1,2 mL.

Entonces se obtendrá:

$$AF = \frac{20(mM) * 1,2mL}{20mL} = 1,2mM / L$$

Para determinar:

$$AT = (OH^-) + \left(\frac{1}{2}CO_3^{2-}\right) + (HCO_3^-) \quad \text{Ec. 11}$$

Se calcula

$$AT = Ca * \frac{V_{4,6}}{V_s} \quad \text{Ec. 12}$$

Donde: V= volumen total de ácido (mL) usado para titular hasta el segundo punto final (pH 4 -6).

Como ejemplo se utilizará: Ca=20mM/L; $V_{4,6}$ =2,4 mL; V_s =20mL.

Así se obtendrá:

$$AT = \frac{20mM * 2,4mL}{20mL} = 2,4mM / L$$

Para calcular:

$$\text{Alcalinidad Bicarbonato} = (\text{HCO}_3^{-2})(\text{mM/L}) \quad \text{Ec. 13}$$

$$AB = AT - AF = Ca(V_{4,6} - V_{8,3}) / V_s \quad \text{Ec. 14}$$

Para este ejemplo se considerarán los resultados anteriores, donde AT= 1,2mM/L y AF=2,4mM/L.

$$AB=AT-AF=1,2\text{mM/L}$$

Para calcular:

$$\text{Alcalinidad Carbonato} = (1/2\text{CO}_3^{2-}) + (\text{HCO}_3^{-}) \quad \text{Ec. 15}$$

$$AC = AT - 0,01\beta \quad \text{Ec. 16}$$

Donde el factor β con las unidades de concentración, depende de (OH) y en menor medida de la fuerza iónica estimada de la conductividad, obteniéndose de la siguiente fórmula:

$$\beta = 0,7 * 10^{(\text{pH}_{\text{muestra}} - 9)} \quad \text{Ec. 17}$$

Y con un pH 9,4, se obtendría una $\beta=1,76$. Que reemplazándolo en la ecuación 16, se obtendría $AC= 1,2-0,01*1,76=1,1824$. Por lo tanto la mayor parte sería carbonato.

Según Standards Methods (APHA, 2012), si la alcalinidad de la fenolftaleína es la mitad de la alcalinidad total, entonces el bicarbonato tiende a ser cero.

Anexo 6.1.2 Metodología para determinar cuantitativamente la vía evolutiva en cuencas cerradas.

Este método se basa en la noción de alcalinidad (Stumm y Morgan, 1970; Dickson 1981). La alcalinidad mide la reserva alcalina de la solución disponible para neutralizar ácidos fuertes, representada en la siguiente ecuación:

$$[alc] = [\text{CO}_3^{2-}] + [\text{HCO}_3^{-}] + [\text{OH}^{-}] + [\text{boratos}] + [\text{silicatos}] - [\text{H}^{+}] \quad \text{Ec. 18}$$

En la cual, las concentraciones están en miliequivalentes por litro, entonces la ecuación del balance eléctrico quedaría de la siguiente forma:

$$\begin{aligned} & [\text{Na}^{+}] + [\text{K}^{+}] + [\text{Li}^{+}] + [\text{Ca}^{++}] + [\text{Mg}^{++}] + [\text{H}^{+}] \\ & = [\text{Cl}^{-}] + [\text{SO}_4^{2-}] + [\text{NO}_3^{-}] + [\text{HCO}_3^{-}] + [\text{OH}^{-}] + [\text{boratos}] + [\text{silicatos}] \end{aligned} \quad \text{Ec. 19}$$

Combinando las dos ecuaciones:

$$[alc] = \{[Na^+] + [K^+] + [Li^+] + [Ca^{++}] + [Mg^{++}]\} - \{[Cl^-] + [SO_4^{=}] + [NO_3^-]\} \quad \text{Ec. 20}$$

En esta última ecuación la alcalinidad aparece como la diferencia entre la suma de los cationes de bases fuertes y la suma de los aniones de los ácidos fuertes. Si consideramos un cuerpo de agua que se evapora, precipita primero la calcita ($CaCO_3$), la cual puede precipitar sola o junto con algún componente del lado derecho, pero si no se da el caso, a medida que precipita la calcita los otros componentes se concentran libremente. Se pone el subíndice "0" para las concentraciones iniciales y se utilizará F como un factor de concentración (Vol. Agua inicial/Vol. Agua residual), el cual en un inicio es 1, la igualdad quedaría:

$$[alc] - [Ca^{++}] = Fx\{[Na^+]_b + [K^+]_b + [Li^+]_b + [Mg^{++}]_b\} - \{[Cl^-]_b + [SO_4^{=}]_b + [NO_3^-]_b\} \quad \text{Ec. 21}$$

Y entonces:

$$[alc] - [Ca^{++}] = Fx([alc]_b - [Ca^{++}]_b) \quad \text{Ec. 22}$$

Así, $([alc]_b - [Ca^{++}]_b)$ es una constante que puede ser positiva o negativa, según los valores miliequivalentes de la alcalinidad y de la concentración del calcio en un inicio. El factor F crece conforme se va evaporando el agua.

Los posibles escenarios pueden ser los siguientes:

Si $([alc]_b - [Ca^{++}]_b) > 0$, entonces $Fx([alc]_b - [Ca^{++}]_b)$ es positivo y creciente durante la precipitación de la calcita, $[alc] - [Ca^{++}]$ por lo tanto es también positivo y creciente. La solución sigue la vía carbonatada donde aumenta la alcalinidad y precipita el calcio.

Si $([alc]_b - [Ca^{++}]_b) < 0$, entonces $Fx([alc]_b - [Ca^{++}]_b)$ es negativo y crecientes durante la precipitación de la calcita. La solución sigue la vía neutra, donde aumenta el calcio y disminuye la alcalinidad.

Cuando precipitan conjuntamente la calcita y las sales de magnesio:

$$[alc] - [Ca^{++}] - [Mg^{++}] = Fx\{[Na^+]_b + [K^+]_b + [Li^+]_b\} - \{[Cl^-]_b + [SO_4^{=}]_b + [NO_3^-]_b\} \quad \text{Ec. 23}$$

Y:

$$[alc] - [Ca^{++}] - [Mg^{++}] = Fx([alc]_b - [Ca^{++}]_b - [Mg^{++}]_b) \quad \text{Ec. 24}$$

Así:

Si $[alc]_b - [Ca^{++}]_b - [Mg^{++}]_b > 0$, entonces $[alc] - [Ca^{++}] - [Mg^{++}]$ es positivo y creciente. La solución sigue la vía carbonatada donde aumenta la alcalinidad, hasta llegar a una salmuera alcalina.

Si $[alc]_b - [Ca^{++}]_b - [Mg^{++}]_b < 0$, entonces $[alc] - [Ca^{++}] - [Mg^{++}]$ es negativo y creciente durante la precipitación de la calcita y de sales de magnesio. La solución se desvía de vía carbonatada hacia vías sulfatadas.

Cuando la solución llega a la precipitación del yeso por la vía inicial neutra: $[Ca] > [alc]$.

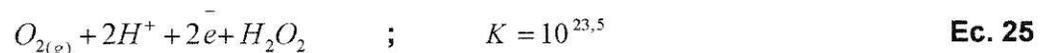
Para la precipitación del yeso, no se puede comparar al inicio la concentración del Ca y SO_4 , puesto que la precipitación de la calcita puede bajar la concentración del calcio por debajo de la del sulfato, de modo que se deben comparar las al inicio de la precipitación del yeso. Se puede utilizar una relación entre $Ca = alc + SO_4$ ya que según la simulación computacional en el estudio realizado por Risacher y col. 1998 por el convenio DGA -UCM-ORSTOM en Geoquímica en aguas de cuencas cerradas I, II y III Regiones-Chile, en las aguas de aporte de los salares chilenos, esta relación separa exactamente las aguas de vía cálcica de las de vías sulfatadas neutras. Con muy escasos casos donde la calcita de un inicio pueda redisolverse para proveer calcio durante la formación del yeso.

Tabla 14. Resumen de determinación cualitativa de la vía evolutiva.

Inecuaciones a cumplir	Vías evolutivas que puede seguir
$[alc] > [Ca]$ y $[alc] > [Ca] + [Mg]$ \implies	Vía Carbonatada
$[alc] < [Ca]$ y $[alc] > [Ca] + [Mg]$ \implies	Vía Sulfatada alcalina o directa
$[alc] < [Ca]$ y $[alc] + [SO_4] > [Ca]$ \implies	Vía Sulfatada neutra
$[alc] < [Ca]$ y $[alc] + [SO_4] < [Ca]$ \implies	Vía Cálcica

Anexo 6.1.3 Metodología para el potencial redox según Ríos y col. 2003.

Con los valores de oxígeno disuelto determinados en cada punto de muestreo junto con el pH y la constante de equilibrio para el mecanismo de control del potencial redox (Ecuación 8) que proponen Sato y Money (1960) en aguas oxigenadas, se obtiene la actividad del electrón y con ello el valor de potencial redox.



Tomando en consideración la actividad del electrón como un reactivo participante, se define la actividad del mismo en equilibrio como (Sillén, 1967; Tresdell, 1968; Morel y Hering, 1993).

$$a_{e^-} = \left\{ (1/K)(Red/Ox)^{(1/n)} \right\} \quad \text{Ec. 26}$$

Donde a_{e^-} es la actividad del electrón y K es la constante de equilibrio. Esta actividad del electrón se puede expresar en dos escalas como pE o EH, las cuales se relacionan así:

$$pE = -\log a_{e^-} = 1/n \log K + 1/n \log [Ox]/[Red] \quad \text{Ec. 27}$$

$$EH = (2,3RT/F)pE \quad \text{Ec. 28}$$

$$pE = (F/2,3RT)EH \quad \text{Ec. 29}$$

Por lo tanto:

$$K = \frac{[H_2O_2]}{[H^+]^2 [e^-]^2 pO_2} = 10^{23,5} \quad \text{Ec. 30}$$

Al despejar la actividad electrónica se puede obtener una expresión para el potencial:

$$\log \frac{1}{[e^-]} = -\log [e^-] = \frac{23,5 - \log \left(\frac{[H_2O_2]}{pO_2 [H^+]^2} \right)}{2} \quad \text{Ec. 31}$$

$$\log \left[\frac{1}{e^-} \right] = pE$$

Ec. 32

Entonces se reemplazan los valores, tomando en consideración la variable de la concentración de H_2O_2 con el pH, la concentración de H^+ y la presión parcial del O_2 . Tomando como ejemplo que:

$$pO_2=0,21 \text{ atm y para pH}=8 \rightarrow [H^+] = 10^{-8} \text{ M y } [H_2O_2]=10^{-8} \text{ M}$$

$$\text{Se obtienen los resultados para la ecuación 31 y 32: } -\log[e^-] = pE = 7,4$$

$$EH = 7,4 * 0,059 = 0,44V$$

Este valor de potencial es más cercano al encontrado en aguas naturales. La concentración del H_2O_2 corresponde a los valores medios reportados en aguas naturales (Cooper y Zika, 1983; Petasne y Zika, 1997; Sarthou y col., 1997).

Tabla 15. Concentraciones y tasas de acumulación de H_2O_2 en aguas superficiales y subterráneas expuestas a luz solar; 1.0 watt-hora m^{-2} es el equivalente de 2.5 horas de pleno sol a medio día en Junio en Miami (latitud, $25^\circ 44' N$). Cooper and Zika, 1983.

Location	TOC (mg liter ⁻¹)	H ₂ O ₂ (mole liter ⁻¹) concentration after sunlight exposure		
		Initial	0.3 watt- hour m ⁻²	1.0 watt- hour m ⁻²
<i>Surface water</i>				
Chechessee River, S.C.	2.2	8.75×10^{-8}	6.4×10^{-7}	
Combahee River, S.C.	14.7	1.60×10^{-7}	2.30×10^{-6}	
Newman River, Fla.	16.7	1.70×10^{-7}	1.95×10^{-6}	
Peacock River, Ga.	17.8	3.20×10^{-7}	4.62×10^{-6}	
Tamiami Canal, Fla.	12.4	9.00×10^{-8}	2.56×10^{-6}	7.02×10^{-6}
VH Pond, Miami, Fla.		1.4×10^{-7}	1.29×10^{-6}	3.48×10^{-6}
<i>Ground water</i>				
Tucson, Ariz.	0.2	0	5.75×10^{-8}	6.5×10^{-8}
Spring water, Coudersport, Pa.	0.5	0	3.1×10^{-7}	3.7×10^{-7}
Sodus, N.Y.	0.9	0	0	0
Well 18, Miami, Fla.	2.9	0	6.03×10^{-7}	1.38×10^{-6}
Well 5, Miami, Fla. (6/26/81)	5.7	0	1.60×10^{-6}	3.90×10^{-6}
Well 5, Miami, Fla. (10/15/81)	6.2	0	1.84×10^{-6}	3.30×10^{-6}
Well 23, Miami, Fla.	10.3	0	1.68×10^{-6}	4.45×10^{-6}
Northwest well 1, Miami, Fla.	17.6	0	4.79×10^{-6}	1.00×10^{-5}

6.1.4 Validación del método de Espectroscopía de Absorción Atómica y espectrofotometría.

Para la determinación de cada elemento se realiza una curva de calibración dentro de los parámetros posibles del equipo y los elementos a medir. Para validar el método se utilizó la modalidad estadística/opertativa, además del tratamiento adecuado de la muestra al momento del muestreo, transporte y manejo.

Los parámetros de la calidad del método analítico fueron: Límite de detección (LD), límite de cuantificación (LC), rango lineal (por medio de la correlación que presenta la curva de calibración se puede apreciar el rango en que se puede aplicar de forma confiable el método analítico) y sensibilidad (pendiente de la curva de calibración).

$$LD = \frac{Y_{bl} + 3S_{bl}}{m} \quad \text{Ec. 33}$$

$$LC = \frac{Y_{bl} + 10S_{bl}}{m} \quad \text{Ec. 34}$$

Donde Y_{bl} = Absorbancia del blanco; S_{bl} = Desviación estándar de la absorbancia del blanco; m =Pendiente de la curva de calibración.

Desde las curvas de calibración y la desviación estándar de las señales blanco, se obtuvo los parámetros de la ecuación de regresión lineal, su desviación estándar, el límite de detección y el límite de cuantificación, para los metales Ca, Mg, Na, K y el no metal B, para los nutrientes nitratos, amonio, sulfatos, N-total, P-total, ortofosfatos y sílice, los cuales se muestran en la siguiente sección.

6.1.5 Curvas de calibración de Espectroscopía de Absorción Atómica y Espectrofotometría.

Tabla 16. Curva de Calibración EEA Ca

Ca [mg/L]	absorbancia	r^2	0,99996
0,25	0,021	intercepto	0,0102
0,5	0,033	pendiente	0,0421
1,4	0,071	DS blanco	0,00105
5	0,222	LD	0,11247
10	0,432	LC	0,2802

Tabla 17. Curva de Calibración EAA Mg

Mg [mg/L]	absorbancia	r^2	0,9962
0,025	0,016	intercepto	0,0587
0,1	0,057	pendiente	0,3628
0,3	0,164	DS blanco	0,000617
1	0,537	LD	0,0076
5	1,851	LC	0,019

Tabla 18. Curva de Calibración EAA Na

Na [mg/L]	absorbancia	r^2	0,9959
0,25	0,08	Intercepto	0,0154
0,8	0,157	Pendiente	0,249
1,2	0,375	DS blanco	0,00547
5	1,255	LD	0,10618
		LC	0,2535

Tabla 19. Curva de Calibración EAA K.

K [mg/L]	absorbancia	r^2	0,9981
0,025	0,007	Intercepto	0,0188
0,1	0,021	Pendiente	0,1379
0,5	0,092	DS blanco	0,00985
1,1	0,2	LD	0,24474
5	0,702	LC	0,72382

Tabla 20. Curva de Calibración Espectrofotometría B.

B [mg/L]	absorbancia	r^2	0,99965
0	0,005	Intercepto	0,0128
0,5	0,166	Pendiente	0,2924
1	0,3085	DS blanco	0,00034
1,5	0,4481	LD	0,00556
2	0,6062	LC	0,01336
2,5	0,7365	λ	420(nm)

Tabla 21. Curva de Calibración Espectrofotometría Nitratos.

NO ₃ ⁻ [mg/L]	absorbancia	r^2	0,9996
0	0,002	intercepto	0,00094
0,2	0,009	pendiente	0,043
0,4	0,018	DS blanco	0,0003
0,8	0,035	LD	0,0679
1	0,043	LC	0,1177
1,4	0,062	λ	420 (nm)
1,6	0,07		

Tabla 22. Curva de Calibración Espectrofotometría Sílice.

Sílice[mg/L]	absorbancia	r^2	0,99998
0	0,006	intercepto	0,0016
0,1	0,025	pendiente	0,2495
0,2	0,05	DS blanco	0,001
1	0,25	LD	0,0361
2,5	0,625	LC	0,0641
5	1,25	λ	815 (nm)

Tabla 23. Curva de Calibración Espectrofotometría Nitrógeno total y Amonio.

N-total y NH4 [mg/L]	absorbancia	r ²	0,998
0	0,047	intercepto	0,0592
5	0,057	pendiente	0,041
40	0,093	DS blanco	0,001
100	0,127	LD	73,77
200	0,188	LC	85,25
300	0,248	λ	420 (nm)
400	0,302		
500	0,364		

Tabla 24. Curva de Calibración Espectrofotometría Sulfatos.

SO ₄ ²⁻ [mg/L]	absorbancia	r ²	0,9995
0	0,002	intercepto	0,0028
0,4	0,015	pendiente	0,0333
2	0,072	DS blanco	0,0015
4	0,138	LD	0,1877
5	0,167	LC	0,5088
		λ	400 (nm)

**Tabla 25.** Curva de Calibración Espectrofotometría Fósforo Total y Ortofosfatos.

P-total y Ortofosfatos [mg/L]	absorbancia	r ²	0,9995
0	0,004	intercepto	0,0051
20	0,019	pendiente	0,00072
40	0,0335	DS blanco	0,0016
80	0,0625	LD	10,75
100	0,0795	LC	26,13
150	0,1165	λ	885 (nm)
200	0,146		
250	0,185		

Anexo 6.2 Resultados calidad del agua.

Anexo 6.2.1 Datos química por sitio de muestreo.

Tabla 26. Variables determinadas *in situ*. Mayo y Noviembre 2014.

Punto	Muestreo V6 Salar de Ascotán 26 de Mayo 2014 post-lluvias						Muestreo V6 Salar de Ascotán 12 de Noviembre 2014 pre-lluvias					
	Conductividad mS/cm	pH	STD g/L	Temperatura °C	Salinidad g/L	O.D. mg/L	Conductividad mS/cm	pH	STD g/L	Temperatura °C	Salinidad g/L	O.D. mg/L
1.1	3,54	8,20	1,513	15,70	1,62	11,71	4,13	8,521	4,12	17	2,44	11,06
1.2	3,54	8,20	1,513	17,00	1,62	12,10	4,12	8,527	4,12	17,2	2,44	11,2
1.3	3,54	8,20	1,513	16,35	1,62	11,91	4,12	8,559	4,12	17,2	2,44	11,2
2.1	3,62	8,80	1,571	19,10	1,64	13,40	4,13	8,937	4,07	19,97	2,44	13,51
2.2	3,62	8,80	1,571	19,00	1,64	13,40	4,12	8,924	4	20,07	2,44	13,59
2.3	3,62	8,80	1,571	19,05	1,64	13,40	4,12	8,923	4,08	19,86	2,44	13,6
3.1	3,90	9,10	1,570	20,50	1,49	15,81	4,08	9,161	4,08	24,53	2,44	10,06
3.2	3,90	9,10	1,570	21,20	1,49	15,54	4,09	9,176	4,13	23,73	2,44	11,1
3.3	3,90	9,10	1,570	20,85	1,49	15,68	4,12	9,185	4,14	24,03	2,44	11,24
4.1	3,82	9,10	1,990	22,20	1,68	14,44	4,12	8,957	4,15	26,5	2,44	9,41
4.2	3,82	9,10	1,990	20,60	1,59	12,88	4,13	8,951	4,12	26,73	2,44	9,49
4.3	3,82	9,10	1,990	21,40	1,63	13,66	4,12	8,954	4,12	26,4	2,44	9,66
5.1	3,44	8,90	1,710	19,10	1,42	11,71	4,11	8,875	4,11	28,6	2,44	9,46
5.2	3,44	8,90	1,710	17,40	1,42	11,71	4,12	8,874	4	28,67	2,44	10,44
5.3	3,44	8,90	1,710	18,25	1,42	11,71	4,12	8,879	4,11	28,57	2,44	10,38

Tabla 27. Metales y alcalinidad Mayo y Noviembre 2014. Se midió Calcio, Magnesio, Sodio, Potasio, Cloruros (Cl), Dur. (Dureza), Alcalinidad total, Carbonatos (CO₃), Bicarbonatos (HCO₃⁻) y Boro (B). Concentraciones en (mg/L)

Metales y alcalinidad V6 Salar de Ascotán Mayo 2014 (post-lluvias)											Metales y alcalinidad V6 Salar de Ascotán Nov.2014 (pre-lluvias)									
Pto	Ca	Mg	Na	K	Cl	Dur.	Alc total	CO ₃	HCO ₃ ⁻	B	Ca	Mg	Na	K	Cl	Dur.	Alc. total	CO ₃	HCO ₃ ⁻	B
1.1	127,4	44,7	489,9	32,4	1700	450	1,1	0	67,1	6,8	95,9	42,0	528,4	66,2	1300	500	0,8	6	48,8	7,0
1.2	127,4	45,2	489,9	34,0	1600	450	1,1	0	67,1	6,7	95,3	42,0	519,8	65,7	1300	500	0,8	6	48,8	7,4
2.1	119,6	44,4	571,9	43,1	1600	450	0,7	9	42,7	7,2	104,3	43,2	562,1	61,4	1300	500	0,7	9	42,7	6,7
2.2	126,1	44,6	567,6	43,1	1600	450	0,7	9	42,7	6,9	101,3	42,9	558,3	61,4	1300	500	0,7	9	42,7	6,9
3.1	130,6	43,3	544,6	40,1	1600	450	0,7	12	42,7	7,3	113,6	47,3	492,4	32,4	1100	500	0,7	6	42,7	6,8
3.2	130,6	43,0	548,9	40,9	1600	450	0,7	12	42,7	6,7	110,4	46,9	497,1	33,0	1100	500	0,7	6	42,7	7,0
4.1	121,7	43,9	546,0	41,8	1600	450	0,6	12	36,6	6,9	129,8	44,9	542,2	36,1	1200	500	1,8	0	109,8	7,1
4.2	119,5	43,2	548,9	42,2	1600	450	0,6	12	36,6	7,0	130,3	45,3	538,4	35,9	1200	500	1,8	0	109,8	7,1
5.1	96,0	42,5	543,2	36,6	1600	350	0,8	6	48,8	7,1	117,7	44,9	514,1	33,8	1200	500	0,6	12	36,6	6,9
5.2	97,5	41,6	547,5	37,5	1600	350	0,8	6	48,8	7,0	118,9	45,1	520,1	34,1	1200	500	0,6	12	36,6	7,0

Tabla 28. Nitrógeno, fósforo y silicio, Mayo y Noviembre 2014. Mediciones de nitrato (NO_3^-), amonio (NH_4^+), fosfato (PO_4^{2-}), silicio (Si), nitrógeno total (N-total), fósforo total (P-total).

Punto	Nutrientes V6 Salar de Ascotán Mayo 2014 post-lluvias							Nutrientes V6 Salar de Ascotán Noviembre 2014 pre-lluvias						
	NO_3^- µg/L	NH_4^+ µg/L	PO_4^{3-} µg/L	SO_4^{2-} mg/L	Si mg/L	N-Total µg/L	P-Total µg/L	NO_3^- µg/L	NH_4^+ µg/L	PO_4^{3-} µg/L	SO_4^{2-} mg/l	Si mg/L	N-Total µg/L	P-Total µg/L
1.1	137,15	78,67	119,33	62,95	226,46	297,33	271,08	127,22	8,33	131,23	57,98	217,24	507,33	288,94
1.2	137,15	78,67	121,51	62,08	229,15	293,97	266,11	127,22	8,67	131,23	57,69	214,86	577,33	301
2.1	112,24	45,33	120,48	62,08	207,67	292,33	243,53	112,5	10,33	128,1	42,78	213,66	734	276,55
2.2	112,2	44,67	121,14	60,91	204,09	300,67	233,69	112,5	10,33	130	45,7	218,44	734	271,78
3.1	87,5	32	118,28	62,08	204,98	684	228,85	37,42	10,33	126,87	54,18	220,23	2594	126,62
3.2	87,5	31,98	121,34	61,49	205,88	694	231	36,54	10	126,87	50,96	222,61	2687,33	126,62
4.1	87,5	47	111,47	61,2	211,84	540,67	238,46	64,19	13,67	116,38	45,12	222,61	4934	123,5
4.2	84,72	52	111,47	60,91	211,25	554	243,33	62,88	15,33	117,01	43,95	218,44	5034	126,62
5.1	61,49	38,67	110,68	60,32	212,14	1967,33	236,22	87,74	28,67	115,22	55,64	222,02	400,67	233,5
5.2	62,49	37	111,6	59,44	211,25	1884	240,19	87,74	28,67	113,94	52,43	227,39	387,33	238,5

Tabla 29. Determinación cuantitativa de la vía evolutiva de la concentración de sales para la temporada post lluvias (Mayo 2014) y pre lluvias altiplánicas (Noviembre 2014). Donde se indica **si cumple** o **no cumple** con la inecuación. Se consideraron los puntos de muestreo 1, 3 y 5 para el cálculo.

Muestreo posterior a las lluvias altiplánicas				Muestreo previo a las lluvias altiplánicas			
Inecuaciones a cumplir		Resultado		Inecuaciones a cumplir		Resultado	
[alc] > [Ca]	[alc]>[Ca]+[Mg]	[alc] > [Ca]	[alc]>[Ca]+[Mg]	[alc] > [Ca]	[alc]>[Ca]+[Mg]	[alc] > [Ca]	[alc]>[Ca]+[Mg]
1,1 > 6,37	1,1 > 6,37+3,75	No Cumple	No Cumple	0,9>4,47	0,9 > 4,47+3,46	No Cumple	No Cumple
0,7 > 6,14	0,7 > 6,14+3,71	No Cumple	No Cumple	0,7>5,60	0,7 > 5,60+3,93	No Cumple	No Cumple
0,8 > 4,84	0,8 > 4,84+3,5	No Cumple	No Cumple	0,6>5,91	0,6 > 5,91+3,75	No Cumple	No Cumple
[alc] > [Ca]	[alc]<[Ca]+[Mg]	[alc] > [Ca]	[alc]<[Ca]+[Mg]	[alc] > [Ca]	[alc]<[Ca]+[Mg]	[alc] > [Ca]	[alc]<[Ca]+[Mg]
1,1 > 6,37	1,1 < 6,37+3,75	No Cumple	Cumple	0,9>4,47	0,9 < 4,47+3,46	No Cumple	Cumple
[alc] < [Ca]	[alc]+[SO₄]>[Ca]	[alc] < [Ca]	[alc]+[SO₄]>[Ca]	[alc] < [Ca]	[alc]+[SO₄]>[Ca]	[alc] < [Ca]	[alc]+[SO₄]>[Ca]
1,1 < 6,37	1,1+1,3 > 6,37	Cumple	No Cumple	0,9<4,47	0,9+1,14> 4,47	Cumple	No Cumple
0,7 < 6,14	0,7+1,21 > 6,14	Cumple	No Cumple	0,7<5,60	0,7+1,09> 5,60	Cumple	No Cumple
0,8 < 4,84	0,8+1,24 > 4,84	Cumple	No Cumple	0,6<5,91	0,6+1,13> 5,91	Cumple	No Cumple
[alc] < [Ca]	[alc]+[SO₄]<[Ca]	[alc] < [Ca]	[alc]+[SO₄]<[Ca]	[alc] < [Ca]	[alc]+[SO₄]<[Ca]	[alc] < [Ca]	[alc]+[SO₄]<[Ca]
1,1 < 6,37	1,1+1,3 < 6,37	Cumple	Cumple	0,9 <4,47	0,9+1,14< 4,47	Cumple	Cumple
0,7 < 6,14	0,7+1,21 < 6,14	Cumple	Cumple	0,7 <5,60	0,7+1,09< 5,60	Cumple	Cumple
0,8 < 4,84	0,8 +1,24< 4,84	Cumple	Cumple	0,6 <5,91	0,6+1,13< 5,91	Cumple	Cumple

Anexo 6.3 Resultados organismos planctónicos.

Anexo 6.3.1 Índices comunitarios y diversidad para fitoplancton y zooplancton

Tabla 30. Índices comunitarios de fitoplancton. Donde S: riqueza de especies, N: abundancia, H':Índice de Shannon y Wiener, J:Índice de equitatividad.

Sitios	Zona	Mediciones temporada posterior a las lluvias				Mediciones temporada previa a las lluvias			
		S	N	H'	J	S	N	H'	J
1	vertiente	13	289,76	0,95	0,42	14	166,2	1,7	0,7
2	vertiente	13	184,08	1,39	0,62	13	292,7	1,3	0,7
3	bofedal	18	76,9	2,14	0,79	17	480,7	1,9	0,7
4	salar	21	203,17	1,61	0,62	16	511,9	1,9	0,8
5	salar	16	40,28	1,89	0,79	15	236,4	1,8	0,9

Tabla 31. Índices comunitarios de zooplancton. Donde S: riqueza de especies, N: abundancia, H':Índice de Shannon y Wiener, J:Índice de equitatividad.

Sitios	Zona	Mediciones temporada posterior a las lluvias				Mediciones temporada previa a las lluvias			
		S	N	H'	J	S	N	H'	J
1	Vertiente	5	83,5	0,63	0,53	2	3,7	0,06	-
2	Vertiente	4	9	0,91	0,83	7	62,3	0,81	0,45
3	Bofedal	6	476,5	0,46	0,29	7	112,3	0,76	0,44
4	Salar	8	189,7	1,02	0,55	8	75	1,47	0,82
5	Salar	8	164,5	1,11	0,66	6	34	1,05	0,69

Anexo 6.3.2 Datos de fitoplancton y zooplancton promedios por sitio de muestreo.

Tabla 32. Datos del promedio de réplicas para fitoplancton, mayo 2014.

Géneros	Sitio 1	Sitio 2	Sitio 3	Sitio 4	Sitio 5
Achnanthisdium	208,29	8,17	11,27	0,82	1,24
Amphora	3,09	1,53	1,47	5,53	2,84
Cymbella	20,62	9,61	9,81	0,82	1,73
Campylodiscus	0,00	1,03	0,00	0,00	0,70
Cocconeis	5,16	35,43	0,98	6,19	0,00
Denticula	27,84	0,00	0,00	23,76	7,95
Diploneis	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Epithamia	0,00	0,99	0,74	0,00	0,00
Frustulia	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Gomphonema	1,03	1,03	0,00	0,82	0,00
Mastogloia	0,00	0,00	0,98	0,74	0,74
Navicula	2,06	0,00	2,69	5,77	3,18
Nitzschia	15,47	4,58	5,89	5,77	1,73
Pinnularia	1,03	0,00	0,00	0,00	0,00
Surirella	0,00	0,00	0,49	1,57	0,99
Cyclotella	1,03	0,00	0,49	0,00	0,00
Synedra	0,00	0,00	0,25	0,00	0,00
Ulnaria	2,06	0,00	5,37	3,13	0,95
Diatoma	0,00	116,07	10,29	91,57	6,19
Fragilaria	1,03	0,00	0,00	2,97	0,70
Zignema	0,00	0,00	2,96	1,65	0,25
Spirogira	0,00	0,00	0,00	2,23	0,00
Pennada	0,00	1,03	0,00	0,00	0,00
Dictyosphaerium	0,00	0,00	0,98	0,00	0,25
Botryococcus	0,00	1,53	2,69	4,04	1,94
Merismopedia	0,00	0,00	0,00	2,47	0,00
Oscillatoria	1,03	0,00	0,74	5,20	0,00
Chroococcus	0,00	2,06	17,36	34,15	8,66
Dolichospermum	0,00	0,00	0,49	0,74	0,00
cryptomona	0,00	1,03	0,99	3,71	0,25
Total orgs/mL	289,75	183,05	75,91	203,67	40,28

Tabla 33. Datos del promedio de réplicas para fitoplancton, noviembre 2014.

Géneros	Sitio 1	Sitio 2	Sitio 3	Sitio 4	Sitio 5
Achnantheidium	13,77	109,85	21,53	45,91	4,59
Amphora	3,67	7,29	15,93	9,18	0
Campylodiscus	0	0,92	9,05	0	0
Cocconeis	33,05	27,47	22,58	6,89	2,3
Cymbella	2,75	1,82	0	39,02	20,66
Denticula	67,94	94,64	196,39	144,61	25,25
Diploneis	0,92	0,92	13,54	6,89	0
Epithemia	0	0	20,02	9,18	0
Gomphonema	10,1	20,13	6,75	0	2,3
Mastogloia	2,75	0	0	6,89	27,54
Navicula	4,59	2,75	40,44	45,91	25,25
Nitzschia	11,94	21,48	4,25	2,3	0
Surirella	6,43	0	2,23	13,77	0
Cyclotella	0	0	2,3	0	0
Ulnaria	0,92	0	2,13	0	0
Pennada	0	1,83	0	2,3	0
Ankyra	0	0	0	0	2,3
Botryococcus	0	0	28,62	18,36	0
Spirogyra	0	0	0	4,59	0
Zygnema	0	0	6,75	0	0
Anabaena					
colonia	0	0	0	0	2,3
Aphanocapsa	1,84	0,92	0	0	0
Aphanothece	0	0	0	2,3	0
Chroococcus	10,1	1,83	86,03	153,79	27,54
Nostoc	0,92	0	0	0	0
Merismopedia	0	0	2,13	0	0
Total orgs/mL	171,69	291,83	480,66	511,87	140,02

Tabla 34. Datos del promedio de réplicas para zooplancton, mayo 2014.

Taxas	Sitio 1	Sitio 2	Sitio 3	Sitio 4	Sitio 5
Copepodito	14,50	0,00	0,50	5,50	2,00
Nauplius	91,50	8,50	3,50	1,50	4,00
Calanoida	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ciclopoida	66,00	2,00	12,50	2,50	2,50
Harpacticoida	0,50	1,00	26,50	22,50	28,00
Ostrácoda	15,50	5,50	422,00	139,50	65,00
Rotífero <i>euchlanis</i>	0,50	0,00	0,00	4,00	2,50
Rotífero aff. <i>Trichotria</i>	0,00	0,00	0,00	8,00	5,00
Alona <i>guttata</i>	0,00	0,50	0,50	6,50	1,00
Alona <i>pulchella</i>	0,00	0,00	14,00	5,00	59,00
Alonella	0,00	0,00	1,00	1,50	1,50
Total orgs/15L	189,5	17,50	480,50	196,50	170,50

Tabla 35. Datos del promedio de réplicas para zooplancton, noviembre 2014.

Taxas	Sitio 1	Sitio 2	Sitio 3	Sitio 4	Sitio 5
Copepodito	1,67	4,67	0,67	0,00	0,00
Nauplius	2,00	2,67	19,67	10,33	9,67
Ciclopoida	0,00	0,33	1,00	5,00	2,00
Harpacticoida	0,00	2,67	11,33	22,00	11,33
Ostrácoda	3,67	43,67	83,33	13,00	13,00
Rotífero <i>euchlanis</i>	0,00	4,66	4,11	2,88	2,44
Rotífero aff. <i>Trichotria</i>	0,00	9,33	8,22	5,77	4,88
Daphnia	0,00	0,00	0,00	0,33	0,00
Alona <i>pulchella</i>	0,00	1,00	1,67	17,00	0,33
Alonella	0,00	0,00	1,00	2,67	0,00
Pleuruxus	0,00	0,67	0,00	0,00	0,00
Total orgs/15L	7,33	69,66	131,00	79,00	43,66

Anexo 6.3.4 Porcentajes de fitoplancton y zooplancton temporal por Clases o géneros.

Tabla 38. Clasificación taxonómica actualizada de fitoplancton (www.algaebase.org), temporada post lluvias altiplánicas (Mayo2014) y porcentaje (%) de abundancia de géneros según clase.

Phylum	Clase	Orden	Género	% género por clase
Ochrophyta	Bacillariophyceae	Achnanthes	<i>Achnantheidium</i>	50%
Ochrophyta	Bacillariophyceae	Thalassiosiphysales	<i>Amphora</i>	3%
Ochrophyta	Bacillariophyceae	Cymbellales	<i>Cymbella</i>	9%
Ochrophyta	Bacillariophyceae	Surirellales	<i>Campylodiscus</i>	0,30%
Ochrophyta	Bacillariophyceae	Achnanthes	<i>Cocconeis</i>	11%
Ochrophyta	Bacillariophyceae	Bacillariales	<i>Denticula</i>	13%
Ochrophyta	Bacillariophyceae	Rhopalodiales	<i>Epithamia</i>	0,38%
Ochrophyta	Bacillariophyceae	Cymbellales	<i>Gomphonema</i>	0,64%
Ochrophyta	Bacillariophyceae	Mastogloiales	<i>Mastogloia</i>	0,54%
Ochrophyta	Bacillariophyceae	Naviculales	<i>Navícula</i>	3%
Ochrophyta	Bacillariophyceae	Bacillariales	<i>Nitzschia</i>	7%
Ochrophyta	Bacillariophyceae	Naviculales	<i>Pinnularia</i>	0,23%
Ochrophyta	Bacillariophyceae	Surirellales	<i>Surirella</i>	0,67%
Ochrophyta	Coccolidophyceae	Thalassiosirales	<i>Cyclotella</i>	100%
Ochrophyta	Fragilariophyceae	Fragilariales	<i>Synedra</i>	0,10%
Ochrophyta	Fragilariophyceae	Fragilariales	<i>Ulnaria</i>	4,80%
Ochrophyta	Fragilariophyceae	Fragilariales	<i>Diatoma</i>	93%
Ochrophyta	Fragilariophyceae	Fragilariales	<i>Fragilaria</i>	2%
Charophyta	Conjugatophyceae	Zygnematales	<i>Zignema</i>	69%
Charophyta	Conjugatophyceae	Zygnematales	<i>Spirogira</i>	31%
Chlorophyta	Trebouxiophyceae	Chlorellales	<i>Dictyosphaerium</i>	11%
Chlorophyta	Trebouxiophyceae	Trebouxiales	<i>Botryococcus</i>	89%
Cyanobacteria	Cyanophyceae	Synechococcales	<i>Merismopedia</i>	3,40%
Cyanobacteria	Cyanophyceae	Oscillatoriales	<i>Oscillatoria</i>	9,60%
Cyanobacteria	Cyanophyceae	Chroococcales	<i>Chroococcus</i>	85%
Cyanobacteria	Cyanophyceae	Nostocales	<i>Dolichospermum</i>	1,70%
Cryptophyta	Cryptophyceae		<i>Cryptomona</i>	100%

Tabla 39. Clasificación taxonómica actualizada de fitoplancton (www.algaebase.org), temporada pre lluvias altiplánicas (Noviembre, 2014) y porcentaje (%) de abundancia de géneros según clase.

Phylum	Clase	Orden	Género	% género por clase
Ochrophyta	Bacillariophyceae	Achnanthes	<i>Achnantheidium</i>	16%
Ochrophyta	Bacillariophyceae	Thalassiosiphysales	<i>Amphora</i>	3%
Ochrophyta	Bacillariophyceae	Surirellales	<i>Campylodiscus</i>	1%
Ochrophyta	Bacillariophyceae	Achnanthes	<i>Cocconeis</i>	7%
Ochrophyta	Bacillariophyceae	Cymbellales	<i>Cymbella</i>	5%
Ochrophyta	Bacillariophyceae	Bacillariales	<i>Denticula</i>	43%
Ochrophyta	Bacillariophyceae	Naviculales	<i>Diploneis</i>	2%
Ochrophyta	Bacillariophyceae	Rhopalodiales	<i>Epithemia</i>	2%
Ochrophyta	Bacillariophyceae	Cymbellales	<i>Gomphonema</i>	3%
Ochrophyta	Bacillariophyceae	Mastogloiales	<i>Mastogloia</i>	3%
Ochrophyta	Bacillariophyceae	Naviculales	<i>Navicula</i>	10%
Ochrophyta	Bacillariophyceae	Bacillariales	<i>Nitzschia</i>	3%
Ochrophyta	Bacillariophyceae	Surirellales	<i>Surirella</i>	2%
Ochrophyta	Coccinodiscophyceae	Thalassiosirales	<i>Cyclotella</i>	100%
Ochrophyta	Fragilariophyceae	Fragilariales	<i>Ulnaria</i>	100%
Chlorophyta	Chlorophyceae	Sphaeropleales	<i>Ankyra</i>	100%
Chlorophyta	Trebouxiophyceae	Trebouxiales	<i>Botryococcus</i>	100%
Charophyta	Conjugatophyceae	Zygnematales	<i>Spirogyra</i>	40%
Charophyta	Conjugatophyceae	Zygnematales	<i>Zygnema</i>	60%
Cyanobacteria	Cyanophyceae	Nostocales	<i>Anabaena colonia</i>	0,80%
Cyanobacteria	Cyanophyceae	Synechococcales	<i>Aphanocapsa</i>	1%
Cyanobacteria	Cyanophyceae	Chroococcales	<i>Aphanothece</i>	0,80%
Cyanobacteria	Cyanophyceae	Chroococcales	<i>Chroococcus</i>	96%
Cyanobacteria	Cyanophyceae	Nostocales	<i>Nostoc</i>	0,30%
Cyanobacteria	Cyanophyceae	Synechococcales	<i>Merismopedia</i>	0,70%

Tabla 40. Clasificación taxonómica de organismos zooplanctónicos. Temporada post-lluvias altiplánicas (Mayo 2014).

Phylum	subphylum	Clase	subclase	Orden	Género	Especie	% de género por taxa
Arthropoda	Crustacea	Maxillopoda	Copepoda	Calanoida	-	<i>Calanoida sp.</i>	
Arthropoda	Crustacea	Maxillopoda	Copepoda	Cyclopoida	Diacyclops	<i>Diacyclops andinus</i>	32%
Arthropoda	Crustacea	Maxillopoda	Copepoda	Harpacticoida	-	<i>Harpacticoida sp.</i>	
Arthropoda	Crustacea	Ostracoda	-	-	-	<i>Ostrácodo sp.</i>	70,10%
Rotifera		Eurotatoria	Monogononta	Ploima	Euchlanis	<i>Euchlanis sp.</i>	0,70%
Rotifera		Eurotatoria	Monogononta	-	Trichotria aff.	<i>Trichotria aff.</i>	1,40%
Arthropoda	Crustacea	Branchiopoda	-	Diplostraca	Alona	<i>Alona guttata</i>	0,90%
Arthropoda	Crustacea	Branchiopoda	-	Diplostraca	Alona	<i>Alona pulchella</i>	8,40%
Arthropoda	Crustacea	Branchiopoda	-	Diplostraca	Alonella	<i>Alonella sp.</i>	0,43%

Tabla 41. Clasificación taxonómica de organismos zooplanctónicos. Temporada pre-lluvias altiplánicas (Noviembre 2014).

Phylum	subphylum	Clase	subclase	Orden	género	Especie	% de género por taxa
Arthropoda	Crustacea	Maxillopoda	Copepoda	Cyclopoida	Diacyclops	<i>Diacyclops andinus</i>	38%
Arthropoda	Crustacea	Maxillopoda	Copepoda	Harpacticoida	-	<i>Harpacticoida sp.</i>	
Arthropoda	Crustacea	Ostracoda	-	Podocopida	Cypridido	<i>Ostrácoda sp.</i>	56%
Rotifera		Eurotatoria	Monogononta	Ploima	Euchlanis	<i>Euchlanis sp.</i>	5%
Rotifera		Eurotatoria	Monogononta	Ploima	Trichotria aff.	<i>Trichotria aff.</i>	10%
Arthropoda	Crustacea	Branchiopoda	-	Diplostraca	Alona	<i>Alona pulchella</i>	0,12%
Arthropoda	Crustacea	Branchiopoda	-	Diplostraca	Alonella	<i>Alonella sp.</i>	7,60%
Arthropoda	Crustacea	Branchiopoda	-	Diplostraca	Daphnia	<i>Daphnia pulex</i>	0,13%
Arthropoda	Crustacea	Branchiopoda	-	Diplostraca	Pleuroxus	<i>Pleuroxus aduncus</i>	0,24%

6.4 Anexo Análisis discriminante lineal.

Tabla 42. Resultados LDA. Coef. de discriminante lineal y proporción del indicador.

Variables	Coeficientes Discriminante Lineal		Proporción del indicador	
	LD1	LD2	LD1	LD2
Conduc	-109,445245	-9,64222258	0,9827	0,0173
pH	14,3651382	-42,3805327		
T	-1,39368309	0,499001165		
Sald	21,2116226	-25,5584287		
OD	-0,81655643	2,729219077		
Ca ²⁺	-0,76310013	-0,09988814		
Mg ²⁺	2,93937717	-0,79162989		
Na ⁺	0,26462119	-0,00725011		
Cl _s	-0,02290231	-0,02951807		
Dureza	0,38620539	0,213555034		
CO ₃ ²⁻	-0,91966072	0,413393558		
SO ₄ ²⁻	-0,67053457	-0,29620329		
Si	-0,43184793	-0,36014537		
NO ₃ ⁻	0,85318398	-0,32296415		

6.5 Vectorización variables químicas

Tabla 43. Valores del Escalamiento multidimensional global utilizando monoMDS. Con un valor de estrés de 0,2594, resultando un escalamiento positivo. N es el orden en que se tomaron los puntos en el escalamiento y MDS1 el escalamiento unidimensional.

N	Puntos	MDS1
1	1.1 post lluvia	-0,03115931
2	1.2 post lluvia	-0,03107848
3	1.3 post lluvia	-0,03107848
4	2.1 post lluvia	-0,02598035
5	2.2 post lluvia	-0,02548556
6	2.3 post lluvia	-0,02548556
7	3.1 post lluvia	-0,00966776
8	3.2 post lluvia	-0,01052214
9	3.3 post lluvia	-0,01052223
10	4.1 post lluvia	-0,01009396
11	4.2 post lluvia	-0,0052457
12	4.3 post lluvia	-0,0052457
13	5.1 post lluvia	0,00632566
14	5.2 post lluvia	0,00389343
15	5.3 post lluvia	0,00389343
16	1.1 pre lluvia	-0,04216421
17	1.2 pre lluvia	-0,04230589
18	1.3 pre lluvia	-0,04230589
19	2.1 pre lluvia	-0,01970384
20	2.2 pre lluvia	-0,0180375
21	2.3 pre lluvia	-0,01803753
22	3.1 pre lluvia	0,06305501
23	3.2 pre lluvia	0,06217518
24	3.3 pre lluvia	0,06113811
25	4.1 pre lluvia	0,05364447
26	4.2 pre lluvia	0,05468953
27	4.3 pre lluvia	0,05409042
28	5.1 pre lluvia	0,01404201
29	5.2 pre lluvia	0,01358645
30	5.3 pre lluvia	0,01358642

Anexo 6.6 Fotografías de la biota acuática encontrada.

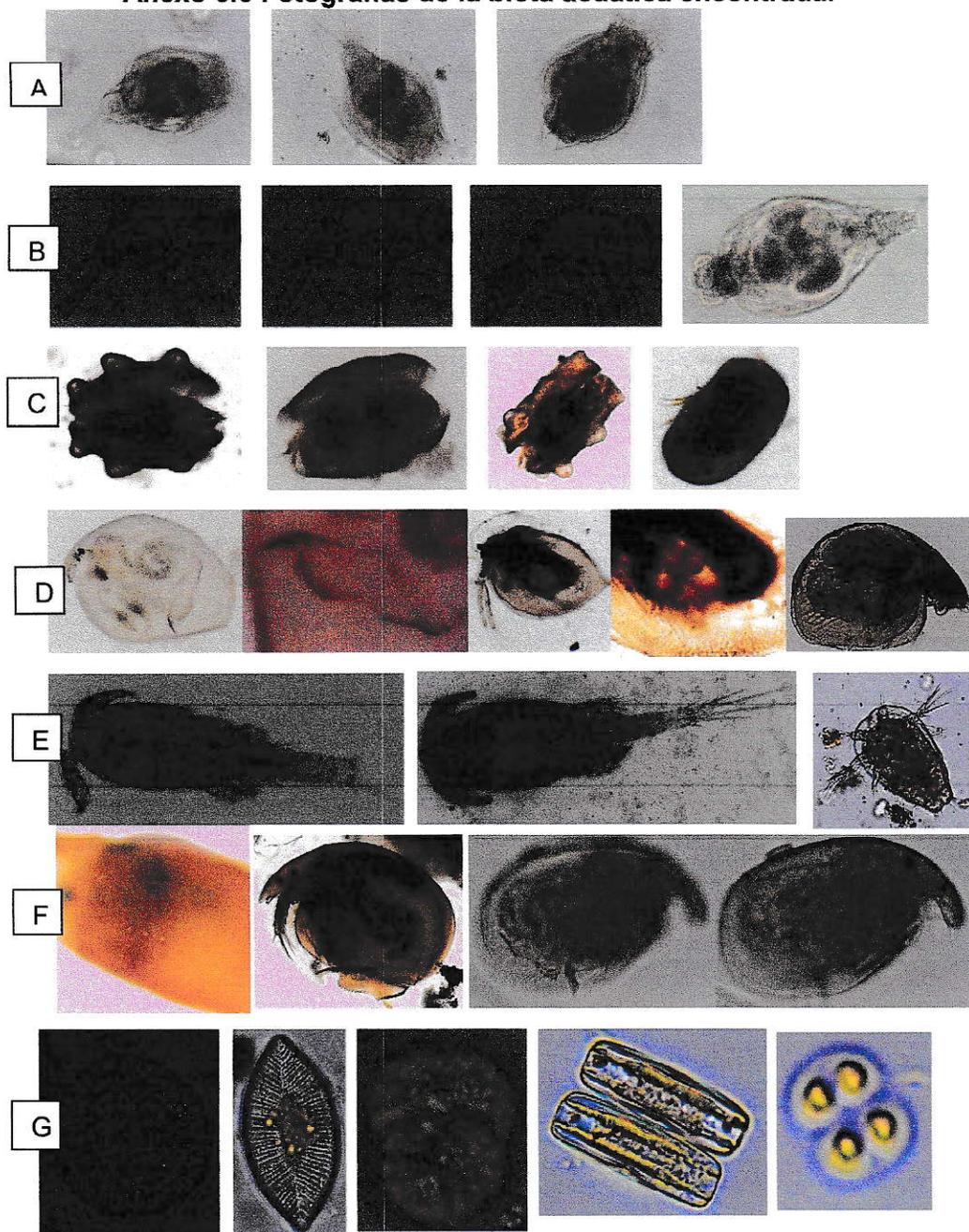


Figura 23. Fila A: Rotífero *euchlanis* sp., Fila B: Rotífero *Trichotria* aff., Fila C: Ostrácodos, Fila D: *pleuruxus aduncus*, garra *pleuruxus aduncus*, *Daphnia*, Garra *Daphnia*, *Alonella*, Fila E: Copépodo *diacicllops* 5ta pata, *diacicllops*, Nauplius, Fila F: poro respiratorio de *alona pulchella*, *alona pulchella*, garra *alona guttata*, *alona guttata*, Fila G: *Campilodiscus*, *Surirella* aff., *Botryococcus*, *Achnanthidium*, *Chroococcus*.

Anexo 6.7.1 BOXPLOT de las variables ambientales (físico-química del agua) significativamente distintas en el ANOVA por temporada y zona.

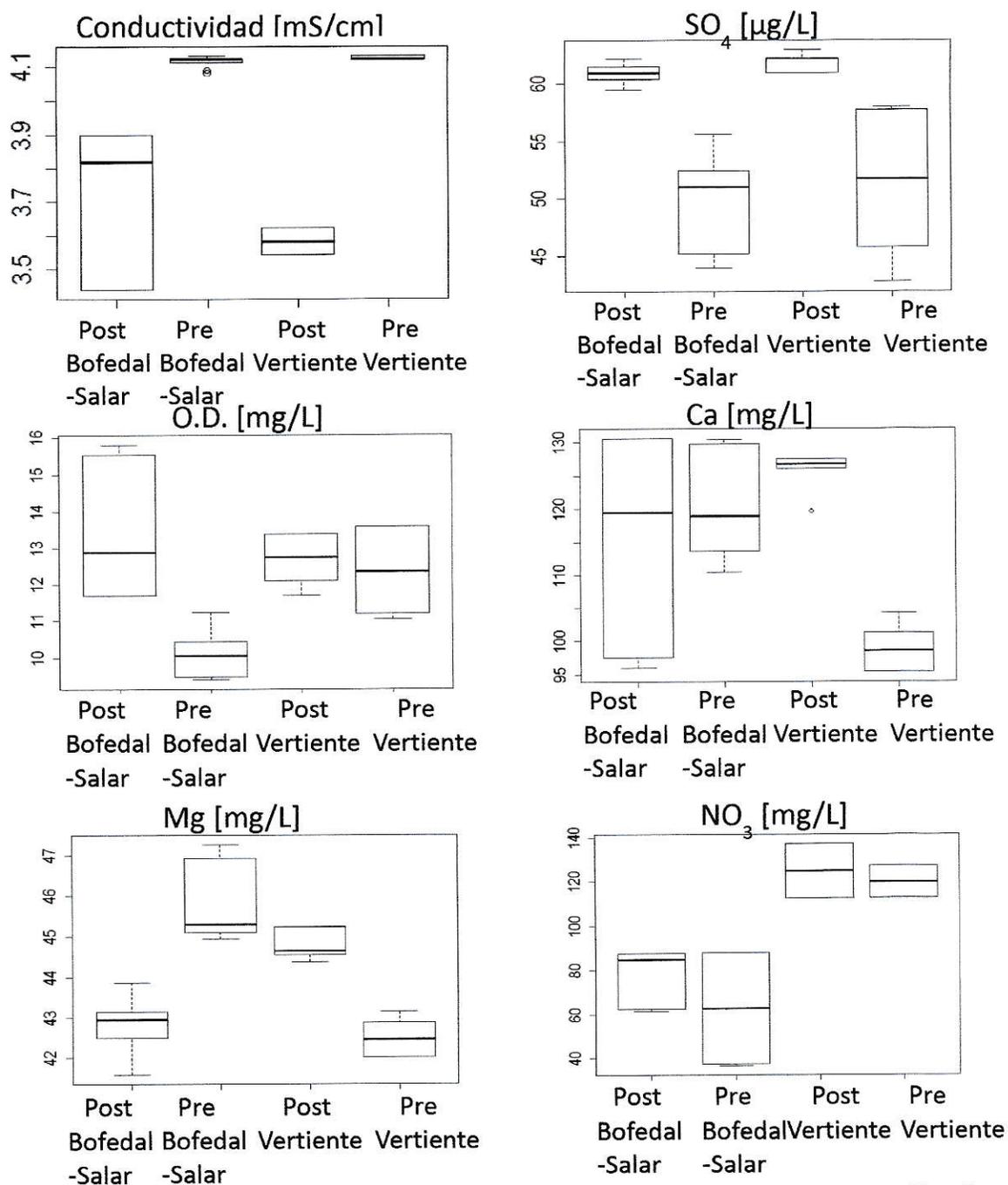


Figura 24. Diagrama de cajas de conductividad eléctrica, sulfato, oxígeno disuelto, calcio y magnesio, considerando temporada y zona de muestreo.

Anexo 6.7.2 BOXPLOT de las variables dependientes, Biota acuática (fitoplancton y zooplancton) que resultaron significativamente distintos en el ANOVA por temporada y por zona.

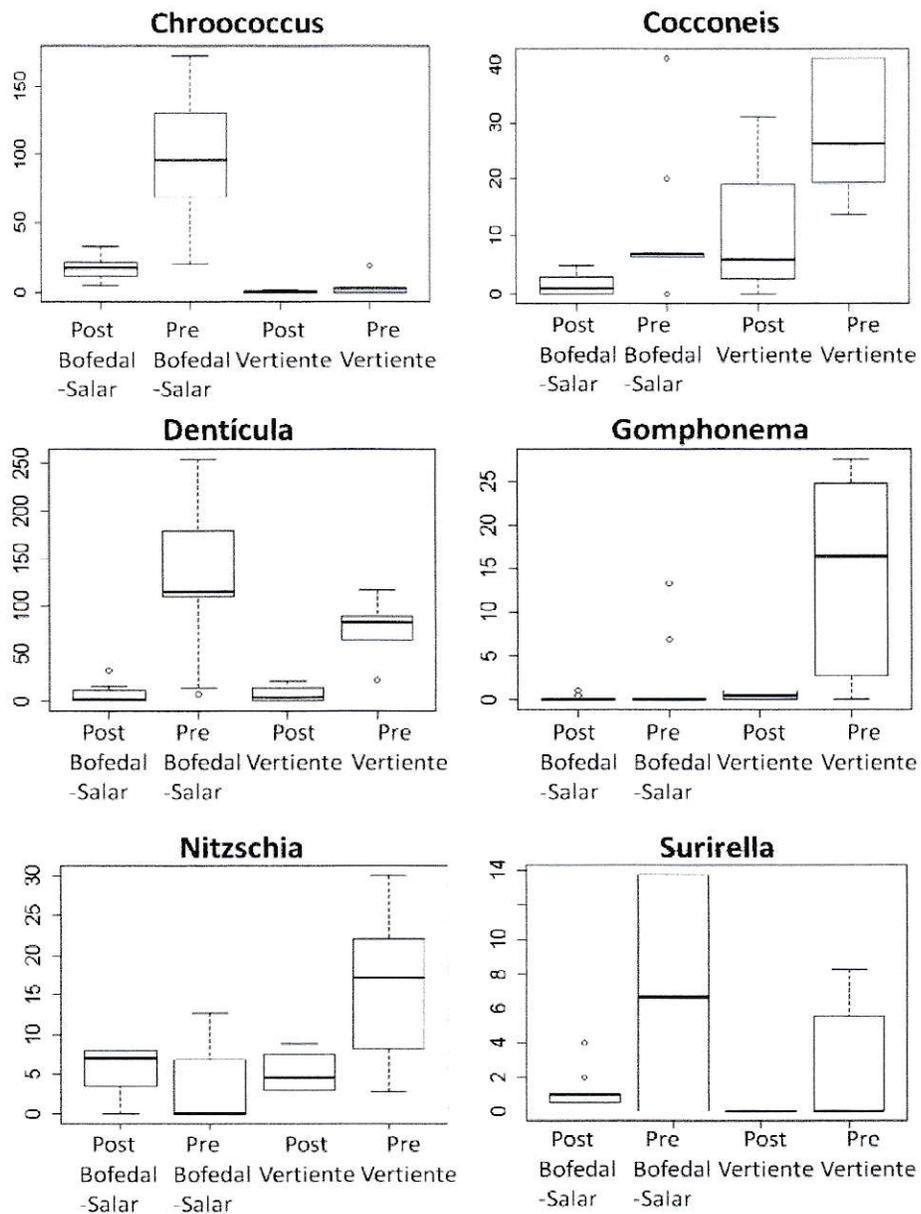


Figura 25. Diagrama de cajas de *Chroococcus*, *Cocconeis*, *Denticula*, *Gomphonema*, *Nitzschia* y *Surirella*. Considerando temporada previa o posterior a las lluvias y las zonas de vertiente y bofedal-salar (Organismos/mL).

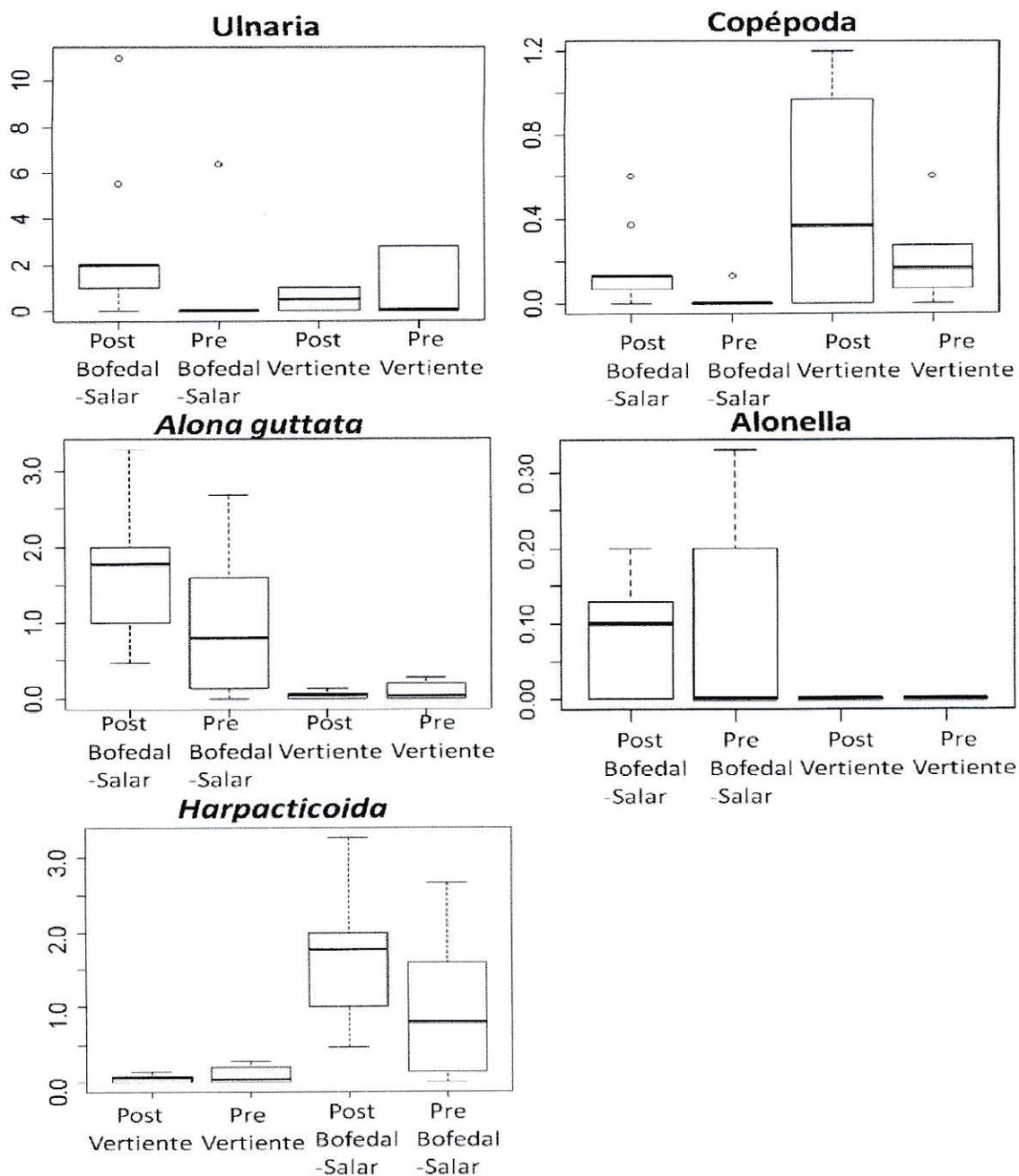


Figura 26. Diagrama de cajas de *Ulnaria*, Copépoda, Harpacticoida, *Alona guttata* y *Alonella*. Considerando temporada previa o posterior a las lluvias y las zonas de vertiente y bofedal-salar. (Organismos/mL para fitoplancton y organismos/15L para zooplancton).

Anexo 6.8 Diagramas de ANCOVA de las variables dependientes (Biota acuática: fitoplancton y zooplancton).

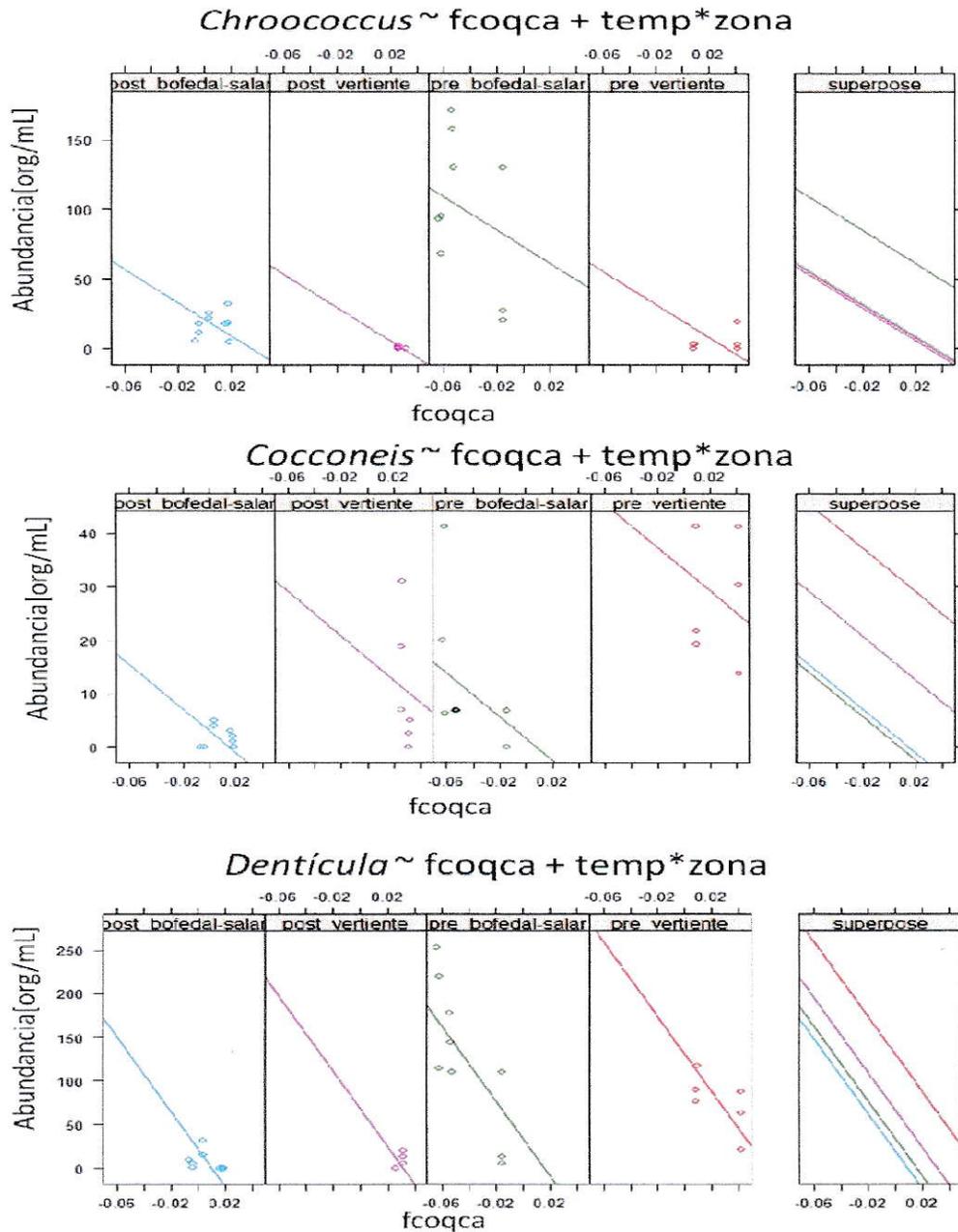


Figura 27. Diagramas de ANCOVA para *Chroococcus*, *Cocconeis*, *Denticula*. Considerando temporada previa o posterior a las lluvias y las zonas de vertiente y bofedal-salar y como covariable la físico química del agua representativa.

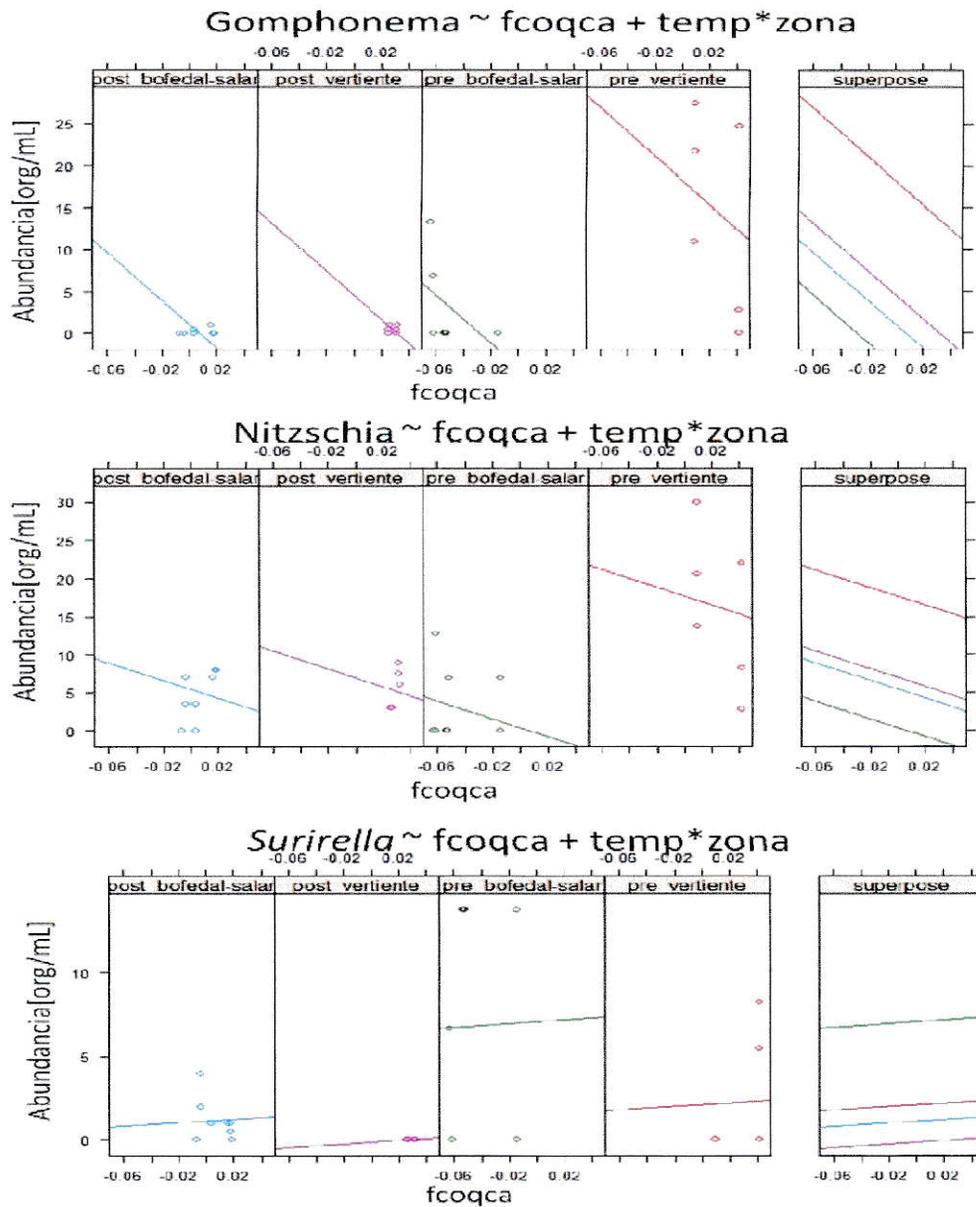


Figura 28. Diagramas de ANCOVA para *Gomphonema*, *Nitzschia* y *Surirella*. Considerando temporada previa o posterior a las lluvias y las zonas de vertiente y bofedal-salar y como covariable la físico química del agua representativa.

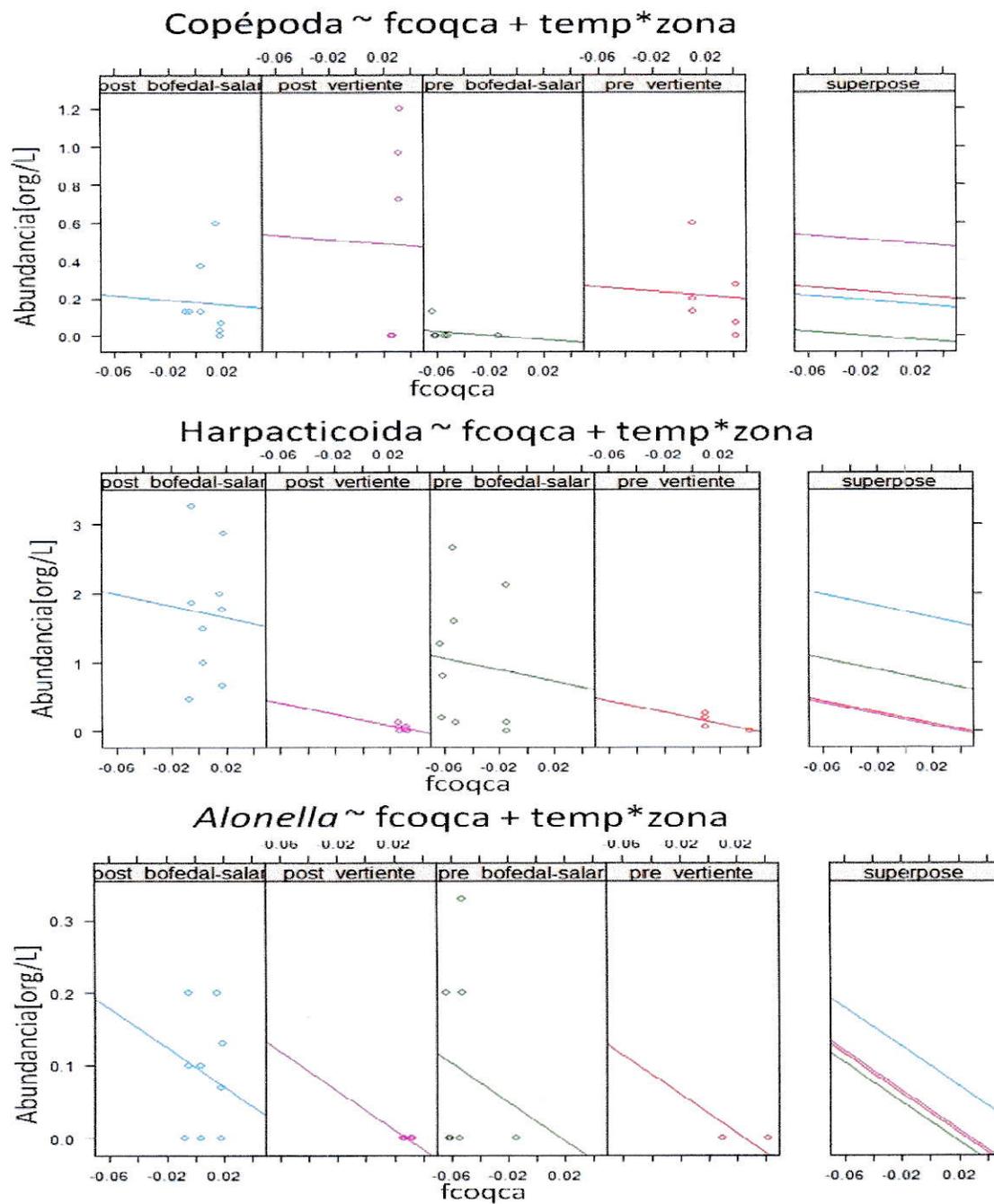


Figura 29. Diagramas de ANCOVA para Copépoda, Harpacticoida y *Alonella*. Considerando temporada previa o posterior a las lluvias y las zonas de vertiente y bofedal-salar y como covariable la físico química del agua representativa.