



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SUR

TESIS DE DOCTOR EN GEOLOGÍA

**EVOLUCIÓN GEOLÓGICA,
GEOMORFOLÓGICA Y LIMNOLÓGICA DE
LAGUNAS PAMPEANAS EN EL SUROESTE
BONAERENSE**

Carina Seitz

BAHÍA BLANCA

ARGENTINA

2018

PREFACIO

Esta Tesis se presenta como parte de los requisitos para optar al grado Académico de Doctor en Geología, de la Universidad Nacional del Sur y no ha sido presentada previamente para la obtención de otro título en esta Universidad u otra. La misma contiene los resultados obtenidos en investigaciones llevadas a cabo en el ámbito del Departamento de Geología durante el período comprendido entre el 20 de Agosto de 2013 y el 25 de Octubre de 2018, bajo la dirección de Dr. Gerardo M. E. Perillo, Investigador Superior del CONICET y Profesor Titular del Departamento de Geología de la Universidad Nacional del Sur y la codirección de la Dra. María Isabel Vélez Caicedo, Profesor Asociado de Geología de la Universidad de Regina, Saskatchewan, Canadá.



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SUR
Secretaría General de Posgrado y Educación Continua

La presente tesis ha sido aprobada el 18/03/2019, mereciendo
la calificación de 10 (Sobresaliente)

"La ciencia no es solo una disciplina de razón, sino también de romance y pasión". Stephen Hawking.

Dedicada a mis sobrinos

AGRADECIMIENTOS

Deseo expresar mi agradecimiento a las personas que hicieron posible el desarrollo de esta tesis. En particular agradecer a mis directores, la Dra. María I. Vélez y el Dr. Gerardo Perillo por su dedicación, paciencia, criterio y aliento. A la Universidad Nacional del Sur en particular al Departamento de Geología por brindarme el marco institucional y apoyo en mi formación. Al Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) por el marco institucional y el financiamiento económico mediante la beca de doctorado. En especial al Instituto Argentino de Oceanografía (IADO) por brindarme el lugar de trabajo y equipamiento necesario para desarrollar esta tesis.

Al Dr. Gerardo Perillo y la Dra. Cintia Piccolo por darme la posibilidad de formar parte de este grupo de investigación. A los proyectos que financiaron estos trabajos SAFER, PAMPA 2, Estudio Integrado de Lagunas pampeanas (PGI-24/G072).

Quisiera además agradecer a la sociedad de fomento de la villa La Salada, en especial a las Sras. M. Onorato, Rosemary Scoffield y los Sres. Barragán y Heitz. Al personal de la laguna Sauce Grande y Miguel Vilas. Al personal de la comisión del club de pesca de Saavedra de la laguna Los Chilenos. A la Dirección de turismo de la municipalidad de Puan y en particular a Chiqui y Ricardo. Todos ellos brindaron apoyo y buena disposición para facilitar las tareas de campo.

También agradecer a las instituciones que colaboraron para la realización de esta investigación: Inter-American Institute for Global Change Research (IAI) CRN3038, con el apoyo de US National Science Foundation (Grant GEO-1128040), Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Corporación de Fomento del Valle Bonaerense del *Río Colorado* (CORFO) e Instituto Geográfico Nacional (IGN).

Al personal técnico, administrativo, becarios e investigadores del IADO. Al Dr. Alejandro Vítale por su compañerismo y apoyo tecnológico para el desarrollo de la tesis. Al Dr. Walter Melo por sus consejos y los conocimientos brindados. A Facundo, mi compañero en la vida y en la ciencia, por su paciencia, apoyo en las tareas de campo y motivación constante. A Ernesto, Martín, Ricardo y 'El Tala' por su apoyo en la construcción del equipamiento, en especial por su compromiso y apoyo constante para que lográramos diseñar el equipamiento. A Ernesto por haberme ayudado en los primeros pasos, por todo el apoyo brindado y por los inolvidables paseos a los "shoppings" de chatarrerías. A Ana Laura por haber compartido su oficina y microscopio, por sus aportes con material y discusión para esta tesis. A Jose Zunino, Pau Zapperi, Jorge Gentili y Vero Gil por su ayuda y guía desinteresada. A mis compañeros de oficina, de la cátedra de Geología General B y Geología Marina y a mis amigos gracias por el aliento, apoyo y compañerismo.

A mi familia, en particular a mis padres, por motivarme a ser siempre un poquito mejor, por entender mis tiempos, respetarme y alentarme permanentemente a perseguir lo que quiero.

RESUMEN

La región pampeana es un área de gran importancia para el desarrollo económico del país cuya productividad está estrechamente ligada a las variaciones climáticas. Cuenta con numerosas lagunas que brindan servicios ecosistémicos a la región lo que hace necesaria su conservación y buen manejo. A pesar de su importancia, se conoce muy poco sobre el origen y evolución de estas lagunas. Por sus características morfológicas, estas lagunas son sensibles a los cambios climáticos, en particular la zona árida-semiárida. La hipótesis general de la presente tesis es que la evolución de las lagunas pampeanas a lo largo del gradiente de humedad en una zona de transición de clima árido a semiárido ha sido influenciada por su origen, pero modificadas por el clima y las actividades antrópicas. En base a ello se plantea determinar cuáles han sido los principales factores geológicos, geomorfológicos y limnológicos que han formado y modificado las lagunas pampeanas a lo largo de un gradiente de humedad. Se estudiaron cuatro lagunas y sus cuencas ubicadas al suroeste de la provincia de Buenos Aires entre 37°33'2.60" y 39°27'41.45" S y los 61°22'35.36" y 62°47'24.65" O. Estas lagunas son Puan, Los Chilenos, Sauce Grande y La Salada. Los resultados indican que las lagunas de Puan y La Salada se formaron por deflación eólica. Los Chilenos por actividad tectónico-fluvial y la laguna Sauce Grande por actividad fluvio-eólica. Todas las lagunas se originaron durante el Holoceno medio a tardío, a excepción de Puan que ocurrió en el Pleistoceno tardío. La evolución de las lagunas fue similar. Inicialmente fueron poco profundas, temporarias de aguas claras, que más tarde evolucionan a permanentes de aguas turbias. Los estudios paleolimnológicos señalan que en Sauce Grande y Los Chilenos los principales factores de estrés son el estado trófico, la salinidad y el nivel de agua. Las variaciones de nivel y salinidad en respuesta a la relación precipitación-evaporación son menos intensas que en las cuencas endorreicas y de menor extensión reflejando que las variaciones climáticas son atenuadas por las características de su origen. Ambas mostraron influencia antrópica con incremento del estado trófico condicionado por su origen, dada su mayor cuenca de drenaje. En las lagunas de Puan y La Salada los factores de estrés fueron el nivel de agua y salinidad, determinados por su origen y escasa área de drenaje, siendo los ingresos y egresos regulados por la precipitación y evaporación. En La Salada y Puan no se registraron factores de estrés antrópicos a pesar de tener poblaciones permanentes en sus costas y que la ocupación del territorio data de ca. 3000 años AP, posiblemente este asociado con una cuenca de drenaje pequeña y escaso escurrimiento superficial. Los registros de las lagunas estudiadas reflejan los cambios climáticos ocurridos en la región pampeana desde el Pleistoceno tardío hasta el presente indicando variaciones en el gradiente de humedad que coinciden con lo registrado en la región pampeana.

ABSTRACT

The Pampean region is an area of great importance for the economic development of the country, whose productivity is closely linked to climatic variations. It has many shallow lakes that provide ecosystem services to the region that require good conservation conditions and significant management. Despite their importance, very little is known about the origin and evolution of these lakes. Due to their morphological characteristics, the shallow lakes are sensitive to climatic changes, particularly in the arid-semiarid zone. The general hypothesis of the present thesis is that the evolution of the Pampean shallow lakes along the moisture gradient in a transition area, from the arid to the semi-arid climate, has been influenced by their origin, but modified by the climate and anthropic activities. Based on this, it is proposed to determine which were the main geological, geomorphological and limnological factors that formed and changed the Pampean shallow lakes along a moisture gradient. Four shallow lakes and their basins located southwest of the Buenos Aires Province are studied between 37°33'2.60" and 39°27'41.45" S and 61°22'35.36" and 62°47'24.65" W. These lakes are Puan, Los Chilenos, Sauce Grande and La Salada. The results indicate that Puan and La Salada were formed by aeolian deflation. Los Chilenos by tectonic-fluvial activity and Sauce Grande by fluvial-eolian processes. All the shallow lakes originated during the Middle to Late Holocene, with the exception of Puan that occurred in the Upper Pleistocene. The evolution of the shallow lakes was similar; they were initially very shallow, temporary clear waters, which later evolved into permanent turbid waters. Paleolimnological studies indicate that in Sauce Grande and Los Chilenos the main stress factors are the trophic state, salinity and water level. The variations in water level and salinity as a response to the precipitation-evaporation relationship are less intense than in the endorheic and smaller extent basins, which reflect that the characteristics of their origin attenuate the climatic variations. Both show anthropic influence with a high trophic state, which indicated a level of conditioning by its origin because of a greater drainage basin. In Puan and La Salada, the stress factors were the water level and salinity, determined by their origin and reduced drainage area, with water input and output regulated by precipitation and evaporation. In La Salada and Puan no anthropic stress factors were recorded, even though they have permanent populations on their coasts and that the occupation of the territory dates from ca. 3000 years BP, possibly this is associated with the fact that these shallow lakes present small drainage basin and scarce surface runoff. The shallow lakes studied here show that the climatic changes occurred in the Pampean region since the Pleistocene to the present are related to the changes in the moisture gradient. These changes are coincident with those recorded in the Pampean region.

INDICE

PREFACIO	3
AGRADECIMIENTOS	7
RESUMEN	9
ABSTRACT	10
INDICE	11
CAPITULO I	23
MARCO CONCEPTUAL Y CARACTERIZACIÓN GENERAL DEL ÁREA DE ESTUDIO	23
INTRODUCCIÓN	23
LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	29
CLIMA	32
CAPITULO II	37
MATERIALES Y METODOS	37
GABINETE INICIAL.....	37
Recopilación de antecedentes cartográficos	37
Planificación de la derrota batimétrica	37
TRABAJO DE CAMPO.....	38
Levantamiento geomorfológico.....	38
Levantamiento batimétrico.....	39
Extracción de testigos	39
TRABAJO DE LABORATORIO	42
Apertura y captura de imágenes.....	42
Granulometría de sedimento	43
Diatomeas y fitolitos	43
Cronología.....	44
TRABAJO DE GABINETE	44
Cartografía geomorfológica	44

Estratigrafía y sedimentología.....	44
Tratamiento de datos y cartografía batimétrica	45
Hidrología y limnología.....	50
Determinación, recuento, análisis de diatomeas y fitolitos y agrupación de gremios ecológicos.....	51
Calibración de dataciones y construcción del modelo de edad-profundidad..	53
Análisis estadísticos.....	53
CAPITULO III.....	55
HIDROLOGÍA, LIMNOLOGÍA, Y MORFOMETRÍA DE LAS LAGUNAS ESTUDIADAS.	55
HIDROLOGÍA Y LIMNOLOGÍA	56
BATIMETRÍA Y MORFOMETRÍA	60
VARIACIÓN EN LA SUPERFICIE DE LAS LAGUNAS EN PERÍODOS DE SEQUÍA Y HUMEDAD BASADOS EN EL SPEI	68
DISCUSIÓN.....	72
CAPITULO IV	77
GEOLOGIA Y GEOMORFOLOGIA	77
GEOLOGIA REGIONAL	77
GEOMORFOLOGIA REGIONAL	85
GEOLOGIA Y GEOMORFOLOGIA LOCAL	87
Puan	87
Los Chilenos	91
Sauce Grande.....	99
La Salada.....	100
CAPITULO V	107
PALEOLIMNOLOGIA	107
LAGUNA PUAN	108
Ubicación Geográfica.....	108
Descripción estratigráfica y sedimentológica.....	108
Cronología	110
Identificación e interpretación de Diatomeas.....	111

Clasificación de las diatomeas de acuerdo al gremio ecológico	113
Identificación e interpretación de Fitolitos, relación Diatomeas/Fitolitos.....	113
Análisis Estadísticos.....	116
Interpretación paleoambiental	119
LAGUNA LOS CHILENOS	125
Ubicación Geográfica	125
Descripción estratigráfica y sedimentológica	125
Cronología.....	127
Identificación e interpretación de Diatomeas	128
Clasificación de las diatomeas de acuerdo al gremio ecológico	130
Identificación e interpretación de Fitolitos, relación Diatomeas/ Fitolitos.....	132
Análisis Estadísticos.....	133
Interpretación paleoambiental	135
LAGUNA SAUCE GRANDE	141
Ubicación Geográfica	141
Descripción estratigráfica y sedimentológica	141
Cronología.....	143
Identificación e interpretación de Diatomeas	144
Clasificación de las diatomeas de acuerdo al gremio ecológico	147
Identificación e interpretación de Fitolitos y Relación Diatomeas/ Fitolitos...	147
Análisis Estadísticos.....	148
Interpretación paleoambiental	150
LAGUNA LA SALADA	156
Ubicación Geográfica	156
Descripción Estratigráfica y Sedimentológica	156
Cronología.....	158
Identificación e interpretación de Diatomeas	160
Clasificación de las diatomeas de acuerdo al gremio ecológico	163
Identificación e interpretación de Fitolitos y Relación Diatomeas/ Fitolitos,..	163

Análisis Estadísticos	165
Interpretación paleoambiental	168
CAPITULO VI	175
ORIGEN Y EVOLUCIÓN DE LAS LAGUNAS Y SU RELACIÓN CON LOS EVENTOS CLIMÁTICOS REGIONALES Y EL GRADIENTE DE HUMEDAD	175
SÍNTESIS DEL ORIGEN Y EVOLUCIÓN HIDROLÓGICA Y ECOLÓGICA DE LAS LAGUNAS	175
Origen y evolución de la laguna de Puan	175
Origen y evolución de la laguna Los Chilenos	176
Origen y evolución de la laguna Sauce Grande	178
Origen y evolución de la laguna La Salada	178
EVOLUCION PALEOECOLÓGICA, FACTORES DE ESTRÉS Y SU RELACIÓN CON EL ORIGEN	179
INFERENCIAS CLIMÁTICAS EN BASE AL REGISTRO PALEO, SU RELACION CON EL GRADIENTE DE HUMEDAD Y LOS PRINCIPALES EVENTOS CLIMÁTICOS DEL PASADO	185
CAPITULO VII	197
CONCLUSIONES	197
BIBLIOGRAFIA	201
ANEXOS	235
ANEXO I: Ecología de las diatomeas y clasificación en base al gremio ecológico. ...	235
ANEXO II: Diagrama de distribución de diatomeas	245

INDICE DE FIGURAS

Figura I-1: Mapa de localización de la región pampeana con indicación de tipo de vegetación (basado en Tonello y Prieto, 2010) y localización del actual límite de la Región Árida Semiárida (RAS) y su variación durante el Holoceno (Basado en Mancini et al., 2005). En rojo se resalta la localización del área de estudio. 23

Figura I-2: a) Mapa de localización del área de estudio en la república Argentina (recuadro en rojo); b) Localización de las lagunas en el Suroeste de la provincia de Buenos Aires. Se

presentan fotografías de las lagunas c) Puan; d) Los Chilenos; e) Sauce Grande; f) La Salada.	31
Figura I-3: a) Gradientes de Precipitación (mm/ año); b) Temperatura (°C); c) Humedad relativa (%) y d) Velocidad del viento (km/h) en la region pampeana durante el período de 1960-2010 (modificado de Ferrelli y Aliaga 2015). Se localizan las regiones climáticas incluídas en el área de estudio, Templado Serrano de Ventania (5) y Semiárido (7), de acuerdo con Aliaga (2018).....	35
Figura II-1: Capturas de pantalla del programa Mission Planner durante la realizacion de la derrota en donde se muestran los parametros de navegaci3n y el seguimiento del Drone batimétrico en tiempo real (a) y la planificaci3n del recorrido (b).....	38
Figura II-2: Drone batimétrico.Construído en el IADO	39
Figura II-3: a) Muestreador tipo phleger; b) boca con punta afilada; c) Cabezal superior con válvula de retenci3n de vacío. Equipamiento desarrollado en el Centro Científico Tecnológico-Bahía Blanca (CCT-Bahía Blanca)	40
Figura II-4: Plataforma de muestreo desarrollada en el Centro Científico Tecnológico-Bahía Blanca (CCT-Bahía Blanca).....	41
Figura II-5: Equipamiento para el fotografiado del testigo. Diseñado en el IADO.	42
Figura II-6: Equipamiento para el registro de las imágenes de rayos X. a) Equipo de rayos X. b) Se observa equipo de rayos X, el habitáculoo con aislaci3n de plomo donde se dispone el testigo, la placa fluorescente y la cámara de fotos. Equipamiento disponible en el laboratorio de rayos X de la Unidad de Administraci3n Territorial Bahía Blanca (UAT)....	43
Figura II-7: a) Terminología y límites de clases para la determinaci3n de la forma de la curva hipsográficas; b) Representaci3n esquemática de la relaci3n entre la forma de la curva y la morfología de la cubeta (modificado de Hakánson, 1977).	48
Figura III-1: a) Localizaci3n de las cuencas hidrográficas de las lagunas bajo estudio; Se presentan además el detalle de las cuencas hidrográficas y colectores principales de las lagunas de b) Puan; c) Los Chilenos; d) Sauce Grande y e) La Salada.	57
Figura III-2: Batimetría de la laguna de a) Puan; b) Los Chilenos; c) Sauce Grande y d) La Salada.	61
Figura III-3: Curvas hipsográficas de las lagunas de a) Puan; b) Los Chilenos; c) Sauce Grande y d) La Salada.....	65
Figura III-4: Mapas de pendientes de las lagunas de a) Puan; b) Los Chilenos; c) Sauce Grande y d) La Salada.....	66

Figura III-5: Mapas de distribución de las zonas litorales y pelágicas de las lagunas de a) Puan; b) Los Chilenos; c) Sauce Grande y d) La Salada.....	67
Figura III-6: a) Tabla indicando la dirección y velocidad media de viento predominante en cada laguna, distancia máxima asociada a la dirección del viento más frecuente con cálculo de longitud de onda y profundidad crítica estimada para la velocidad promedio (elaborada en base a Alfonso, 2018; Zunino, 2018; Alfonso et al., 2018). b) Variación de la profundidad crítica y longitud de onda con el incremento del fetch para viento de 2.4 m/s; c) Variación de la profundidad crítica y longitud de onda con el incremento de la distancia para viento de 16 m/s.	68
Figura III-6: SPEI del sector de Puan/Los Chilenos a escala de 12 meses. Recuadrado en amarillo se representan los periodos extremadamente húmedo y seco seleccionados. ..	69
Figura III-7: Representación de la variación de la superficie de las lagunas en el periodo humedo (línea amarilla) y seco (línea roja) seleccionado. a) Puan; b) Sauce Grande; c) La Salada y d) Los Chilenos.....	70
Figura III-8: SPEI del sector de a) Sauce Grande y b) La Salada a escala de 12 meses. Recuadrado en amarillo se representan los períodos extremadamente húmedo y seco seleccionados.	71
Figura IV-1: Mapa de unidades morfoestructurales de la región con la localización del área de estudio (recuadro punteado en rojo). Las líneas punteadas se corresponden con los principales lineamientos de la región.....	79
Figura IV-2: Esquema cronoestratigráfico del área de estudio (Basada en modificaciones a los trabajos de Zavala (1993); Quattrocchio y Borromei (1998); Fidalgo et al. (1999); Rimoldi y Suriano (1999); Zavala y Quattrocchio (2001); Quattrocchio et al. (2008); Folguera y Zárate (2009); Etcheverría et al. (2009); Isla et al. (2010) y Seitz et al. (2019).	81
Figura IV-3: Mapa geomorfológico del área de la laguna Puan (Elaboración de la autora).....	88
Figura IV-4: Mapa geomorfológico del área de la laguna Los Chilenos (Elaboración de la autora).....	92
Figura IV-5: Mapa geomorfológico del área de la laguna Sauce Grande (Elaboración de la autora).....	97
Figura IV-6: Mapa geomorfológico del área de la laguna La Salada.....	101
Figura V-1: Batimetría de la laguna de Puan con localización del testigo extraído.	108
Figura V-2: Perfil litológico del testigo de Puan. Hacia la derecha se presentan las fotografías a color, las imágenes de rayos X, unidades sedimentarias definidas con las	

variaciones porcentuales de las fracciones de arena, limo y arcilla a lo largo del testigo.....	110
Figura V-3: Modelo de edad- profundidad testigo de Puan.	111
Figura V-4: Diagrama de distribución de diatomeas con análisis CONISS, zonación de diatomeas y distribución relativa de las diatomeas en base al habitat.....	115
Figura V-5: Diagrama de representación de la litología con las variaciones porcentuales de Fitólitos y diatomeas y representación porcentual de los cuatro gremios ecológicos (Planctónico, perfil alto, bajo y móvil).....	116
Figura V-6: Diagrama de ordenación NMDS de las muestras del testigo de Puan.	117
Figura V-7: Diagrama de ordenación NMDS de las variables del testigo de Puan. Las variables fueron discriminadas por colores de acuerdo a su hábitat. Se observan las agrupaciones de especies aerófilas y planctónicas. Los números se corresponden con los asignados en el Anexo I a cada una de las especies.	118
Figura V-8: Variaciones en el nivel de la laguna (NMDS2) y Salinidad (NMDS1) a lo largo del testigo (el segmento punteado esta inferido solo en base a granulometría y fitólitos, a excepción de los 105 y 135 cm que presentaron escasas diatomeas) y variación en la salinidad en base a la sumatoria de las preferencias salinas de las diatomeas en relación con la litología y las zonas de las diatomeas.	119
Figura V-9: Diagrama integrado de la laguna de Puan. En él se muestra ambientes sedimentarios, zonación de diatomeas, relación de fitólitos y diatomeas distribución de los gremios ecológicos (perfil alto, perfil bajo y móvil), variaciones en salinidad (MNDS1) y nivel de la laguna (NMDS2).	123
Figura V-10: Batimetría de la laguna de Los Chilenos con localización del testigo extraído.....	125
Figura V-11: Perfil litológico del testigo de Los Chilenos. Hacia la derecha se presentan las fotografías a color, las imágenes de rayos X, las unidades sedimentarias definidas y las variaciones porcentuales de las fracciones de grava, arena, limo y arcilla a lo largo del testigo.....	127
Figura V-12: Modelo de edad- profundidad testigo de Los Chilenos.	128
Figura V-13: Diagrama de distribución de diatomeas con análisis CONISS, zonación de diatomeas y distribución en base al habitat.....	131
Figura V-14: Diagrama de representación de la litología con las variaciones porcentuales de Fitólitos y diatomeas, relación entre diatomeas planctónicas y bentónicas y	

representación porcentual de los cuatro gremios ecológicos (Perfil alto, perfil bajo, móvil y planctónico).....	132
Figura V-15: Diagrama de variabilidad de las muestras en los ejes 1 y 2 del análisis de PCA del testigo de Los Chilenos	133
Figura V-16: Distribución de las variables en los ejes PCA1 y PCA2. Se puede observar el agrupamiento de las especies planctónicas y aerófilas, como así también la relación opuesta entre el GM y los GPA y GPB. Los números se corresponden con los asignados en el apéndice 1 a cada una de las especies.	134
Figura V-17: Variaciones en el estado trófico (PCA1), Nivel de la laguna (PCA2) y Salinidad (PCA3) a lo largo del testigo.....	135
Figura V-18: Diagrama integrado de la laguna Los Chilenos en el que se muestran ambientes sedimentarios, zonación de diatomeas, Relación diatomeas Planctónicas vs Bentónicas, distribución de los gremios ecológicos (perfil alto, perfil bajo y móvil), Estado trófico (PCA1), variaciones en nivel de la laguna (PCA2) y salinidad (PCA3).....	138
Figura V-19: Batimetría de la laguna Sauce Grande con localización del testigo extraído	141
Figura V-20: Perfil litológico del testigo de Sauce Grande. A la derecha se presentan las fotografías a color, las imágenes de rayos X, las unidades sedimentarias definidas y las variaciones porcentuales de las fracciones de arena, limo y arcilla a lo largo del testigo.	143
Figura V-21: Modelo de edad- profundidad testigo de Sauce Grande.	144
Figura V-22: Diagrama de distribución de diatomeas con análisis CONISS y zonación de diatomeas.....	146
Figura V-23: Diagrama de representación de la litología con las variaciones porcentuales de Fitolitos y diatomeas, relación entre diatomeas planctónicas y bentónicas y representación porcentual de los cuatro gremios ecológicos (Perfil alto, bajo, móvil y planctónico).....	147
Figura V-24: Diagrama de variabilidad de las muestras en los ejes 1 y 2 del análisis de PCA del testigo de Sauce Grande	148
Figura V-25: Distribución de las variables en los ejes PCA1 y PCA2.....	149
Figura V-26: Variaciones en el Nivel de la laguna (PCA1), estado trófico (PCA2) y Salinidad (PCA3) a lo largo del testigo. Distribución de salinidad en base a diatomeas.....	150

Figura V-27: Diagrama integrado de la laguna Sauce Grande. En él se muestra litología, Ambientes sedimentarios, zonación de diatomeas, Nivel del agua (PCA1), Estado trófico (PCA2), salinidad (PCA3) y Gremios ecológicos (GPA, GPB, GM y GP)	153
Figura V-28: Batimetría de la laguna de La Salada con localización del testigo extraído.....	156
Figura V-29: Perfil litológico del testigo de La Salada. De izquierda a la derecha se presentan las fotografías a color, las imágenes de rayos X, las unidades litológicas definidas y las variaciones porcentuales de las fracciones de arena, limo y arcilla a lo largo del testigo.	158
Figura V-30: Modelo de edad- profundidad testigo de La Salada.....	159
Figura V-31: Diagrama de distribución de diatomeas con análisis CONISS, zonación de diatomeas y diagrama de distribución en base al habitat	162
Figura V-32: Diagrama de representación de la litología con las variaciones porcentuales de fitolitos y diatomeas, relación entre diatomeas planctónicas y bentónicas, representación porcentual de los cuatro gremios ecológicos (Perfil alto, perfil bajo, móvil y planctónico) y variación en salinidad en base a diatomeas.....	164
Figura V-33: Diagrama de variabilidad de las muestras en los ejes 1 y 2 del análisis de NMDS del testigo de La Salada.	165
Figura V-34: Distribución de las variables en los ejes NMDS1 y NMDS2.....	166
Figura V-35: Variaciones en el Nivel de la laguna (NMDS1) y Salinidad (NMDS3) a lo largo del testigo.	167
Figura V-36: Diagrama integrado de la laguna de Puan. En él se muestra litología, Ambientes, zonación de diatomeas, variaciones en salinidad (MNDS1) y nivel de la laguna (NMDS2) y distribución de los gremios ecológicos (GPA, GPB, GM y GP)	172
Figura VI-1: Esquema síntesis de la evolución paleoambiental, paleoecológicas y variables físico-químicas de las lagunas de Puan, Los Chilenos, Sauce Grande y La Salada (ubicadas de acuerdo con el gradiente de humedad de mas húmedo (a la izquierda) a más árido (a la derecha) y su relación con los eventos climáticos regionales en base a Schäbitz (2003) y Zech et al. (2009). Período Calido Actual (PCA); PEH: Pequeña Edad de Hielo; ACM: Anomalía Climática Medieval.	177
Figura VI-2: Reconstrucción del nivel relativo de las lagunas de Puan, Los Chilenos, Sauce Grande y La Salada basada en los proxies analizados a través de análisis multivariados y su relación con los eventos climáticos regionales en base a Schäbitz (2003) y Zech et al.	

(2009). PCA: Período Cálido Actual; PEH: Pequeña Edad de Hielo; ACM: Anomalía Climática Medieval.	181
Figura VI-3: Reconstrucción de la Salinidad de las lagunas de Puan, Los Chilenos, Sauce Grande y La Salada basada en los proxies analizados a través de análisis multivariados y su relación con los eventos climáticos regionales en base a Schäbitz (2003) y Zech et al. (2009). PCA: Período Cálido Actual;; PEH: Pequeña Edad de Hielo; ACM: Anomalía Climática Medieval.	183
Figura VI- 5: Modelo esquemático de evolución de las lagunas pampeanas de acuerdo a la localización del gradiente de temperatura y humedad y al tipo y tamaño de la cuenca de drenaje.	195

INDICE DE TABLAS

Tabla II-1: Parámetros morfométricos estimados en base a Hakanson (2004) [1], Kerekes, (1977) [2], Ryding y Rast, (1992) [3] y Quirós et al. 2002 [4].	47
Tabla II-2: Sistema de clasificación para definir la forma de las curvas hipsográficas del lago los valores de Vd (modificado de Håkanson, 2004).	48
Tabla II-3: Formas establecidas por Hutchinson (1957) y Timms (1992).	49
Tabla II-4: Categorías de SPEI (tomado de Wang et al., 2015; Vicente-Serrano et al., 2010).	51
Tabla III-1: Resumen de las principales variables fisicoquímicas de las lagunas estudiadas.	58
Tabla III-2: Resultados de los parámetros morfométricos de tamaño, forma y especiales para las lagunas de Puan, Los Chilenos, Sauce Grande y La Salada.	64
Tabla III-3: Variación del área de las lagunas para los periodos húmedos y secos seleccionados.	69
Tabla IV-1: Resumen los principales eventos climáticos y ambiente en base a Zech et al. (2009) y Schäbitz (2003) en la región pampeana y direcciones de vientos de los principales eventos climáticos ocurridos desde el Pleistoceno basado en Iriondo (1999) y Iriondo et al. (2009) (1). Pp.: Precipitación.....	86
Tabla IV-2: Resumen de las unidades geomorfológicas del área de Puan.	89
Tabla IV-3: Resumen de las unidades geomorfológicas del área de Los Chilenos.	93
Tabla IV-4: Resumen de las unidades geomorfológicas del área de Sauce Grande.....	98

Tabla IV-5: Resumen de las unidades geomorfológicas del área de La Salada	103
Tabla V-1: Descripción de las unidades sedimentarias.	109
Tabla V-2: Detalle de las muestras de dataciones radiocarbónicas calibradas y sin calibrar.	111
Tabla V-3: Descripción de las unidades sedimentarias.	126
Tabla V-4: Detalle de las muestras de dataciones radiocarbónicas calibradas y sin calibrar.	128
Tabla V-5: Descripción de las unidades sedimentarias.	142
Tabla V-6: Detalle de las muestras de dataciones radiocarbónicas calibradas y sin calibrar.	144
Tabla V-7: Descripción de las unidades sedimentarias.	157
Tabla V-8: Detalle de las muestras de dataciones radiocarbónicas calibradas y sin calibrar.	159

CAPITULO I

MARCO CONCEPTUAL Y CARACTERIZACIÓN GENERAL DEL ÁREA DE ESTUDIO

INTRODUCCIÓN

La región pampeana es una amplia planicie localizada en el Centro-Este de Argentina que abarca desde los 33-41° de latitud Sur y 56-67° de longitud Oeste (Fig. I-1). Dicha región es una de las zonas económicas más importantes del territorio argentino ya que sus aptitudes climáticas y de suelo determinan una zona agrícola y ganadera por excelencia (Viglizzo *et al.*, 2001). Su importancia económica hace que sea intensamente estudiada fundamentalmente desde los aspectos que puedan afectar la riqueza de esta zona, entre ellos se encuentran las variaciones climáticas.

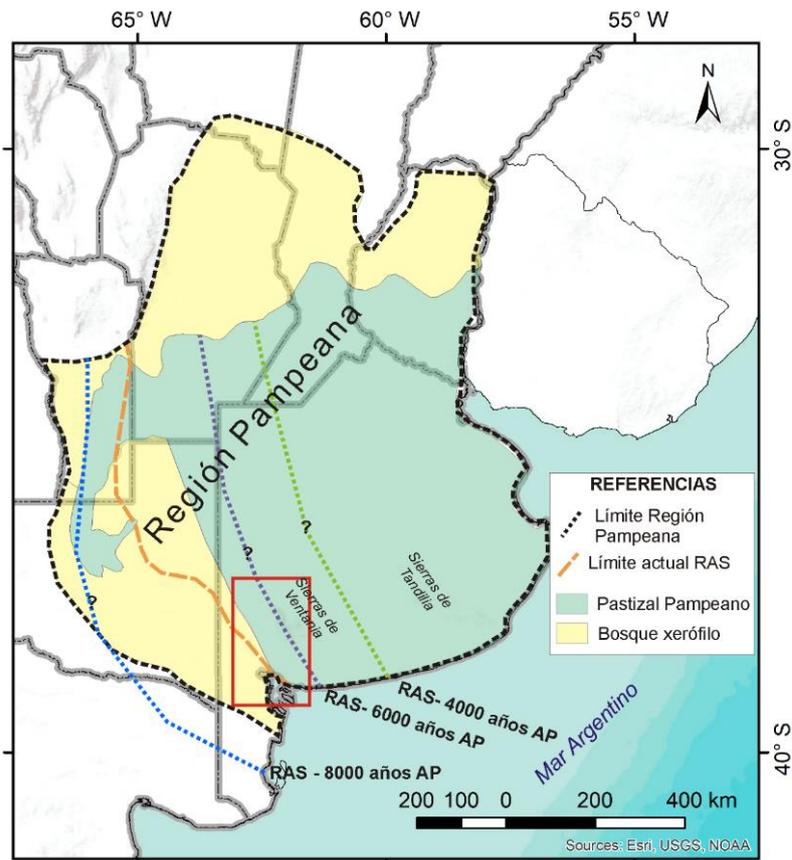


Figura I-1: Mapa de localización de la región pampeana con indicación de tipo de vegetación (basado en Tonello y Prieto, 2010) y localización del actual límite de la Región Árida Semiárida (RAS) y su variación durante el Holoceno (Basado en Mancini *et al.*, 2005). En rojo se resalta la localización del área de estudio.

La región Pampeana se encuentra dentro de la franja planetaria de climas templados, caracterizada por veranos e inviernos muy marcados y otoños y primaveras moderados. Sus características climáticas están determinadas en gran parte por la interacción de distintas masas de aire y el desplazamiento de los sistemas de alta presión subtropical (anticiclones semipermanentes del Atlántico y Pacífico Sur) (Campo de Ferreras et al., 2004). El avance o penetración de estas masas de aire no tiene un límite definido (Campos et al., 2009) sino que su influencia se extiende hasta la denominada Diagonal Árida Argentina (DA), estrecha franja en donde las precipitaciones caen por debajo de los 250 mm/año (Bruniard, 1982). La misma se extiende entre los 40-42° S desde la costa Atlántica hacia el flanco oriental de Los Andes extendiéndose luego hacia el Norte hasta los 27° S paralelo al frente andino (Mancini et al., 2005; Piovano et al., 2009) (Fig. I-2). La zona de influencia de las precipitaciones con origen Atlántico está restringida al Este y Norte de la Diagonal Árida (DA), mientras que al Sur y Oeste las precipitaciones se asocian al ingreso de humedad del Pacífico (Bruniard, 1982; Piovano et al., 2009). Las precipitaciones en la región a su vez son afectadas por fenómenos climáticos de escala planetaria como El Niño-Oscilación del Sur (ENOS) y la Oscilación Antártica (AAO) (Campos et al., 2009; Garreaud et al., 2009), en donde la influencia del ENOS se manifiesta como el modulador interdecenal más significativo en latitudes medias (Markgraf, 2000). La distribución de las precipitaciones en la región pampeana determina un marcado gradiente de precipitación de dirección Suroeste-Noreste incrementando al Noreste y un gradiente en el mismo sentido en la temperatura (Ferrelli y Aliaga, 2015). La existencia de este gradiente permite diferenciar varias regiones climáticas (Aliaga, 2018). El área objeto de estudio de esta tesis se localiza en el extremo Suroeste de la región pampeana que incluye una zona de clima húmedo y seco (Aliaga et al., 2016). Asociado a esa diferenciación climática el área de estudio presenta una transición entre vegetación de tipo pastizales bajo clima húmedo que pasa a un bosque xerófilo hacia el Sur y el Oeste (Tonello y Prieto, 2009) (Fig. I-1) siendo esta zona de ecotono muy sensible a los cambios paleoclimáticos (Quattrocchio et al., 2008).

Estudios desde distintas disciplinas, tales como análisis de macro y micro fósiles, geomorfológicos y geológicos, en la región pampeana han estado focalizados en reconstruir el clima de la región en el Cuaternario. Recopilaciones de estudios regionales muestran que el actual gradiente climático de orientación Suroeste-Noreste se ha mantenido desde el último avance glacial, excepto durante el Holoceno tardío (Iriondo y Garcia, 1993; Iriondo, 1999). A pesar de mantener la misma dirección, este gradiente ha sufrido desplazamientos latitudinales, producto de variaciones en intensidad en la circulación atmosférica y en el nivel del mar que también afectaron el clima y la vegetación

(Prieto, 1996). Reconstrucciones cuantitativas en base a polen realizadas por Tonello y Prieto (2010) establecen condiciones climáticas secas a semiáridas en el Pleistoceno tardío y subhúmedas a húmedas en la transición Pleistoceno-Holoceno y Holoceno temprano. Tonello y Prieto (2010) encuentran que las estimaciones cuantitativas, realizadas en ese trabajo, coinciden con las obtenidas previamente por otros autores (referencias incluidas en el mismo), salvo a partir de los 5000 años cal. Antes del Presente (AP), en donde las señales difieren, lo cual asocian a la distinta sensibilidad de los indicadores empleados. Durante los últimos ca. 5500 años cal. AP el gradiente Suroeste-Noreste de precipitación habría sido más pronunciado que en la actualidad (Tonello y Prieto, 2010).

Mancini et al. (2005) observaron desplazamientos de la Región Árida-Semiárida (RAS) (entre los 32-52° de latitud Sur) desde los 8000 a los 4000 años AP (Fig. I-1). Durante este período, la RAS sufrió un progresivo corrimiento de su extremo oriental hacia el Este en la región pampeana. Después, a partir de los 4000 años, se habría iniciado un período de transición hacia la posición actual. Estas variaciones fueron explicadas principalmente por cambios latitudinales de los anticiclones del Pacífico y el Atlántico y de los *vientos de los Oestes* (Mancini et al., 2005). Posterior al Holoceno medio se registraron comportamientos hidrológicos opuestos entre la región pampeana y la Patagonia (frío y húmedo vs frío y seco) asociado a una sincronización entre el fortalecimiento de los *vientos de los Oestes* y el debilitamiento de la circulación monzónica (Piovano et al., 2009). Al Este de la región pampeana se reconocen condiciones climáticas más secas que las actuales durante el Holoceno medio que perduran hasta ca. 2000 años cal. AP en donde se observa un aumento en la intensidad y/o duración de las precipitaciones que se efectiviza a los ca. 700-500 años cal. AP (Stutz et al., 2014).

Otra de las características que se destacan en la Región Pampeana Argentina es la presencia de un gran número de lagunas. Dangavs (2005) estimó alrededor de 10500 lagunas, aunque mediciones más precisas indican que hay 13824 lagunas mayores a 10 ha (Geraldí et al., 2011). En la provincia de Buenos Aires solamente hay entre 146000 y 200000 lagunas, entre 0,05 y 10 ha, la mayoría de ellas endorreicas y someras (Geraldí et al., 2011) las cuales han sido afectadas por la variabilidad climática en las últimas décadas (Quirós et al., 2002; 2005; Bohn et al., 2014, 2016). Estas lagunas son naturalmente eutróficas sin embargo modificaciones en el uso del suelo, resultado de un incremento en la intensidad agrícola, han producido un enriquecimiento de nutrientes en los últimos 100 años, dando lugar a lagunas turbias (Quirós et al., 2006). Las lagunas pampeanas responden directamente a la alta variabilidad anual e interanual de los factores climáticos, y su morfología hace que condiciones de extrema sequía o intensas precipitaciones provoquen cambios drásticos en su estructura y funcionamiento (Quirós et al., 2002).

Estudios realizados en varias lagunas de la región pampeana muestran que estas son sensibles a la variación en las precipitaciones en especial a eventos climáticos extremos como el ENOS (Geraldí, 2009; Bohn et al., 2016; Ferrelli et al., 2016), viéndose por tanto afectadas sus características físico-químicas y biológicas como resultados de períodos secos y húmedos en eventos temporales de escasa duración (variaciones diarias y estacionales) a prolongados en el tiempo (variaciones interanuales, decenal, etc.) (Hassan et al., 2013; Córdoba et al., 2014; Stutz et al., 2014; Alfonso, 2018; Zunino, 2018). El hecho de responder rápidamente a cambios en el clima y a los procesos que ocurren en su cuenca de drenaje, por influencia natural o antrópica, hace que puedan emplearse como centinelas de la variabilidad climática (Williamson et al., 2009). Las numerosas lagunas de la región pampeana constituyen un excelente archivo de los cambios ambientales del Holoceno (García-Rodríguez et al., 2009).

Entre los procesos que condicionan la evolución de las lagunas y sus características ecológicas se reconocen dos tipos. Aquellos que actúan por intervalos cortos de tiempo de manera impredecible y estocástica, a lo que se denomina *disturbancia* (Inundación, viento, etc.) (Reynolds et al., 1993). Por otro lado, se encuentran aquellos que actúan de manera continua en el ambiente físico, limitando la tasa de crecimiento, la utilización de recursos o la reproducción de los organismos, lo que se denomina *estrés* (por ejemplo alta salinidad, eutrofización, limitación de luz, etc.) (Grime, 1989). Estos difieren en sus efectos siendo consecuencia directa de un factor de estrés la disminución de la diversidad, mientras que el efecto de la disturbancia en la diversidad depende en su frecuencia e intensidad (Padišák, 1993). Todos los ecosistemas están sujetos a cambios graduales del clima, carga de nutrientes, entre otros, y se asume que los ecosistemas responden de igual manera. Sin embargo, en algunos ecosistemas como las lagunas o lagos poco profundos se han registrado cambios bruscos de un régimen ecológico a otro (Scheffer et al., 2001). Aunque diversos mecanismos pueden desencadenar un cambio de régimen, la pérdida de resiliencia es lo que favorece a que se desarrolle (Scheffer et al., 2001). Sayer (2006) encontró que factores de estrés como eutrofización o alta salinidad pueden ocasionar una reducción en la capacidad de recuperación del sistema haciéndolo más vulnerable a las perturbaciones. Si bien es ampliamente reconocido que las lagunas responden rápidamente a los cambios climáticos (Williamson et al., 2008, 2009; Adrian et al., 2009), los cambios ecológicos y físicos que estos producen pueden ser magnificados o reducidos en función de las características intrínsecas de la laguna producto de su origen y evolución, haciendo la interpretación de la señal climática más compleja (Bao et al., 2015; Randsalu-Wendrup et al., 2016). El origen de la laguna puede funcionar entonces como un factor de estrés adicional junto con la morfología. Randsalu-Wendrup et al. (2016) sugieren que la

estructura y el funcionamiento de los ecosistemas lacustres está determinada por interacciones complejas entre el cambio climático, la influencia antrópica, los procesos en el lago, el origen del lago y las características de la cuenca (geología, suelos, vegetación). Cada una de estas variables fluctúa en tiempo y espacio y puede tener una influencia considerable en la estructura biológica, así como también actuar como filtros de información, alterando los efectos del clima en los lagos (Schindler et al., 2001; Anderson et al., 2004; Leavitt et al., 2009; Fritz y Anderson, 2013).

Los sedimentos acumulados en los lagos constituyen un archivo invaluable de los procesos (biológicos, químicos y físicos) que ocurrieron en los mismos y en sus cuencas. Dichos sedimentos reflejan, por lo tanto, su evolución en relación a la variabilidad climática, actividad tectónica, uso de suelo, etc. (Douglas, 2007). Las variaciones en el registro sedimentario permiten realizar inferencias climáticas cuya extensión temporal es mayor a la obtenida por medio de documentos históricos (Piovano et al., 2002). Debido a la complejidad de las interacciones que ocurren en los lagos, los estudios paleolimnológicos deben ser, en lo posible, realizados con múltiples indicadores que permitan obtener una visión más amplia de lo que pueda obtenerse con un único indicador (proxies) (Smol, 2002; NRC, 2005). En esta tesis se plantea un estudio paleolimnológico multi-proxy basado en análisis sedimentológico, la determinación de unidades sedimentarias, diatomeas, gremios ecológicos de diatomeas y fitolitos.

Como se mencionó previamente la sedimentación lacustre está regulada por las interacciones de la geología de la cuenca, el clima, el origen del lago, la hidrología (ingresos y egresos de cursos de agua), la circulación interna y la productividad orgánica. Las variaciones en estos factores, dentro del lago o entre ellos, crean la variabilidad extrema observada en las litofacies de los depósitos lacustres (Cohen, 2003). Por lo tanto, las variaciones sedimentarias permiten inferir cambios ambientales (clima, hidrología, geoquímica) (Valero-Garcés y Kelts, 1995; Talbot y Allen, 1996). Las diatomeas son excelentes indicadores paleoambientales ya que poseen un alto potencial de conservación, por la composición silíceo de los frústulos, tienen rápidas y diferentes respuestas a las condiciones ambientales (profundidad del cuerpo de agua, temperatura, turbulencia, salinidad, conductividad, pH, etc.) y gran abundancia y diversidad (Battarbee, 1986; Round et al., 1990; Van Dam et al., 1994; Battarbee et al., 2001; Julius y Theriot, 2010). Las diatomeas han sido una herramienta eficaz para determinar los cambios en el balance de humedad de eventos de escala milenaria pudiendo a través de ellas evaluar la importancia relativa de diversos forzamientos y factores climáticos. En los últimos años se ha intensificado la resolución de los estudios con el objetivo de obtener registros que permitan discernir patrones decenales o centenales de la variabilidad climática (Fritz et al., 1999).

Las diatomeas pueden agruparse en gremios ecológicos de acuerdo a las formas de vida, un grupo de especies que vive en el mismo ambiente pero que puede adaptarse de manera diferente a distintos factores abióticos. En esta tesis se analizará además las diatomeas considerando la agrupación en gremios ecológicos. Dado que proporciona una relación más robusta si se considera la relación de estos grupos con ciertos factores de estrés ambiental en lugar de una sola especie (Rimet y Bouchez, 2012a). El estudio a partir de gremios ecológicos ha sido ampliamente utilizado en biomonitoreos y estudios ecológicos (Padisák et al., 2009; Rimet y Bouchez, 2012 a, b), con amplia utilización en ambientes lóticos (Vilmi et al., 2017). Recientemente, se ha empezado a aplicar en ambientes lénticos (p.e., Gottschalk y Kahlert, 2012; De Nicola y Kelly, 2014; Vilmi et al., 2017; Benito et al., 2018). Escasos estudios lo han aplicado en paleolimnología en donde mostraron ser útiles en registrar variaciones producto de cambios bruscos en el nivel de agua (Leira et al., 2015). Por otro lado, los fitolitos, en particular los silicofitolitos, son depositaciones silíceas que se encuentran presentes en diversos grupos de las plantas vasculares y no vasculares (Hodson et al., 2005), siendo las familias Poaceae, Cyperaceae y Arecaceae las principales productoras (Piperno, 2006). Dado que los fitolitos, provenientes de pastizales, representan en gran parte la vegetación terrestre, se utilizarán en su relación con las diatomeas como una medida de terrestreización.

En resumen la región pampeana es un área con alto desarrollo agrícola-ganadero de gran importancia para el desarrollo económico del país, cuya productividad está estrechamente ligada a las variaciones climáticas. En la región pampeana se han detectado variaciones en el clima durante el Cuaternario que produjeron desplazamientos en el gradiente de humedad. En particular, la zona árida-semiárida es altamente sensible a los cambios climáticos. La región pampeana cuenta además con numerosas lagunas que aportan varios servicios ecosistémicos por lo que es importante su estudio para su preservación. Sus características morfológicas las hacen sensibles a los cambios climáticos los que quedan registrados en sus sedimentos. Estos ecosistemas altamente sensitivos están influenciados por numerosos factores cuyas respuestas están condicionadas desde su origen, lo que hace que el estudio de los mismos sea altamente complejo y que requiera un análisis desde múltiples aspectos y herramientas. En base a lo anteriormente expuesto en la presente tesis se plantea un estudio integrado de cuatro lagunas pampeanas considerando como hipótesis general de esta tesis que *la evolución de las lagunas pampeanas a lo largo de un gradiente de humedad, en una zona de transición de clima árido a semiárido, han sido influenciadas por las características de su origen, pero modificadas por el cambio y la variabilidad climática y las actividades antrópicas*. En base a ello se plantea como objetivo determinar cuáles han sido los

principales factores geológicos, geomorfológicos y limnológicos que han formado y modificado las lagunas pampeanas a lo largo del tiempo bajo un gradiente de humedad. Para ello se considerarán los objetivos específicos que se enumeran a continuación:

- Determinar el origen y la evolución geomorfológica de cuatro lagunas y sus cuencas asociadas representativas de la región pampeana en cuestión, en relación a las variaciones espacio-temporales del gradiente de humedad.
- Determinar las variaciones morfológicas y morfométricas de las lagunas en relación a los efectos antrópicos y la variabilidad climática.
- Determinar los efectos sobre las lagunas que han tenido los cambios en el uso del suelo en cada región e integrarlos dentro del esquema evolutivo de las lagunas.
- Reconstruir los cambios limnológicos de cada laguna.
- Determinar los efectos antrópicos en las lagunas y sus cuencas.
- Relacionar los cambios limnológicos de cada laguna con los eventos climáticos regionales y las variaciones espacio-temporales del gradiente de humedad.
- Producir un modelo esquemático de evolución de las lagunas que se pueda aplicar al resto de las lagunas pampeanas.

Para cumplir con los objetivos propuestos se propone determinar el origen a partir del análisis geomorfológico. Asimismo, se analizará la variación en los parámetros morfométricos y ambientales en respuesta a la variabilidad climática. Se estudiarán las características hidrológicas de las lagunas y sus cuencas y el uso del territorio. Por otro lado, la evolución de las lagunas desde su origen en relación a los cambios climáticos y presiones antrópicas se realizará a través del análisis paleolimnológico.

LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio se localiza en la región pampeana (Fig. I-1), representada por una extensa planicie conformada por depósitos de loess de espesor variable del Pleistoceno tardío-Holoceno (Zárate, 2003). Está interrumpida por dos sistemas de montañas bajas en el centro –sur de la región, las Sierras de Tandilia (con una altitud máxima de aproximadamente 520 m snm) y Ventania (con una altura máxima de aproximadamente 1240 m snm). Hacia el Oeste y Sur esta planicie alterna con áreas de meseta.

Particularmente el área abarca el Suroeste de la provincia de Buenos Aires, entre 37° 33' 2.60" y 39° 27' 41.45" S y los 61° 22' 35.36" y 62° 47' 24.65" O (Fig. I-2). La zona involucra fisiográficamente un área de transición entre el ambiente típico pampeano, una

planicie suavemente ondulada, que adquiere hacia el sur características de un ambiente Patagónico representada por mesetas escalonadas. En especial esta tesis se centra en el estudio de las lagunas de Puan, Los Chilenos, Sauce Grande, La Salada y sus cuencas (Fig. I-2).

La laguna de Puan ($37^{\circ} 33' 2.4''$ S / $62^{\circ} 47' 24.6''$ O) (Fig. I-2a) se encuentra a 13 km al Noroeste del extremo Norte del Sistema de Ventania. La rodea un ambiente típico pampeano con morfología plana y numerosas depresiones en donde se alojan pequeños cuerpos de agua. En este sector los pastizales característicos se encuentran reemplazados por el uso agropecuario (Fig. I-2). En el extremo nororiental de la costa de la laguna se encuentra la localidad de Puan, fundada en 1876 (Panizza et al., 2016), la cual posee una población de 4.743 habitantes (INDEC, 2010). Predominan los suelos Argiudoles (al Norte de Puan), Hapludoles (al Este de Puan), y Haplustoles (en casi todo el partido de Puan) (Krüger et al., 2011). Las actividades productivas desarrolladas en la laguna incluyen pesca, deportes acuáticos y recreación. En la localidad de Puan y alrededores la economía se basa en la ganadería y agricultura, siendo los principales cultivos el trigo y la cebada. En relación a esto último la actividad industrial está asociada a "Maltería Pampa", una de las malterías más grandes del mundo.

La laguna Los Chilenos ($38^{\circ} 1' 43.8''$ S / $62^{\circ} 28' 19.2''$ O), se encuentra al Sur de la laguna de Puan y a 30 km al Oeste del flanco occidental del Sistema de Ventania, en donde se localiza el área de cabecera de su cuenca. A 13 km lineales al Noreste se encuentra la localidad de Colonia San Martín, partido de Torquinst (Fig. I-2b). La laguna presenta en su cercanía pequeños cerros que se desprenden del Sistema de Ventania denominados Los Chilenos y Cerro Colorado. En los alrededores la vegetación predominante corresponde a pastizales pampeanos. Predominan los suelos Molisoles y Entisoles de baja evolución aptos para la producción de pasturas de ciclos cortos (Mosciaro y Dimuro, 2011). Esta laguna es algunas veces mencionada como laguna Saavedra o Las encadenadas de Torquinst, esto último por estar parcialmente conectada, durante los períodos húmedos, con otras lagunas hacia el Oeste también denominada Pigüe/Las Encadenadas. En los alrededores de la laguna, propiedad fiscal y privada, se desarrollan varios poblados que corresponden a los clubes de pesca de Torquinst y Saavedra; las primeras construcciones datan de la década del 60 (Herrada, 2018). En la laguna se desarrollan actividades de pesca, deportes acuáticos y recreación, mientras que en los alrededores las principales actividades económicas son la agricultura, ganadería y minería.

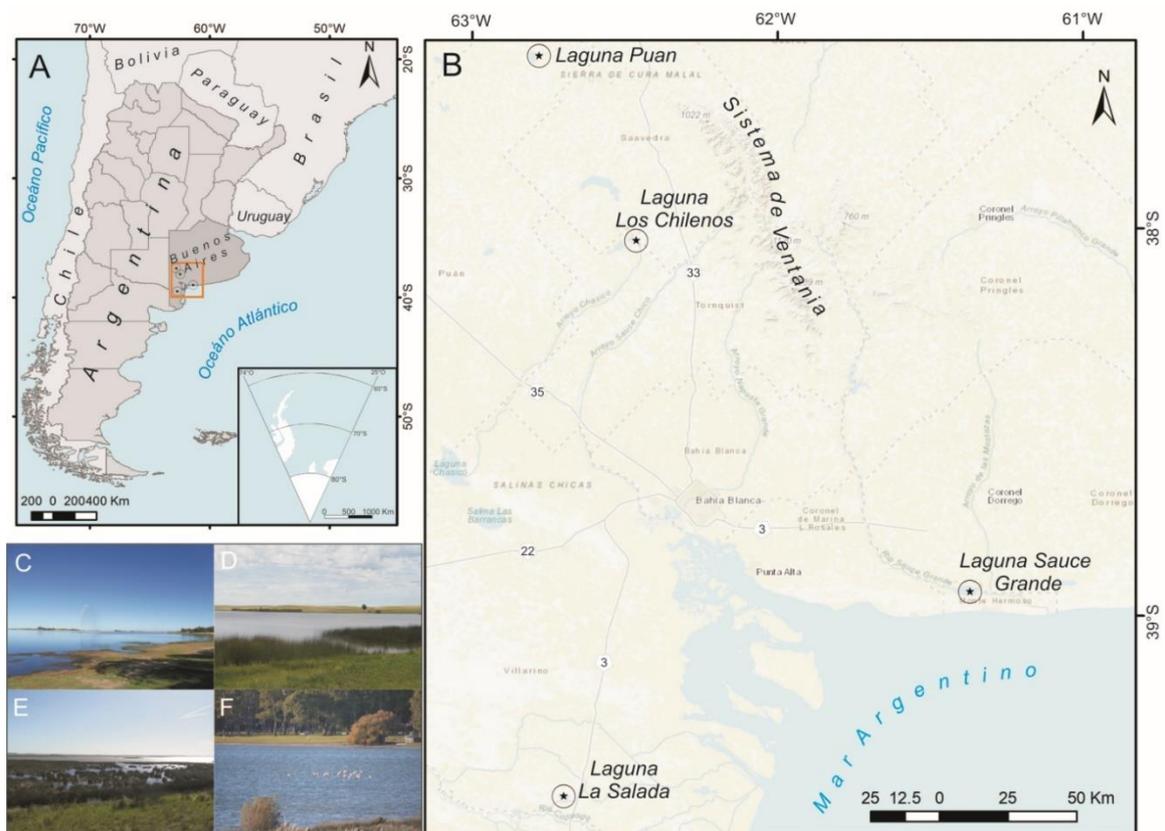


Figura I-2: a) Mapa de localización del área de estudio en la república Argentina (recuadro en rojo); b) Localización de las lagunas en el Suroeste de la provincia de Buenos Aires. Se presentan fotografías de las lagunas c) Puan; d) Los Chilenos; e) Sauce Grande; f) La Salada.

La laguna Sauce Grande ($38^{\circ} 56' 10.2''$ S / $61^{\circ} 22' 34.8''$ O) se encuentra a aproximadamente 80 km al Sur-sureste del extremo Sur del Sistema de Ventania, en donde se localiza el área de cabecera de su cuenca (Fig. I-2c). La laguna se encuentra a 4 km al Norte de la costa Atlántica y a 6 km al Noroeste de la ciudad de Monte Hermoso. Predomina un ambiente de planicie limitada al Sur por médanos¹ costeros, en donde la vegetación se caracteriza por un tipo de transición entre el pastizal pampeano y el espinal predominando el primero (Cabrera, 1976). Los suelos son Molisoles y Entisoles con aptitud agrícola ganadera, aptos para la producción de pasturas (Mosciaro y Dimuro, 2011). Las actividades desarrolladas en la laguna incluyen pesca, deportes acuáticos y turismo de recreación. Las principales actividades productivas desarrolladas en la zona son agrícola-ganaderas.

La laguna La Salada ($39^{\circ} 27' 0.0''$ S / $62^{\circ} 42' 0.0''$ O) se localiza en un área de transición entre la región Pampeana y Patagónica. Está ubicada a aproximadamente 5 km al Norte de la localidad de Pedro Luro (Fig. I-2d). Se encuentra dentro de un ambiente con características patagónicas, con vegetación xerófila y representa un ecotono entre las

¹ En la presente tesis se prefiere el término médano sobre el de duna eólica basado en la propuesta de Perillo (2001)

provincias fitogeográficas del Espinal y del Monte, con arbustos característicos de las dos (Villamil y Scofield, 2003). En la región predominan suelos Molisoles (Haplustoles, en general Enticos) y Entisoles (Ustipsamientos y Fluviacuentes ambos típicos) (Mosciaro y Dimuro, 2011). En la costa Norte de la laguna se desarrolla un pequeño poblado denominado Villa La Salada, fundada en 1969 que cuenta con una población permanente de 300 personas con una importante concurrencia de residentes temporarios en épocas de verano (Onorato, comunicación personal, 11/04/2018). Las principales actividades desarrolladas en la laguna son el turismo y pesca, en los alrededores se desarrolla agricultura intensiva, en riego y secano, y ganadería.

CLIMA

La zona de estudio se encuentra en un área extratropical de clima templado. Las características climáticas de la región están influenciadas por los anticiclones semipermanentes de los océanos Pacífico y Atlántico, la Depresión del Noroeste Argentino (DNOA, Ferreira et al., 2010) y el cinturón de vientos de los Oestes (*Westerlies*). Asociados a ellos se localizan dos zonas de máxima precipitación anual, Zona de Convergencia del Pacífico Sur (SPCZ) y la Zona de Convergencia del Atlántico Sur (SACZ) (Garreaud y Aceituno, 2007), desde estas se registran dos gradientes decrecientes de precipitación, desde SPCZ hacia el Noreste y desde SACZ hacia el Suroeste los cuales confluyen en una zona de máxima aridez, con precipitación inferior a los 250 mm/año, denominada Diagonal Árida (DA) determinando el límite de influencia de los anticiclones del Pacífico y el Atlántico (Bruniard, 1982; Piovano et al., 2009).

En el área de estudio, al sur de 35° S, predomina la acción de los Vientos de los Oestes durante todo el año, estos son intensos durante el verano con un máximo entre los 45°-55° S, mientras que durante el invierno, se desplazan hacia latitudes subtropicales (aproximadamente 30° S) debilitándose en latitudes altas, particularmente a ~ 50° S (Garreaud et al., 2009). Asociado a este gradiente de viento, en la región pampeana el origen de las precipitaciones en invierno son de tipo frontal originadas por ciclones migratorios que se desplazan en dirección Oeste-Este cuya posición media sigue la corriente en altas capas de la atmósfera de los Vientos de los Oestes (Garreaud et al., 2007). En la región pampeana, y en particular en el área de estudio, en este período se destaca la influencia de centros anticiclónicos derivados del Anticiclón Semipermanente del Pacífico, que luego de su pasaje a través del continente se localizan en el Océano Atlántico frente a la costa Bonaerense, ocasionando condiciones de tormenta con lluvia y viento (Campo de Ferreras et al., 2004). Además, en menor medida por su localización, en

la región pampeana se registran precipitaciones durante el verano generando ingreso de humedad proveniente del océano Atlántico. Dichas precipitaciones están determinadas por dos sistemas sinópticos distintos. Uno tiene su origen en la existencia de un gradiente de presión entre la DNOA, localizado al Este de los Andes y el anticiclón del Atlántico. Este gradiente se incrementa durante el verano, producto de la insolación del continente, dando lugar a un flujo neto del Noreste y un transporte de humedad proveniente del océano Atlántico hacia el continente (Compagnucci et al., 2002; Doyle and Barros, 2002; Barros et al., 2008). Por otro lado, especialmente en el verano, la corriente meridional de la troposfera del Chaco transporta aire cálido y húmedo desde la zona tropical hacia la región (Doyle y Barros, 2002; Garreaud et al., 2009). Es pertinente destacar que zona tropical al Norte de nuestro país se encuentra bajo la influencia del denominado Sistema Monzónico de América del Sur (SMAS) producto de la variación estacional de la Zona de Convergencia Intertropical (ITCZ) (Zhou y Lau, 1998; Vera et al., 2006). Cabe aclarar que de acuerdo con Garreaud et al. (2009) este no sería completamente monzónico ya que no se registra inversión en la dirección de los vientos en capas bajas. Las precipitaciones frontales y la convergencia en capas bajas llevan a la formación de la SACZ (Kodoma, 1992; Liebmann et al., 1999; Carvalho et al., 2004). A escala interanual, en la zona extra tropical localizada al Este de los Andes, la SACZ es parte de un proceso que ocasiona oscilaciones de tipo vaivén (see-saw) de las precipitaciones (Nogues-Paegle y Mo, 1997; Díaz y Aceituno, 2003). En este sentido, en la región extratropical de Argentina, Doyle y Barros (2002) diferencian períodos de fortalecimiento de la SACZ, caracterizado por un incremento del transporte meridional de humedad a través de las corrientes de chorro sudamericana y del DNOA. Además, estas condiciones se combinan con una temperatura superficial más fría en el océano Atlántico que produce un fortalecimiento del anticiclón del Atlántico Sur, dando lugar a un mayor gradiente de presión entre el anticiclón y la DNOA y promoviendo un mayor transporte de humedad hacia el interior del continente. En estas condiciones se registra mayor humedad en el Centro-Oeste de Argentina, mientras que en el Noreste de Argentina y Sur de Brasil se produce sequía. Períodos de debilitamiento del SACZ son explicadas por condiciones opuestas, menor transporte meridional de humedad, temperatura superficial de océano Atlántico más cálidas y consecuentemente debilitamiento del anticiclón del Atlántico Sur. Estas condiciones sinópticas son determinantes de los períodos de sequía en el Centro-Oeste de Argentina y de humedad concentrada en el Noreste de Argentina y Sur de Brasil (Doyle y Barros, 2002).

Superpuestas a las condiciones atmosféricas interanuales mencionadas se observan fluctuaciones no regulares con un amplio rango de variación temporal. Las escalas temporales pueden variar desde intra-estacionales (por ejemplo Zona de

Convergencia del Atlántico Sur, SACZ) (20-60 días), interanual, decenal e interdecenal (ENOS; Oscilación decenal del Pacífico (PDO) y Oscilación Antártica (AAO)) (Garreaud et al., 2009). En el área de estudio se destaca por su influencia el fenómeno El Niño Oscilación del Sur (ENOS). Su ocurrencia se traduce en condiciones anormalmente húmedas para la región en condiciones El Niño, mientras que las condiciones opuestas se presentan durante los períodos de La Niña. Estos eventos muestran gran variación a escala regional y fluctuaciones estacionales significativas que varían entre 2 y 7 años (Diaz y Markgraf, 1992). En todas las estaciones del año y en menor medida en el verano, la fuente más importante de variabilidad interanual es el ENOS. Asimismo, este evento afecta, especialmente, la frecuencia de los eventos de precipitación extremos en todas las estaciones del año (Grimm, 2011).

En relación a lo previamente mencionado, y como consecuencia de su extensión, la región pampeana posee una gran variación tanto temporal como espacial de los parámetros climáticos. En general, en base al análisis de los parámetros meteorológicos del período 1960-2010, Ferrelli y Aliaga (2015) observaron un gradiente de precipitación en dirección Suroeste-Noreste con las mayores precipitaciones (1400 mm/año) localizadas en el Noreste y las menores (350 mm/año) al Suroeste (Fig. I-4). Las precipitaciones presentan una marcada estacionalidad, concentrándose en las estaciones de otoño y primavera, mientras que la estación seca ocurre en invierno. El sudoeste de la región pampeana presenta condiciones semiáridas Nordpatagónicas (Aliaga et al., 2016). En cuanto a la temperatura esta región muestra un gradiente Suroeste-Noreste, incrementándose hacia el Noreste, con una variación de la temperatura media anual de entre 13,5 y 19,5 °C, con una influencia de la topografía. Por otro lado, la humedad relativa presenta un gradiente Este-Oeste siendo mayor hacia el Este (de 61 a 79 %). Además, se observó un incremento de la velocidad media del viento de Noreste a Suroeste con una velocidad media de 10 y 15 km/h en esa dirección (Ferrelli y Aliaga, 2015).

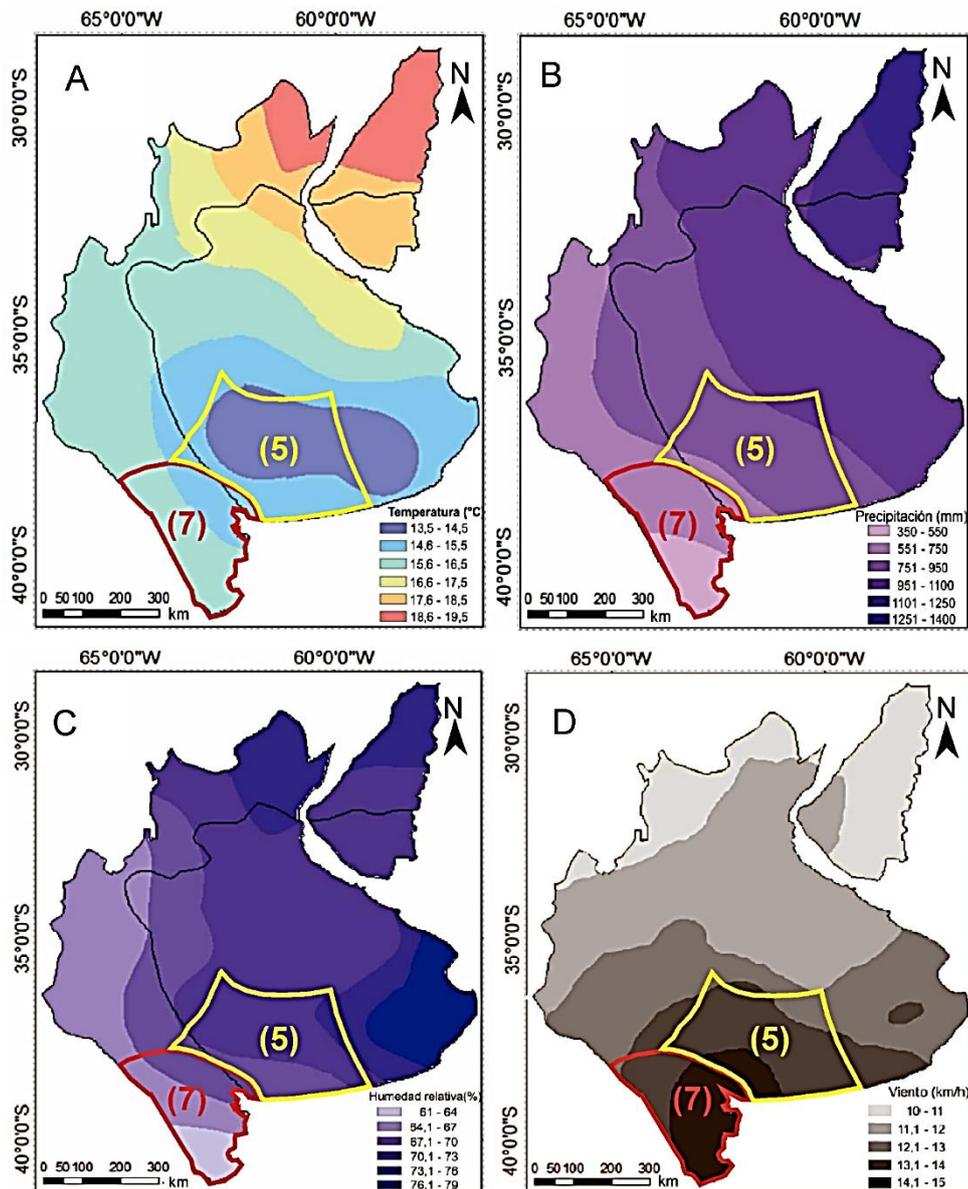


Figura 1-3: a) Gradientes de Precipitación (mm/ año); b) Temperatura (°C); c) Humedad relativa (%) y d) Velocidad del viento (km/h) en la región pampeana durante el período de 1960-2010 (modificado de Ferrelli y Aliaga 2015). Se localizan las regiones climáticas incluídas en el área de estudio, Templado Serrano de Ventania (5) y Semiárido (7), de acuerdo con Aliaga (2018).

La variación regional de los principales parámetros meteorológicos da lugar a la generación de distintas regiones climáticas. El área de estudio incluye las subregiones climáticas de la región pampeana Templado Serrano de Ventania (5) y Semiárido (7) (Aliaga, 2018). La región Templada Serrana de Ventania se caracteriza por poseer temperaturas bajas (media anual 15 °C), prevalencia de los vientos del Noroeste (media 12 km/h), con frentes fríos provenientes del suroeste durante el invierno. Posee una precipitación media de 829 mm/año, con una humedad relativa media del 70 %. Los eventos de sequía son inusuales con escasa duración e intensidad, mientras que, los

períodos húmedos son más frecuentes aunque de corta duración e intensidad (Aliaga et al., 2016). La región Semiárida, en cambio, se caracteriza por ser una zona ventosa (21 km/h) de bajas precipitaciones (precipitación media anual de 512 mm/año). Las precipitaciones son altamente variables con alternancia de períodos secos y húmedos, ambos de baja duración y frecuencia. En esta región se han manifestado condiciones extremas de humedad y sequía, siendo las primeras de menor duración. La temperatura media anual es de 14 °C y la humedad relativa promedio es del 65 % (Aliaga et al., 2016).

CAPITULO II

MATERIALES Y METODOS

Las investigaciones se desarrollaron siguiendo la metodología tradicional utilizada en los estudios geológicos, que comprende las etapas: gabinete inicial, campo, laboratorio y gabinete final.

GABINETE INICIAL

Recopilación de antecedentes cartográficos

Para el análisis topográfico regional y de unificación de antecedentes cartográficos de la zona se utilizó el software ArcGIS® 10.2.2 de ESRI. Se realizó la recopilación de la información de base la cual incluyó el Modelo de Elevación digital (DEM en sus siglas en inglés) SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) con una resolución de 90 m o 3 arcos de segundo, que fueron descargadas de la página del United States Geological Survey web page (<http://earthexplorer.usgs.gov>). Además se completaron con las cartas geológicas Colonia Julia y Echarren- Pedro Luro 3363-III/IV Escala 1:250.000 (Servicio Geológico Minero Argentino (SEGEMAR)), Sierra de la Ventana Hoja 34m escala 1:200.000 (Dirección General de Minas y Geología); las hojas topográficas a escala 1:50.000 de Hilario Ascasubi 3969-28-2, Estancia los Cerritos 3963-5-1, Balneario Monte Hermoso 3960-13-3 y 19-1 (Instituto Geográfico Militar, 1966, 1967, 1968); visor GeoINTA; imágenes SPOT; capas de información de cuerpos de agua lénticos y lóticos, ejidos urbanos y red vial SIG250 escala 1:250.000 del Instituto Geográfico Nacional (IGN) (la que fue editada para adecuación a nueva escala, corrección o ampliación de información) y basemap de ArcGIS.

Planificación de la derrota batimétrica

Para analizar la morfología del fondo y los parámetros morfométricos se efectuó una batimetría. La programación del recorrido para la derrota batimétrica del vehículo no tripulado de navegación superficial (Drone batimétrico) (detalle del equipamiento en el apartado de levantamiento batimétrico) se realizó con el software Mission Planner 1.3.44 (ArduPilot.org, 2017). A través del mismo software se monitoreó la derrota, los parámetros del equipo y el registro del ecosonda durante el recorrido (Fig. II-1). El método empleado para planificación de las derrotas fue por triangulación y mediante un grillado a lo largo y ancho de las lagunas.

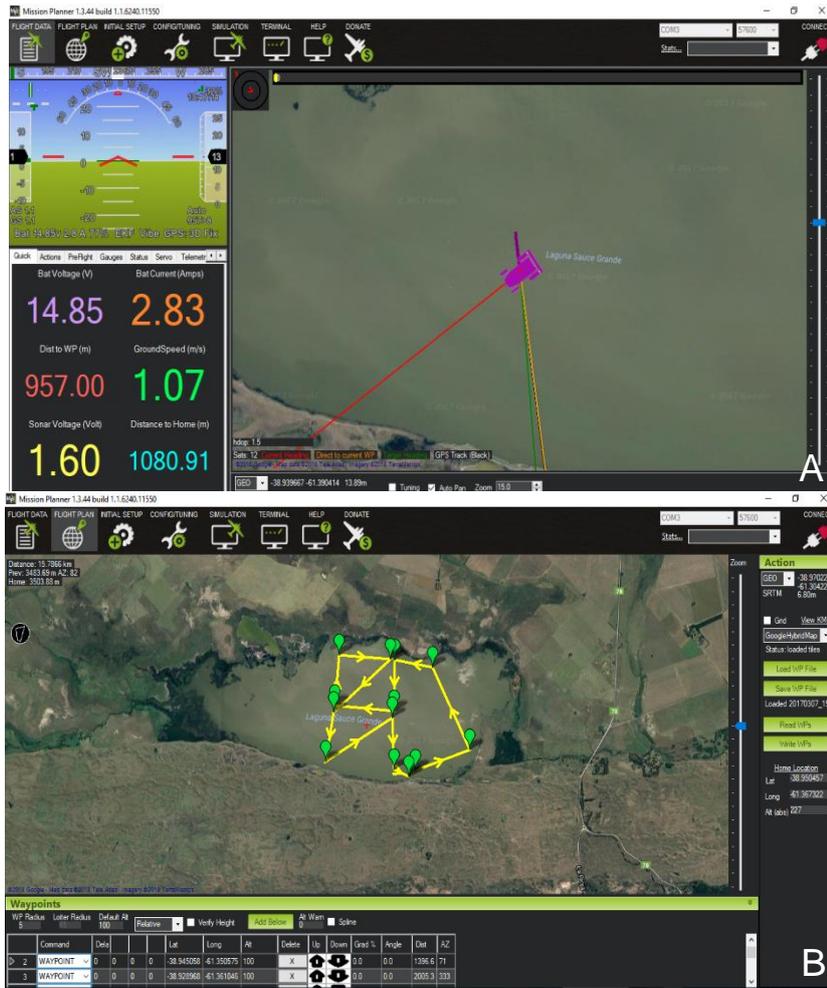


Figura 11-1: Capturas de pantalla del programa Mission Planner durante la realización de la derrota en donde se muestran los parámetros de navegación y el seguimiento del Drone batimétrico en tiempo real (a) y la planificación del recorrido (b).

TRABAJO DE CAMPO

Levantamiento geomorfológico

Las unidades geomorfológicas definidas previamente en gabinete fueron verificadas en campo, con la toma de coordenadas geográficas en los límites de unidades, geformas reconocidas en el terreno, etc., efectuada mediante la utilización del GPS GARMIN eTrex Vista, datum WGS84. Asimismo, se realizó la toma de fotografías y la apreciación de relieves locales en lugares en que por la topografía plana y la resolución de los modelos de elevación digital eran difíciles de identificar con el simple análisis de los mismos.



Figura II-2: Drone batimétrico. Construido en el IADO

Levantamiento batimétrico

La batimetría se realizó mediante un vehículo no tripulado de navegación superficial (Drone batimétrico) desarrollado en base a la plataforma electrónica abierta de Arduino (Fig. II-2). El vehículo está provisto de un sistema de piloto automático, cuenta con una ecosonda y transductor de doble haz Garmin Echo 150 que opera a una frecuencia de 200 kHz y un sensor de temperatura. Los datos de GPS, temperatura, ecosonda y parámetros de la lancha son almacenados en dos memorias flash localizadas a bordo. Asimismo, los datos son enviados por telemetría y almacenados por el software Mission Planner 1.3.44 (ArduPilot.org, 2017). Además, cuenta con dos baterías LiPo de 16000 mAh, que permite realizar más de 20 km o 6 horas de trabajo continuo. Este equipo fue desarrollado en el Instituto Argentino de Oceanografía (IADO). La velocidad de navegación empleada durante la derrota fue 1 m/s con una frecuencia de toma de datos de 5 datos por segundo.

Extracción de testigos

Un testigo fue extraído en la zona más profunda de cada una de las lagunas utilizando un sistema de muestreo a percusión. Dos muestreadores a percusión y una plataforma de muestreo fueron desarrollados en el taller de tornería y soldadura del Centro Científico Tecnológico-Bahía Blanca (CCT-Bahía Blanca). El primer muestreador, basado en un diseño tipo Phleguer, fue fabricado en hierro, de 3 m de largo, conformado por dos tramos de 1,5 m ensamblados mediante rosca, y 5 cm de diámetro interno dentro de esta estructura se encuentra un caño de PVC intercambiable que contendrá el sedimento (Fig. II-3a).

El muestreador cuenta, en su boca, con una válvula de retención del sedimento y una punta afilada a rosca que está alineada con el interior del caño de PVC sin la presencia de irregularidades que disturben el sedimento (Fig. II-3b). La válvula de retención de sedimento, para sedimento poco cohesivo, funciona dejando ingresar el sedimento sin ofrecer resistencia durante el enterramiento del muestreador y reteniéndolo cuando se extrae el mismo. En su extremo superior posee una válvula de retención de vacío, la cual permite el paso libre de agua en la penetración y se acciona en la extracción generando vacío dentro del testigo y reteniendo el sedimento (Fig. II-3c).

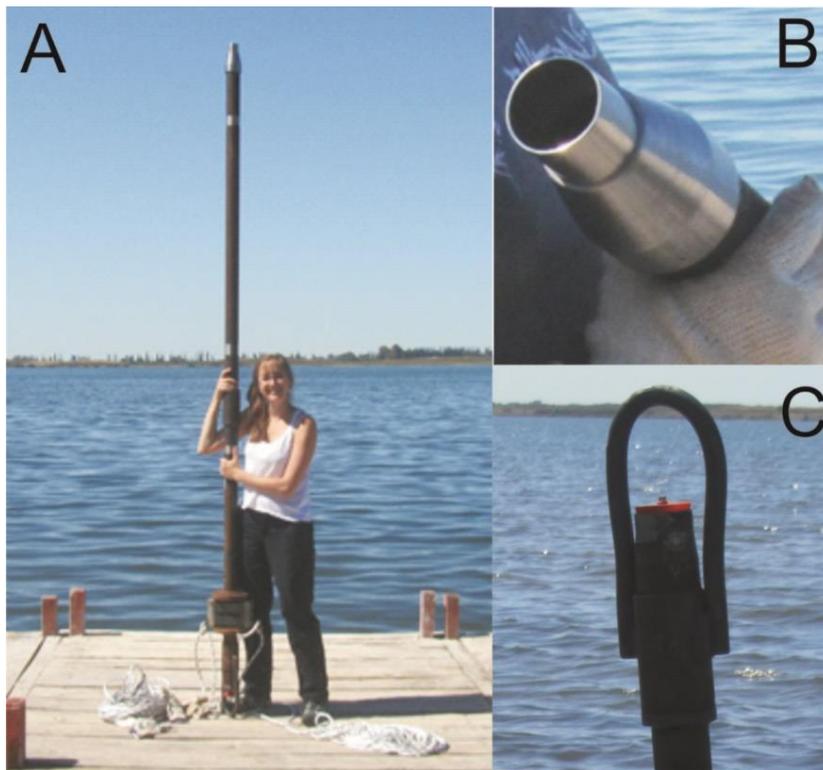


Figura II-3: a) Muestreador tipo phleger; b) boca con punta afilada; c) Cabezal superior con válvula de retención de vacío. Equipamiento desarrollado en el Centro Científico Tecnológico-Bahía Blanca (CCT-Bahía Blanca)

La penetración inicial del muestreador se realiza mediante caída libre y posteriormente mediante el martilleo, utilizando un sistema de pesas que se desplazan solidario al testigo y que golpean sobre un collar que funciona como base localizado a 1 m desde la parte superior. El sistema de pesas puede ser adaptado de acuerdo a la resistencia del tipo de fondo variando el peso y el recorrido que realiza el martillo en el metro disponible. A su vez el sistema de pesas favorece su extracción ya que pueden ser utilizadas a la inversa para retirar el testigo. El muestreador y las pesas son sostenidos mediante sogas y cables de acero lo que asegura su enterramiento vertical.



Figura II-4: Plataforma de muestreo desarrollada en el Centro Científico Tecnológico-Bahía Blanca (CCT-Bahía Blanca).

El segundo muestreador a percusión consiste en un sistema ligero y fácilmente transportable. Está formado por un caño de PVC que es enterrado inicialmente de manera manual, posteriormente se le incorpora al extremo superior del caño un dispositivo de protección (capuchón), que evitará que se dañe, y sobre el que se accionara el martilleo con una masa convencional. Además, al caño de PVC es sujeto con sogas desde un metro de su base para facilitar la extracción. Posteriormente, previo a la extracción se incorpora un tapón con sistema de junta tórica (O-ring) en el extremo superior que permite la generación de vacío dentro del testigo favoreciendo la retención del sedimento. Este muestreador ha sido utilizado efectivamente en sedimento limo arenoso en lagunas someras, posee la ventaja de ser fácil de transportar y operable desde cualquier embarcación. Ambos sistemas mostraron una buena preservación del testigo, verificada por la nula o escasa deformación de las estructuras sedimentarias.

Para la maniobra de penetración y extracción del testigo, especialmente con el primer muestreador, se desarrolló íntegramente en el Centro Científico Tecnológico-Bahía Blanca (CCT-Bahía Blanca) una plataforma desarmable fácil de transportar (Fig. II-4). La misma cuenta de una superficie de 2 m de ancho por 3 m de largo, con una apertura central de 1 m². Esta superficie se encuentra adherida a un sistema de tambores plásticos que le otorgan una significativa flotabilidad. Además posee un trípode localizado en su zona central que permite la colocación de un sistema de poleas, para guiar el muestreador y

accionar el sistema de pesas, y un aparejo que facilita las maniobras de extracción del testigo.

TRABAJO DE LABORATORIO

Apertura y captura de imágenes.

Los testigos extraídos y almacenados en el caño de PVC se mantuvieron en heladera a 4°C hasta su apertura, donde fue separado en dos mitades utilizando un minitorno marca Dremel 3000 que permite una manipulación de detalle evitando afectar el sedimento. Cada testigo se fotografió bajo condiciones de iluminación y parámetros fotográficos constantes. Para garantizar dichas condiciones se construyó en el IADO una pantalla de iluminación homogénea y difusa, tomando en cuenta las recomendaciones realizadas por Johnson (2015). La pantalla se construyó con tiras de luces LED (neutra) ubicadas longitudinalmente y separadas cada 5 cm, manteniendo una distancia de 30 cm del testigo (Fig. II-5). El lente de la cámara es introducido a través de una apertura central en donde se mantiene fijo. Se fotografió con una cámara Nikon modelo D3100. Para las fotos de detalle se emplearon las siguientes condiciones de exposición de 1/30 segundos, con una apertura de f/10 y zoom digital 55 mm. Para las fotos generales, se utilizó una exposición de 1/20 segundos, con f/10 de apertura y zoom digital de 18 mm, procurando en ambos casos lograr una superposición entre fotografías del 30 %.



Figura II-5: Equipamiento para el fotografiado del testigo. Diseñado en el IADO.

Los testigos fueron enviados al laboratorio de rayos X de la Unidad de Administración Territorial Bahía Blanca (UAT) en donde se irradió la muestra con un emisor de Rayos X propiedad del grupo de trabajo, marca DSO dental operado a 70 kv y 8 mA,

sin posibilidad de modificación (Fig. II-6). Las imágenes fueron registradas y digitalizadas por una cámara fotográfica Canon Power Shot G6 visualizado a través del software asociado a la cámara marca Canon. Las imágenes de rayos X y fotografías fueron recortadas y unificadas generando un mosaico mediante el programa CorelDraw X3.

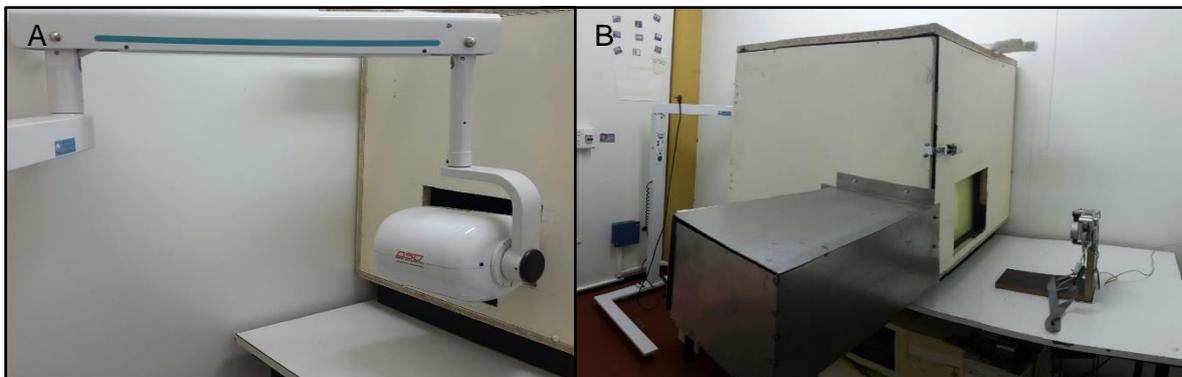


Figura II-6: Equipamiento para el registro de las imágenes de rayos X. a) Equipo de rayos X. b) Se observa equipo de rayos X, el habitáculo con aislación de plomo donde se dispone el testigo, la placa fluorescente y la cámara de fotos. Equipamiento disponible en el laboratorio de rayos X de la Unidad de Administración Territorial Bahía Blanca (UAT).

Granulometría de sedimento

Los testigos fueron muestreados aproximadamente cada 5 cm para el análisis de granulometría. En general, las muestras de sedimento fueron tratadas químicamente con peróxido de hidrogeno (H_2O_2) para la eliminación y determinación de contenido de materia orgánica y, posteriormente, con ácido clorhídrico (HCl), para la eliminación de carbonatos. Seguidamente se le realizó un análisis granulométrico de la muestra dispersa en agua destilada mediante difracción láser con el equipo Mastersizer Malvern 2000. Aquellas muestras cuya granulometría superaron los 250 μm fueron tamizadas.

Diatomeas y fitolitos

Los testigos se muestrearon aproximadamente cada 5 cm para la determinación de conteos de diatomeas y fitolitos. Alrededor de 0,3 gr de sedimento seco fue digerido con H_2O_2 al 30 % para la remoción de la materia orgánica del sedimento. Posteriormente, se trató con HCl al 10 % para la remoción de carbonatos. Entre cada procedimiento la muestra fue lavada con agua destilada. Una vez limpia se diluyó en agua destilada y se montó en preparado permanentes utilizando el medio de montaje Naphrax® (índice de refracción 1,74). Posteriormente las muestras fueron analizadas para la determinación y recuento diatomeas y fitolitos utilizando un microscopio óptico con una magnificación de 100X (Olympus CX31 y Nikon eclipse 80i).

Cronología

Las muestras para datación fueron seleccionadas en base a cambios litológicos significativos. En general se eligieron próximas a la zona media y base del testigo. La cronología de las muestras se realizó mediante dataciones radiocarbónicas de sedimento. A todas las muestras, previo a su envío al laboratorio, se le determinó el contenido de carbono orgánico para garantizar un contenido mayor al 1 % a partir del cual el laboratorio puede efectuar un pretratamiento ácido para la eliminación de los carbonatos que puedan contaminar la datación. La determinación del contenido de carbono orgánico se realizó en el Laboratorio Nacional de Investigación y Servicios de N-15 (LANAIS N-15) utilizando un analizador automático de carbono por combustión seca marca LECO, modelo CR-12. Las muestras seleccionadas fueron secadas a 60 °C para eliminar la humedad durante 24 hs, posteriormente fueron empacadas y enviadas de acuerdo con las normas del laboratorio. La metodología empleada para la determinación radiocarbónica fue espectrometría de masa (AMS por sus siglas en inglés) realizado en el laboratorio de radiocronología de la Universidad Laval de Quebec (<http://www.cen.ulaval.ca/en/page.php?lien=labradio>).

TRABAJO DE GABINETE

Cartografía geomorfológica

La cartografía geomorfológica se realizó con la información recopilada en la etapa de gabinete inicial, junto con la información relevada a campo en el software ArcGIS® 10.2.2 de ESRI. La identificación de las unidades geomorfológicas se realizó siguiendo técnicas de interpretación visual, considerando los procesos morfogenéticos que le dieron origen, lo que se fundamenta en el conocimiento desarrollado por distintos autores como Klimaszewski (1956); Tricart (1965, 1973); Demek et al. (1972); Pedraza Gilsanz (1996) y Gustavsson et al. (2006). Las unidades geomorfológicas fueron diferenciadas por colores en base al/los proceso/s que las originó, para ello se siguió la propuesta de Gustavsson et al. (2006), aunque no se adoptó íntegramente. El mismo criterio, por proceso, fue seguido para la estructuración de las referencias.

Estratigrafía y sedimentología

La información obtenida del análisis de las muestras de sedimento fue integrada en el programa GRADISTAT V 4.0 (Blott y Pye, 2001), con el que se determinaron los parámetros estadísticos usando la metodología de Folk y Ward (1957). La clasificación de las muestras se obtuvo a partir de su distribución en el diagrama de Folk (1954).

La representación estratigráfica de los testigos, así como también las variaciones granulométricas de las fracciones principales a lo largo del testigo se realizaron con el software Tilia (Grimm, 1987) utilizando simbología de Tröels-Smith (1955). Para el análisis e interpretación de las imágenes de rayos X y las fotografías se utilizaron las siguientes fuentes: Francus (2006), Wu y Li (2004), Song et al. (2005), Li et al. (2017). Además se utilizó el criterio de interpretación visual de las fotografías considerando la variación del color entre los tonos verdes y rojizos. En la literatura se expresa cuantitativamente como valor a^* en el sistema CIELAB, que varía de verde (valores positivos) o el rojo (valores negativos), y es utilizado como indicador de la profundidad del agua (Wu y Li, 2004; Song et al., 2005; Nederbragt et al., 2006) para sedimento lacustre. En lagos profundos hematita se reduce más fácilmente a goethita, ese cambio mineralógico tiende a dar una coloración verdosa. Así, mientras más profundo es el lago más oscuro es el color verdoso en el sedimento (Li et al., 2017). Además se utilizó la variación en el parámetro L^* del sistema CIELAB para analizar cualitativamente la variación en la materia orgánica. De acuerdo con Nederbragt et al. (2006) tonos más oscuros, menor luminosidad reflejan mayor contenido de materia orgánica, mientras que tonos más claros reflejan lo contrario. A partir del análisis de las imágenes de Rayos X se evaluó la existencia de estructuras sedimentarias, así como también, se realizó una estimación cualitativa del contenido de materia orgánica en relación al contenido mineral. Considerando que capas ricas en minerales tienen mayor capacidad de absorción de los rayos X que las capas ricas en materia orgánica por lo que se representan en las imágenes de rayos X como una sombra más clara (Ojala, 2005).

Tratamiento de datos y cartografía batimétrica

Los datos almacenados en las memorias flash a bordo del dron (GPS, ecosonda, parámetros del equipo y datos de balanceo) fueron integrados en un script de programación en el que se realizó la transformación de la velocidad de sonido a profundidad y las correcciones por balanceo obteniendo como resultados los parámetros XYZ en el sistema coordenadas geográficas datum WGS1984.

La longitud de la costa y el área de las lagunas se determinó mediante el procesamiento de imágenes satelitales Landsat (5 TM y 8 OLI) próximas a la fecha de relevamiento batimétrico. Las imágenes tienen una resolución temporal de 16 días y una resolución espacial de 30 x 30 m. Las imágenes correspondieron a los productos Landsat Collection 1 - Level 1 (Path 227 y Row 86 para las lagunas Púan y los Chilenos; Path 226 y Row 87 para La Salada y Sauce Grande) y fueron descargadas de la página del United States Geological Survey web page (<http://earthexplorer.usgs.gov>). Cada imagen incluye datos de reflectancia superficial. Para diferenciar entre cuerpos de agua y otras coberturas

terrestres se aplicó una combinación de bandas RGB (infrarrojo cercano; infrarrojo lejano; rojo) a las imágenes (Landsat 5: bandas 4-5-3; Landsat 8: bandas 5-6-4). Esta combinación de bandas es la más adecuada para diferenciar cuerpos de agua de otras coberturas del suelo (NASA, 1999; Horning, 2004). Finalmente el área de las lagunas se obtuvo a través de aplicar una clasificación no supervisada (método IsoData) a la combinación RGB de cada imagen y la posterior vectorización de las capas definidas. El procesamiento de las imágenes se realizó en los programas ENVI 4.1 y ArcGIS® 10.2.2. Posteriormente, a la conversión en vector se determinó el área y perímetro con las herramientas en ArcGIS 10.2.2 utilizando la proyección Universal Transversal Mercator (UTM), zona 20S.

Luego, el polígono de la línea de costa fue transformado a puntos a los que se les asignó un valor cero de profundidad. Los valores de profundidad, obtenidos mediante la batimetría, fueron importados junto con los puntos de la línea de costa en el software Global Mapper. Posteriormente se realizó la interpolación entre los datos utilizando el método de triangulación y la generación de las líneas de contorno obteniendo así el mapa batimétrico de las lagunas.

Los parámetros morfométricos de tamaño y las curvas hipsográficas se obtuvieron utilizando el software ArcGIS® 10.2.2, del relevamiento batimétrico se obtuvo Z_{max} . Los cálculos aplicados para la estimación de los parámetros morfométricos de forma y especiales se realizó de acuerdo con Kerekes, (1977), Ryding y Rast, (1992), Quirós et al. (2002) y Hakanson (2004) siguiendo las formulas resumidas en la Tabla II-1.

La forma de la curva hipsográfica se analizó de acuerdo con la clasificación de Hakanson (2012) resumida en la Tabla II-2, en la misma se describe además la relación con el V_d ambos parámetros describen la forma del lago, puede observarse que curvas convexas se corresponden V_d pequeños, lo contrario para curvas cóncavas. En la Figura II-7 se puede observar claramente la relación entre la forma de la curva hipsográfica y la morfología de la cubeta. Tanto el V_d como la curva hipsográfica son importantes para la interpretación de los procesos internos del lago, por ejemplo, la resuspensión del sedimento (Hakanson, 2012).

Tabla II-1: Parámetros morfométricos estimados en base a Hakanson (2004) [1], Kerekes, (1977) [2], Ryding y Rast, (1992) [3] y Quirós et al. 2002 [4].

Parámetros	Área (A)	km ²	-
	Volumen (V)	km ³	-
	Longitud máxima (L _{max})	km	-
	Ancho máximo (W _{máx})	m	-
	Profundidad máxima (Z _{max})	m	-
Parámetros de forma	Profundidad media (Z _{mv})	m	$Z_{mv} = \frac{V}{A}$ [1]
	Profundidad relativa (Z _r)	%	$Z_r = \frac{Z_{max} * \sqrt{\pi}}{20 * \sqrt{A}}$ [1]
	Longitud de la línea de Costa (L _o)	km	
	Desarrollo de la costa (L _d)	Adim.	$L_d = \left\{ \left(\frac{L_o}{2} \right) * \left[\sqrt{\pi * A} \right] \right\}$ [1]
	Desarrollo del volumen (V _d)	Adim.	$V_d = \frac{3 * Z_{mv}}{Z_{max}}$ [1]
	Pendiente promedio (S)	%	$S = \left\{ \left[L_o + (2 * L_{cot}) \right] * \left[\frac{Z_{max}}{20 * n * A} \right] \right\}$ <p><i>Lcot: Longitud total de todas las líneas de contorno excluyendo la línea de costa en km, n= número de líneas de contorno. [1]</i></p>
Parámetros Especiales	Profundidad base de las olas (Z _{wb})	m	$Z_{wb} = \left[\frac{45.7 * \sqrt{A}}{21.4 * \sqrt{A}} \right]$ <p>Con A en km² [1]</p>
	Relación dinámica (DR)	Adim.	$DR = \sqrt{A} / Z_{mv}$ [1]
	Áreas de Erosión y Transporte (ET-área)	%	$ET = 0.25 * DR * 41^{(0.061/DR)}$
	Índice de Permanencia de la Cuenca (BPI)	10 ⁶ m ³ .km ⁻¹	$BPI = \frac{V}{L_d}$ [2]
	Profundidad media de la Zona Eufótica (Z _{eu})	m	$Z_{eu} = 2,5$ * <i>prof. del disco secchi</i> [3]
	Relación Z _{mv} /Z _{eu}	adimensional	<1 aguas claras >1 aguas turbias [4]

Tabla II-2: Sistema de clasificación para definir la forma de las curvas hipsográficas del lago los valores de V_d (modificado de Håkanson, 2004).

Forma de la Laguna	Código	Límite de clases	V_d
Muy convexa	VCx	$f(-3)-f(-1,5)$	0,05-0,33
Convexa	Cx	$f(-1,5)-f(-0,5)$	0,33-0,67
Ligeramente convexa	SCx	$f(-0,5)-f(0,5)$	0,67-1,00
Linear	L	$f(0,5)-f(1,5)$	1,00-1,33
Cóncava	C	$f(1,5)-f(3)$	1,33-2,00

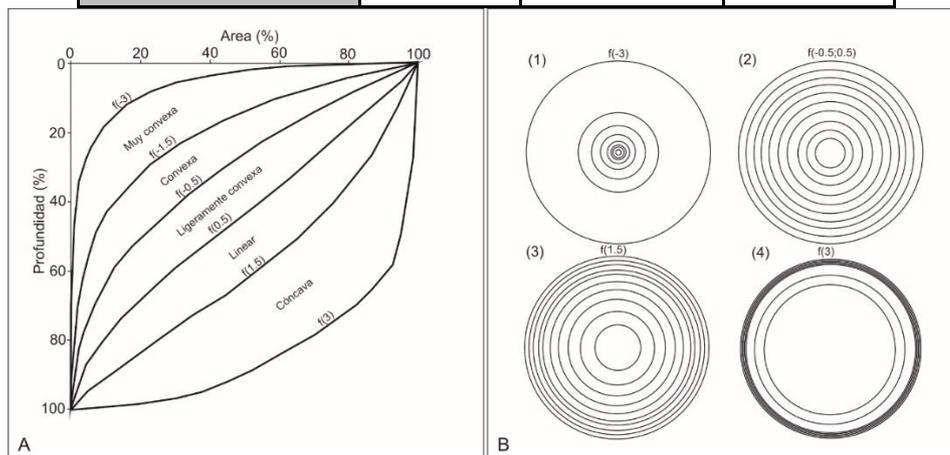


Figura II-7: a) Terminología y límites de clases para la determinación de la forma de la curva hipsográficas; b) Representación esquemática de la relación entre la forma de la curva y la morfología de la cubeta (modificado de Håkanson, 1977).

Los parámetros de Z_{wb} y Z_{eu} fueron utilizados para determinar la superficie afectada por resuspensión del sedimento y la determinación de las zonas litorales y pelágicas, respectivamente, en base a su relación con la curva hipsográfica. Asimismo, Z_{eu} se utilizó para cartografiar la relación entre las zonas litorales y pelágicas utilizando el software ArcGIS® 10.2.2. A partir del raster del mapa batimétrico se confeccionó además el mapa de taludes utilizando la herramienta pendiente del paquete Análisis 3D del mismo software. Por otro lado, se realizó la determinación del origen mediante la forma de la laguna utilizando el desarrollo de la línea de costa siguiendo la clasificación propuesta por Hutchinson (1957) que fue posteriormente modificadas por Timms (1992) (Tabla II-3).

Tabla II-3: Formas establecidas por Hutchinson (1957) y Timms (1992).

Forma	L_d	Origen
Circular	$1 < L_d \leq 1,25$	lagos y lagunas en conos volcánicos, dolinas perfectas, cubetas de deflación pequeñas
Subcircular	$1,25 < L_d < 1,5$	lagos de circo, de kettle, volcánicos, en dolinas, de deflación
Elíptica	Ligeramente superior a la Circular y subcircular	lagunas conectadas por deflación, o lagos que se encuentran entre médanos parabólicos costeros
Subrectangular alargado	$>2,0$ puede exceder 5,0	Grabens, fiordos, lagos de valle profundos que aparecen como ríos ensanchados.
Dendrítica:	$>3,0$	Valles fluviales poco profundos bloqueados por represamientos
Semilunar	-	Meandros abandonados, maars
Triangular	1,5 - 2,0	Inundación de valles no disectados.
Irregular	Pueden exceder los 20	Morfologías complejas por fusión de cuencas

Además se calculó la profundidad crítica a la cual ocurre la resuspensión del sedimento a partir de la determinación de la longitud de onda (L_w) de las olas en determinadas condiciones de velocidad del viento (V ; m/s) y Distancia (F ; m) calculada mediante la aproximación de Carper y Bachmann (1984), luego empleada por Scheffer (2004) para analizar la resuspensión en lagos poco profundos. La longitud de onda fue calculada mediante la siguiente fórmula:

$$L_w = 1,56 \left[0,77 * V * \tanh \left[0,077 \left[9,8 * \frac{F}{V^2} \right]^{0,25} \right] \right]^2$$

Posteriormente, se determinó la profundidad crítica a la cual ocurre la resuspensión considerando que esta tendrá lugar cuando la ola toque el fondo de la laguna, esta situación ocurre cuando $L_w > 2*Z$, considerando como Z a la profundidad (Scheffer, 2004), en adelante se denominará a la profundidad como profundidad crítica.

El índice de Permanencia de la Cuenca (BPI) fue calculado para estimar el grado influencia de la zona litoral sobre el volumen del lago (Kerekes, 1977; Barroso et al., 2014). En el momento de su formación la cubeta tiene una cierta relación entre el volumen y la longitud de la orilla, un cierto índice de permanencia de la cuenca, la cual se ira colmatando

gradualmente haciendo más pequeña la relación entre ambos parámetros, hasta que se vuelva cero, cuando se complete la colmatación de la cuenca (Kerekes, 1977). A partir del análisis de varios lagos Kerekes (1977) encontró que los lagos con índices de permanencia de $< 0,1$ usualmente están dominados por plantas acuáticas enraizadas y muestran indicios de senescencia (superficialidad excesiva, turbidez y concentración de fósforo total relativamente alta), mientras que los lagos con índices de permanencia cercanos a $0,2$ o más son más permanentes en naturaleza. Además se estimó el DR (Tabla 1) para determinar la influencia de la turbulencia y la resuspensión del sedimento por el viento y las olas, en donde valores entre $0,05$ y 4 indican predominio de procesos de erosión y transporte y valores inferiores a $0,05$ predominio de procesos de taludes. Además se estimó el porcentaje del área de la laguna sujetas a erosión y transporte (ET-áreas) considerando el DR (Hakanson, 2004).

Hidrología y limnología

Se estudió la máxima retracción y expansión del área de las lagunas en la actualidad. Para ello, a través del análisis de la variación del Índice de Precipitación-Evapotranspiración Estandarizada (SPEI; Vicente-Serrano y Beguería, 2016). Se identificaron períodos excepcionalmente húmedos y secos en la región de cada cuerpo de agua. La elección de este índice se basó en que puede obtenerse fácilmente una amplia y completa serie de datos que posee una exitosa capacidad para determinar la magnitud y duración de los períodos de sequía ya que ha sido verificado su aplicabilidad y funcionamiento en varios trabajos en la región pampeana (p.e., Bohn et al., 2016; Brendel et al., 2017a, b).

El SPEI es un índice climático mensual calculado a partir de la diferencia entre la precipitación acumulada en un período de tiempo y la evapotranspiración de referencia. Puede ser calculado a diferentes escalas espaciales y temporales (1 a 48 meses). Se descargaron los datos a una escala de 12 meses (SPEI 12M), con una resolución espacial de $0,5^\circ$ para el período 1951-2017 del modelo global SPEI Global Drought Monitor, disponible en la página oficial del SPEI (<http://sac.csic.es/spei/home.html>) (Vicente-Serrano y Beguería, 2016). El SPEI Global Drought Monitor utiliza datos de temperatura media mensual obtenidos del modelo global NOAA NCEP CPC GHCN_CAMS (ftp://ftp.cpc.ncep.noaa.gov/wd51yf/GHCN_CAMS/), y datos de precipitación mensual acumulada del modelo global Global Precipitation Climatology Centre (ftp://ftp-anon.dwd.de/pub/data/gpcc/first_guess/). El SPEI Global Drought Monitor estima la evapotranspiración de referencia utilizando la metodología de Thornthwaite (Thornthwaite, 1948).

Se analizaron las series de tiempo del SPEI para tres estaciones. La estación ubicada en los 37,25° S- 62,25° O permitió la identificación de los períodos secos y húmedos para las lagunas de Puan y Los Chilenos. La estación localizada en 38,75° S – 61,25° O se usó para Sauce Grande y la estación ubicada en los 39,25° S – 62,25° O se utilizó para la laguna La Salada. El SPEI fue aplicado a una escala temporal de 12 meses (SPEI 12M) ya que a esta escala se relaciona con la descarga de ríos y el volumen de agua en cuerpos de agua (Mc Kee et al., 1995; Vicente-Serrano et al., 2010) y ha sido aplicada exitosamente en estudios similares en la región (Bohn et al., 2016). La categorización del SPEI considera húmedos a los registros con valores mayores a 0,5, y secos a los registros con valores menores a -0,5. Los períodos para los que el valor del SPEI se encuentra entre -0,5 y 0,5 son considerados normales (Tabla II-4) (Wang et al., 2015).

Una vez definidos los períodos excepcionalmente húmedos y secos se procedió al cálculo del área de las lagunas al final de los mismos. La superficie de los cuerpos de agua se calculó a través del procesamiento de imágenes satelitales Landsat (5 TM y 8 OLI) utilizando la misma metodología desarrollada en el apartado anterior para la extracción del área y la línea de costa. Finalmente, se comparó la superficie de los cuerpos de agua luego de los períodos excepcionalmente húmedos y secos.

Tabla II-4: Categorías de SPEI (tomado de Wang et al., 2015; Vicente-Serrano et al., 2010).

Categorías	Valores del SPEI
Extremadamente húmedo	≥ 2
Muy húmedo	1,50 / 2,00
Moderadamente húmedo	1,00 / 1,50
Humedad incipiente	0,50 / 1,00
Normal	0,50 / -0,50
Sequía incipiente	-0,50 / -1,00
Moderadamente seco	-1,00 / -1,50
Muy seco	-1,50 / -2,00
Extremadamente seco	≤ -2

Determinación, recuento, análisis de diatomeas y fitolitos y agrupación de gremios ecológicos

Las diatomeas se contaron hasta alcanzar las 400 valvas; en los casos en donde se encontró alta abundancia se contaron 500 valvas por muestra, simultáneamente se efectuó el conteo de fitolitos. Las principales fuentes para identificación de las especies

fueron Krammer y Lange-Bertalot (1991, 1999, 2000), Rumrich et al. (2000), Metzeltin y Horst Lange – Bertalot (2007), Kelly et al. (2005), Sar et al. (2009), Spaulding et al. (2010), Kociolek (2012). La caracterización de las preferencias ecológicas de cada una de las especies se realizó con los antecedentes de van Dam et al. (1994), Hassan et al. (2009), Moro y Fürstenberger (1997), Cremer et al. (2001), Kelly et al. (2005) y Spaulding et al. (2010). La nomenclatura de las especies se verificó mediante Guiry y Guiry (2018). Para cada uno de los testigos se calculó la proporción de cada una de las especies dentro de la muestra seleccionándose aquellas que superaron más del 2 %, en más de una muestra, para ser representadas en el diagrama con el software Tilia (Grimm, 1987). La determinación de las zonas de diatomeas se hizo en el mismo software mediante la aplicación de un análisis de agrupamiento restringido a la estratigrafía utilizando el programa CONISS (Grimm, 1987).

Las diatomeas fueron clasificadas de acuerdo al gremio ecológico al que pertenecen, esto es, aquellos grupos de taxones que viven, o se han adaptado, en un mismo tipo de ambiente (Devito et al., 2004). La agrupación se realizó de acuerdo a los tres gremios definidos por Passy (2007) -gremio de perfil bajo, alto y móvil-, con la incorporación de un gremio que agrupa las especies planctónicas, que incluye aquellas diatomeas capaces de resistir la sedimentación tal como lo definen Rimet y Bouchez (2012b). El gremio de perfil bajo consiste en especies de baja estatura, incluyendo postradas, adnatas, pequeñas, céntricas solitarias y especies de movimiento lento (*sensu* Passy, 2007). El gremio de perfil alto incluye especies de estatura alta que poseen grandes cúspides erectas, filamentosas, ramificadas, formadoras de cadenas, formadoras de tubos y coloniales. Finalmente, el gremio móvil contiene especies de rápido movimiento (Hudon y Legendre, 1987). La discriminación de cada una de las especies en los gremios mencionados se hizo en base a las investigaciones de Passy (2007), Berthon et al. (2011) y Rimet y Bouchez (2012b). La asignación a cada miembro se priorizó a nivel de especie, en los casos en que no fue posible se utilizó el género. La clasificación de salinidad se realizó siguiendo la clasificación de Lowe (1974).

En simultáneo con el conteo de diatomeas, se llevó a cabo un conteo de fitolitos de gramíneas. La identificación se realizó en base a la clasificación Twiss (1992) de acuerdo con sus características morfológicas. Posteriormente, se calculó la relación fitolitos/diatomeas a lo largo del testigo el cual fue utilizado como un indicador de terrenalización.

Calibración de dataciones y construcción del modelo de edad-profundidad

La calibración de las muestras individuales y los modelos de edad-profundidad se realizaron mediante el paquete Bacon (Blaauw y Christen, 2011) que utiliza la plataforma de R versión 3.3.3 (R Development Core Team, 2017). Todas las edades fueron calibradas utilizando la curva de calibración para el hemisferio sur, SHCal13 (Hogg et al., 2013). Los resultados fueron expresados en tablas de acuerdo con las convenciones establecidas por Millard (2014).

Para la asignación de edad en aquellos tramos del testigo en donde el modelo de edad-profundidad no arrojó resultados (en Sauce Grande y La Salada desde los 57 y 104 cm, respectivamente, hasta la base del testigo) se realizó el ploteo de los valores de edad profundidad obtenidos en un gráfico de dispersión en Excel y se extrajo la línea de tendencia que mostró mayor ajuste con los datos graficados. Posteriormente se extrajo la función de la línea de tendencia a partir de la cual se calcularon las edades para las profundidades no estimadas. Utilizando la misma línea de tendencia se analizó el tipo de función en el que se ajustaron los datos y el orden en el caso de funciones polinómicas.

Análisis estadísticos

Para resumir la variabilidad ambiental se realizaron distintos análisis estadísticos cuya elección estuvo determinado por la calidad de los datos obtenidos. Estos incluyen el análisis de Escalamiento Multidimensional No Métrico (EMD-NM en español, NMDS en inglés) y Análisis de Componentes Principales (ACP en español, PCA en inglés).

El método NMDS se aplicó en aquellos testigos en donde no se encontró un registro de diatomeas con conteos de 400 valvas a lo largo de todo el testigo, utilizándose en este caso los conteos directos. En aquellos donde se logró conteos superiores a 400 valvas en prácticamente todo el testigo se utilizó el análisis ACP, en este caso se emplearon las proporciones de cada una de las especies. Para los análisis se conformó una matriz de datos consistente en conteos/proporciones de diatomeas, conteo total de fitolitos, porcentaje de cada gremio ecológico (perfil alto, perfil bajo, móvil y planctónico) y principales fracciones granulométricas (grava, arena, limo y arcilla). La manipulación y el análisis estadístico de los datos se realizó en lenguaje R (R Core Team, 2017).

Previo al análisis, los datos fueron estandarizados para llevarlos a unidades comunes y evitar efectos erróneos producto de la heterogeneidad de las unidades para lo que se utilizó la función de base "scale" de R. En la determinación de ambos análisis, NMDS y ACP, se empleó el paquete 'Vegan' (Oksanen et al., 2017). La asociación ambiental de los nuevos ejes de ordenadas definidos para las variables se realizó

evaluando la localización de cada variable. Asimismo, se determinaron los puntajes de las muestras para cada uno de los ejes seleccionados los cuales fueron trazados en orden estratigráfico como una medida de como las variables ambientales identificadas cambian a través del tiempo. La definición del número de componentes se realizó considerando aquellos en que los *eigenvalues* fueron mayores que los puntos de quiebre de los componentes (Broken Stick) determinados aleatoriamente (Jackson, 1993).

CAPITULO III

HIDROLOGÍA, LIMNOLOGÍA, Y MORFOMETRÍA DE LAS LAGUNAS ESTUDIADAS

La provincia de Buenos Aires cuenta con un sinnúmero de ambientes acuáticos, algunas aproximaciones contabilizan un total de 13824 lagunas mayores a 10 ha (Geraldí, 2011). Estos ambientes acuáticos son muy complejos debido a que presentan gran heterogeneidad en sus usos, origen, composición y funcionamiento. Debido a su morfología las lagunas pampeanas responden rápidamente a condiciones de extrema sequía o intensas precipitaciones los cuales pueden ocasionar cambios drásticos en su estructura y funcionamiento (Quirós et al., 2002) La rápida respuesta de estos ecosistemas a las variaciones climáticas sumado al impacto de las diversas actividades humanas generan no sólo cambios en su composición físico-químicas, sino también variaciones de las formas y contenido de agua, llegando en algunos casos hasta la desaparición de los mismos (Geraldí, 2010).

En el área de estudio se distinguen dos regiones hidrológicas, una entre los 37°-38,5° S y al sur de los 38,5° S (Fig. III-1). La primera región se corresponde con el ambiente típico pampeano en donde la Sierra de la Ventana conforma el área de cabecera de los principales drenajes. Dependiendo de la localización de las cabeceras, en el flanco occidental, el escurrimiento varía desde una dirección Suroeste-Noroeste (en su extremo Norte), Noreste-Suroeste (en la zona centro-Norte) a Norte-Sur (desde aproximadamente los 38 °S hasta su extremo Sur). La segunda región, al sur de los 38,5° S, corresponde a un ambiente con características patagónicas, en donde el drenaje está caracterizado por sistemas alóctonos, ríos Colorado y Negro, cuyas nacientes se encuentran en los Andes y atraviesan la región sin aportes significativos.

El acuífero freático en la región pampeana se aloja en los denominados “sedimentos pampeanos” (Fidalgo et al., 1975). Debido a sus características sedimentarias dan lugar a acuíferos multicapa, con la presencia de niveles acuíferos y acuitardos. Su hidrodinámica está condicionada por la morfología local, que se superpone a una dinámica regional de dirección Este-Oeste (Albouy y Lafont, 2011). Las zonas altas son áreas de recarga y las deprimidas de descarga, en estas últimas comúnmente se desarrollan lagunas (Albouy y Lafont, 2011). En base a esto último la mayoría de las lagunas permanentes de la región se sospecha poseen conexión con el acuífero freático.

A continuación se analizará la hidrología y limnología de las lagunas bajo estudio y sus cuencas asociadas. Posteriormente se presentará sus batimetrías con el correspondiente análisis de sus parámetros morfométricos y como los mismos influyen en sus características limnológicas. Finalmente, se realizará la determinación de eventos húmedos y secos extremos utilizando el índice SPEI para posteriormente analizar la variación de la superficie de las lagunas en relación a los cambios hidrológicos.

HIDROLOGÍA Y LIMNOLOGÍA

La laguna de Puan es de carácter permanente, alimentada por precipitaciones a través de drenajes locales, el único aporte semipermanente es el arroyo Pichincay que nace al Este de la laguna y posee una extensión 2700 m (Haag, 2012). Su cuenca de drenaje de 95,2 km², posee el área de cabecera en el flanco occidental de la Sierra de la Ventana y sus drenajes confluyen en la laguna de Puan caracterizándola como endorreica (Fig. III-1b). En relación al acuífero freático, dado la profundidad a la que se encuentra el mismo en la región, alrededor de 4-6 m (Carrica y Albouy, 1999; Auge, 2004), se sospecha una conexión de la laguna con el acuífero freático.

La laguna Los Chilenos, de carácter permanente, recibe el aporte del arroyo Cochenleufú, previo a su paso por un humedal (Bertora et al., 2016), sus nacientes se encuentran en el faldeo occidental del Sistema de Ventania, aproximadamente a 40 km lineales al Oeste de la laguna (Fig. III-1c). Posee una cuenca de drenaje de 794,9 km². La laguna Los Chilenos en esta posición actúa como exorreica dando origen al arroyo Chasicó el cual desemboca en la laguna del mismo nombre localizada a aproximadamente 85 km al Suroeste de Los Chilenos. Según Dangavs (2005) la laguna Los Chilenos puede presentar una relación de carácter efluente-influente con el agua subterránea.

La laguna Sauce Grande, de régimen permanente, recibe el aporte del río Sauce Grande por el Oeste, siendo afluente a su vez, en su extremo oriental, del río con el mismo nombre, poco antes de su desembocadura en el mar (Cony et al., 2014). El río Sauce Grande nace en el faldeo Oriental del sistema de Ventana, aproximadamente a 120 km lineales al Nornoroeste de laguna, este río en su cuenca media-alta es represado en el dique Paso de las Piedras (Gil, 2009). Posee una cuenca de drenaje de tipo exorreica de 4576,1 km²; la laguna Sauce Grande se localiza en su cuenca baja a aproximadamente 22 km antes de la desembocadura del río Sauce Grande en el mar. El acuífero freático en la zona se encuentra entre 6-30 m de profundidad, con una pendiente hidráulica hacia la laguna por lo que se supone una conexión entre la laguna y el acuífero, siendo por lo tanto las precipitaciones y el agua subterránea la principal fuente de alimentación en épocas de

sequía en donde se ha observado la desconexión con los arroyos afluentes (Fornerón, 2013). Además se supone que debido a que su flanco sur se apoya en el cordón de médanos costeros, una parte del agua de la laguna se debe infiltrar en los mismos aportando al acuífero freático.

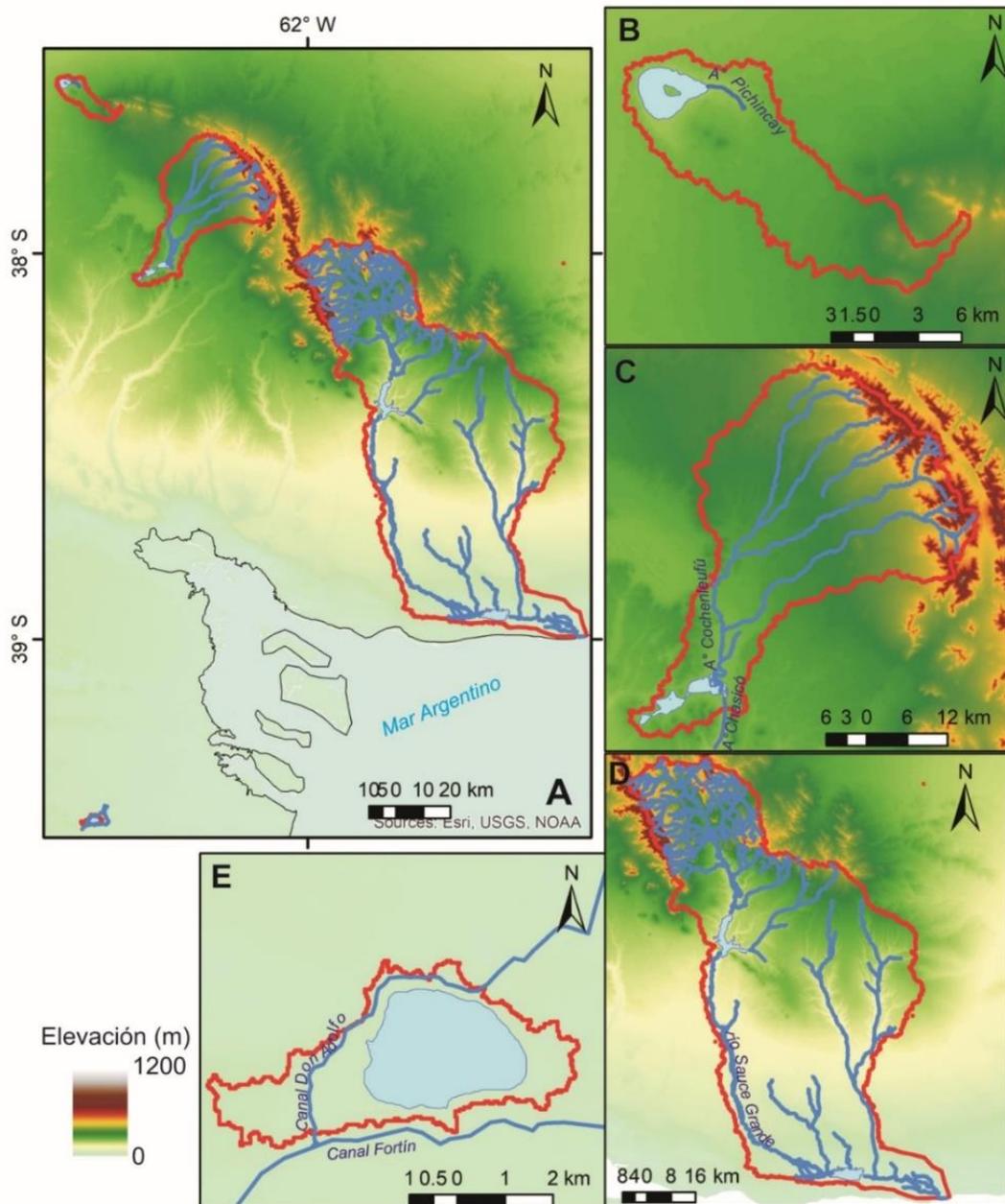


Figura III-1: a) Localización de las cuencas hidrográficas de las lagunas bajo estudio; Se presentan además el detalle de las cuencas hidrográficas y colectores principales de las lagunas de b) Puan; c) Los Chilenos; d) Sauce Grande y e) La Salada.

La laguna La Salada se caracteriza por un régimen permanente. Posee una cuenca de drenaje de 9,1 km². El río Colorado constituye el principal recurso hídrico de la región.

Dicho río es el único caudal que llega a la laguna a través de los canales de riego Don Adolfo y Fortín construídos en la década del '30. El manejo de los caudales de dichos canales es realizado por la entidad Corporación de Fomento del Valle Bonaerense del río Colorado (CORFO) quien deriva los excedentes de los riegos en terrenos vecinos y proporciona un caudal mínimo para el riego de la Villa La Salada durante los meses de Agosto y Octubre, períodos en donde hay menor déficit hídrico (Aragón, Comunicación personal, 22/07/2015). La relación entre el acuífero freático y la laguna se desconoce. Sin embargo, debido a la sobresaliente salinidad, profundidad máxima (3 m) y a la profundidad del acuífero freático (alrededor de 3 m) (Aragón, comunicación personal, 22/07/2015), se sospecha que existe una relación de influencia del acuífero freático en la laguna.

En la Tabla III-1 se resumen las principales variables fisicoquímicas de las cuatro lagunas presentándose el valor medio, mínimo y máximo, en donde fue posible. La elaboración de la tabla se realizó en base a los estudios de Cony et al. (2014), Alfonso et al. (2014), Baigún y Anderson (1993), Bertora et al. (2016), Zunino (2018) y a un relevamiento puntual en el caso de la Laguna de los Chilenos (datos inéditos de esta tesis).

Tabla III-1: Resumen de las principales variables fisicoquímicas de las lagunas estudiadas.

Variables Fisicoquímicas	Puan	Los Chilenos	Sauce Grande	La Salada
<i>Conductividad (mS/cm)</i>	8,1 (5,6-11,2)	0,65	11,13 (9,10-10,5)	44,7 (30,2-63,4)
<i>pH</i>	9,65 (8,2-11,6)	8,97	10,02 (8,42-10,75)	9,9 (9,3-10,5)
<i>Transparencia (m)</i>	0,68 (0,2-1,4)	0,54	0,05 (0,05-0,10)	1,5 (0,6-2,9)
<i>Temperatura (°C)</i>	15,3 (7,4-25,1)	21,7	14,9 (5,10-26,10)	16,7 (8,0-23,8)
<i>Salinidad</i>	-	0,32	0,62 (0,48-0,94)	34,0 (20,9-52,0)
<i>Material Particulado en Suspensión (mg/l)</i>	10,3(1,2-44,4)	14,8	1076,60 (896,00-1280,00)	36,6 (6,0-89,0)
<i>Estado trófico</i>	Eutrófico/ Hipertrofico	Eutrófico/ hipertrofico	Eutrófico/ hipertrofico	Eutrófico/ mesotrofico
<i>Clorofila a (mg/m3)</i>	3,6 (0,0-13,5)	31,4	486,05 (327,60-749,20)	0,0086 (0,0013-0,018)

Zunino (2018) realizó un estudio de las variables físico-químicas y fitoplanctónicas de las lagunas de Puan y La Salada en el cual incluyó el final de un período seco y condiciones excepcionalmente húmedas. En relación a las variables físico-químicas dicha autora no encontró diferencias significativas respecto del pH, el oxígeno y la temperatura entre las dos lagunas y la variación estacional de estos parámetros. Sin embargo, Zunino (2018) remarca como principal diferencia entre ambas lagunas la alta salinidad registrada en la laguna La Salada y un comportamiento opuesto en el pH en relación con el inicio del período lluvioso registrándose un valor máximo de pH en Puan y mínimo en La Salada. En relación a la turbidez Zunino (2008) encontró una disminución de la misma con el

incremento del nivel en la laguna de Puan. Respecto de los valores de clorofila a, encontró que La Salada presentó mayor concentración que Puan (Tabla III-1), destacándose La Salada por sus máximas concentraciones en otoño- invierno siendo común en las lagunas pampeanas máximos en primavera-verano (Zunino, 2018). Las concentraciones de clorofila a fueron altas, aunque no tan altas como las lagunas altamente eutróficas, como es por ejemplo la laguna Sauce Grande (Zunino, 2018).

En cuanto a la composición de diatomeas registradas en la laguna de Puan. Zunino (2018) estableció una importante variación entre los períodos secos y húmedos. Entre las especies más abundantes registradas se encuentra *Cyclotella meneghiniana*, *Cymbella* sp., *Craticula* sp., *Navicula* spp., *Nitzschia palea*, *Surirella striatula* y *Campylodiscus clypeus* entre otras. Durante los períodos secos fueron dominantes las diatomeas de gran tamaño como *Campylodiscus clypeus* y *Surirella striatula* (Zunino, 2018). La laguna La Salada presentó una baja diversidad estando dominado por *Cyclotella choctawatcheeana*, también se encontró *Chaetocero muelleri*, *Cyclotella meneghiniana* y *Navicula* sp. entre otras (Zunino, 2018).

La laguna Sauce Grande fue estudiada desde abril a septiembre del 2014 período húmedo por Cony et al. (2016) quienes determinaron condiciones eutróficas en base a clorofila a (Tabla III-1). Entre las diatomeas reconocidas por los autores se encuentran *Stauriosira construens* como dominante, *Pseudostauriosira brevistriata* var. *inflata*, *Pseudostauriosira* spp., *Aulacoseira granulata*, *C. meneghiniana*, *Rophalodia* aff. *gibberula*, entre otras. Ferrer et al. (2012) estudiaron la composición de fitoplancton durante un período seco encontrando como diatomeas más abundantes *C. meneghiniana* y *Chaetoceros muelleri*. Fornerón (2013) analizó la laguna Sauce Grande durante un período seco, reconociendo una intensificación de la concentración de los parámetros físicos (salinidad y turbidez) y biológicos (nutrientes y clorofila a), a su vez caracterizó a la laguna como eutrófica con tendencia hipertrófica a partir de la concentración de clorofila a.

En la laguna Los Chilenos los antecedentes limnológicos son escasos, orientados en su mayoría a estudios ictiológicos (Quirós, 1988; Baigún y Anderson, 1993; Bertora et al., 2016; Berasain et al., 2017). Baigún y Anderson (1993) recopilaron los datos limnológicos obtenidos por Quirós (1988) quien registró, durante el verano, una profundidad de disco secchi de 0,52 cm, Clorofila a 23,8 mg/m³, un contenido de Nitrógeno Orgánico total de 117 mg/m³, y 72 mg/m³ de Fósforo total. Bertora et al. (2016) registraron en marzo de 2016 una conductividad de 603 µS/cm, una profundidad de disco secchi de 43 cm, clorofila a de 39 mg/m³ y pH de 7,5. En el informe técnico de Berasain et al. (2017) además del relevamiento ictiológico registraron salinidad y profundidad de disco secchi, obteniendo

1 gr/l y 55 cm respectivamente. Bertora et al. (2016) examinaron además la laguna de Pigüe localizada al Oeste de la laguna Los Chilenos, la cual se conecta ocasionalmente con esta última a través de un humedal. En base a sus análisis determinaron que a pesar de la conexión hidrológica entre ellas estas presentan características físico-químicas, concentración algal, densidad de zooplancton y comunidades de peces diferenciados. Además, Bertora et al. (2016) documentan mortandades masivas de peces durante un evento de sequía regional, asociado a un evento La Niña, ocurrido durante los años 2009 y 2011 que afectaron el volumen de la laguna.

BATIMETRÍA Y MORFOMETRÍA

Del relevamiento batimétrico de las lagunas se confeccionó el mapa batimétrico de cada una de las ellas (Puan, Fig. III-2a; Los Chilenos, Fig. III-2b; Sauce Grande, Fig. III-2c y La Salada, Fig. III-2d). Posteriormente se calcularon los parámetros morfométricos de tamaño y de forma los cuales son resumidos en la Tabla III-2.

Puan posee una superficie de 6,7 km², 4 m de profundidad máxima, una elongación E-O cuya longitud máxima ($L_{m\acute{a}x}$) es de 3,86 km, orientada NO-SE, y el ancho máximo ($W_{m\acute{a}x}$) de 2,84 km, en dirección NE-SO (Tabla III-2). En base al desarrollo de la línea de costa (L_d) presentó una morfología subcircular la cual es característica de lagunas generadas por deflación con el remodelado de la línea de costa por procesos costeros y deflación (para más detalle ver tabla II-3). La curva hipsográfica (Figura III-3a), que representa la distribución del área y el volumen con la profundidad, muestra una forma simple cóncava con dos puntos de inflexión (Cm), indicando que la laguna presenta en la zona más profunda un fondo plano, aproximadamente el 50 % del área total, con pendientes abruptas en la costa, las que constituyen menos del 10 % de la superficie, que se conectan por una zona con pendientes intermedias. En base al V_d se la clasifica como ligeramente convexo (Tabla III-2). Los valores obtenidos de V_d en rango de intermedio a alto indica que las áreas sometidas a procesos de resuspensión, a pesar de la escasa profundidad de las lagunas, no son tan significativas (Håkanson, 2012). Los bajos valores de profundidad relativa son consistentes con lagunas poco profundas de gran extensión.

En el análisis de las pendientes en la Figura III-4a se observa que las mayores pendientes, entre 3-4 %, se localizaron en la costa Norte y en los alrededores de la isla, mientras que en el Sur y Este la pendiente es suave ocupando una gran superficie, entre 0,4 y 2,0 %, y la zona más profunda es relativamente plana ocupando mayormente el área Centro-Norte y Oeste de la laguna (Fig. III-4a). La profundidad media de la zona eufótica (Z_{eu}) para la laguna de Puan fue 1,16 m, lo que permitió definir el área litoral y pelágica

abarcando el área litoral con una superficie de 1,0 km² (15,7 %) y el área pelágica 5,6 km² (84,3 %) (Ver representación de Z_{eu} en curva hipsográfica Fig. III-3a), la zona litoral ocupa los alrededores de la laguna y la isla, con mayor desarrollo en la costa Sur (Fig. III-5a).

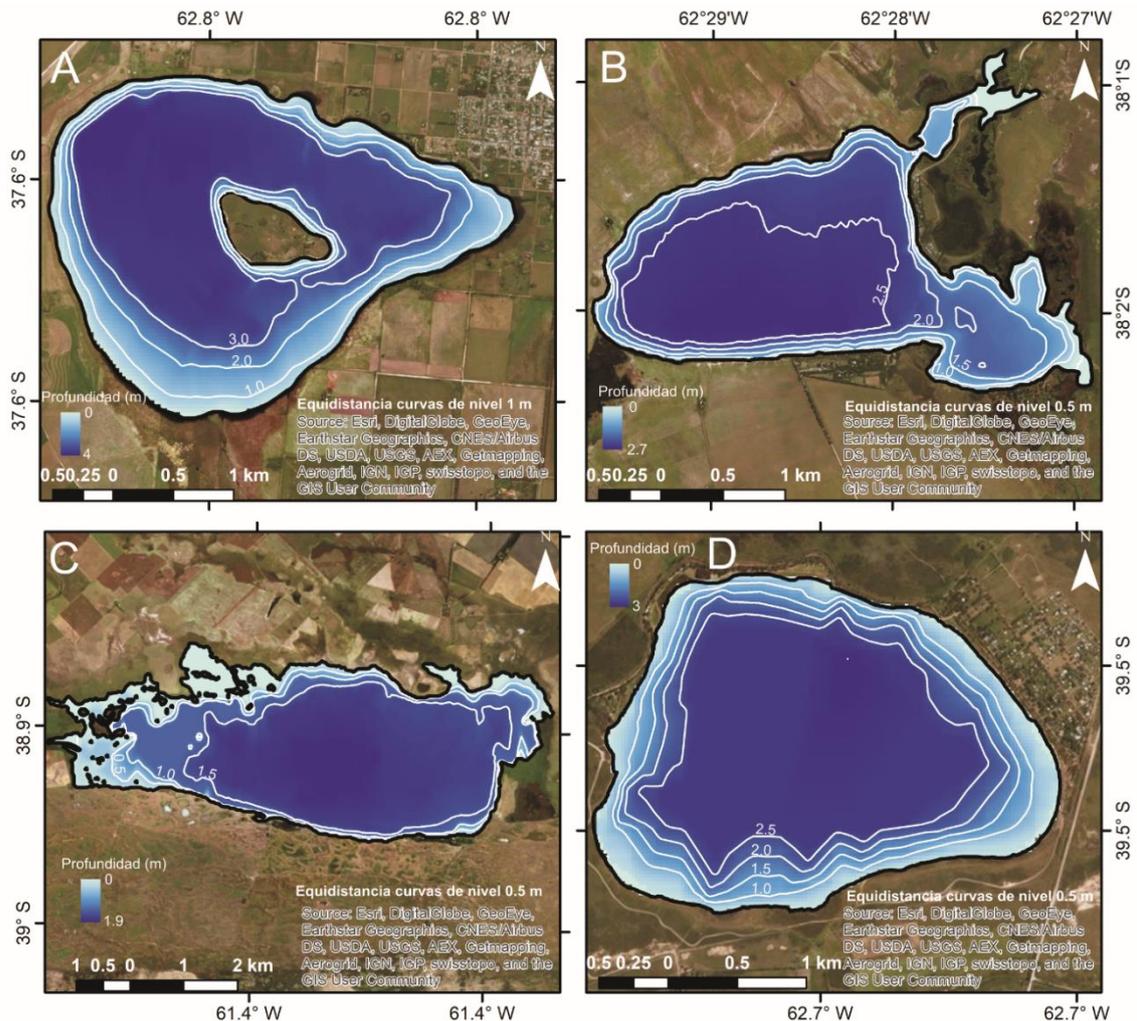


Figura III-2: Batimetría de la laguna de a) Puan; b) Los Chilenos; c) Sauce Grande y d) La Salada.

La profundidad de base de las olas (Z_{wb}) indica que toda la laguna es afectada por el efecto de olas sugiriendo que la resuspensión del sedimento es significativa. Sin embargo, cuando se analiza en mayor detalle la profundidad crítica para la longitud de onda determinada por las condiciones de viento (velocidad media 2,44 m/s de dirección N a NE) y la distancia máxima (2500 m en la dirección de viento predominante), la profundidad crítica alcanza los 0,8 m (Fig. III-6 a y b), la cual considerando el área total de la laguna solo representa aprox. 5 % de la misma (Fig. III-3a). Si se considera una velocidad máxima de 16 m/s se observa que la profundidad crítica asciende a 6,8 m, indicando que toda la laguna está afectada por resuspensión del sedimento bajo estas condiciones (Fig. III-6c). Los bajos valores de BPI indican un importante grado influencia de la zona litoral sobre el

volumen de la laguna teniendo predisposición para el desarrollo de una zona litoral con vegetación acuática enraizada (Tabla III-2). En cuanto al DR y ET-áreas muestran que los procesos de erosión y transporte predominan sobre los procesos de talud, estando el 60 % del área de la laguna sujeto a procesos de erosión y transporte. La relación entre Z_{mv}/Z_{eu} de 1,03 indica agua ligeramente turbia lo cual es consistente con la escasa profundidad de la zona eufótica.

La laguna Los Chilenos posee una superficie de 4,89 km², una profundidad máxima de 2,79 m, con una elongación E-O la cual es coincidente con $L_{m\acute{a}x}$ de 5,13 km posee un $W_{m\acute{a}x}$ de 2,29 km orientado N-S (Tabla III-2). A partir del L_d , superior a 2, se define una morfología elíptica a subrectangular alargado la cual suele asociarse con lagunas desarrolladas entre médanos longitudinales o generadas en ensanchamiento de valles fluviales. La curva hipsográfica (Figura III-3b) tiene una forma cóncava con tres puntos de inflexión (Cmi). En esta se observa que la laguna presenta en la zona más profunda fondo plano, ocupando una superficie de aproximadamente el 55 %, con pendientes abruptas en la costa, las que constituyen del 10-15 % de la superficie, conectándose por una zona con pendientes intermedia. El V_d indica que es ligeramente convexo, al igual que en la laguna de Puan los valores fueron intermedios indicando que las áreas poco profundas sometidas a procesos de resuspensión no son tan importantes, sin embargo, los valores más pequeños en relación a la laguna de Puan expresan una mayor predisposición a la resuspensión. Los bajos valores de profundidad relativa son consistentes con lagunas poco profundas de gran extensión.

En el análisis de las pendientes en la Figura III-4b las mayores pendientes se encuentran en la costa Norte y Este, abarcando la zona próxima a la costa, encontrándose pendientes de entre 0,8-1,2 %, mientras que la mayor superficie es ocupada por una área relativamente plana con pendientes inferiores al 0,4 % (Fig. III-4b). En base a la profundidad de la zona eufótica, 1,10 m, se definieron las zonas litorales y pelágicas de la laguna que abarcan una superficie de 0,8 (15 %) y 4,28 km² (84 %), respectivamente (ver representación de Z_{eu} en curva hipsográfica Fig. III-3b). La zona litoral tiene un mayor desarrollo en el área de ingreso del arroyo Cochenleufú y en la salida hacia el arroyo Chasicó (Fig. III-5b). La profundidad de base de las olas (Z_{wb}) indica que toda la laguna es afectada por el efecto de las olas sugiriendo que la resuspensión del sedimento es significativa. Del análisis de la profundidad crítica a la que se produce resuspensión para la longitud de onda determinada por las condiciones de viento, velocidad media 2,44 m/s de dirección N a NE (condiciones tomadas de la laguna de Puan), y la distancia, siendo el máximo de 2000 m en la dirección de viento predominante, la profundidad crítica alcanza los 0,8 m (Fig. III-6 a y b), lo cual considerando el área total de la laguna solo representa

alrededor del 10 % de la misma (Fig. III-3b). Si se considera una velocidad máxima de 16 m/s se observa que la profundidad crítica asciende a 6,1 m, estando en estas condiciones toda la laguna afectada por resuspensión del sedimento (Fig. III-6c). Los bajos valores de BPI indican un importante grado influencia de la zona litoral sobre el volumen de la laguna teniendo predisposición para el desarrollo de una zona litoral con vegetación acuática enraizada (Tabla III-2). En cuanto al DR y ET-áreas muestran que los procesos de erosión y transporte predominan por sobre los de procesos de talud, estando el 83 % del área de la laguna sujeta a procesos de erosión y transporte. La relación Z_{mv}/Z_{eu} de 0,77 permite clasificarla como de agua clara.

La laguna Sauce Grande posee una superficie de 20,39 km², con una profundidad máxima de 1,97 m, elongada E-O cuya $L_{m\acute{a}x}$ es de 11,84 km en dirección NE-SO y el $W_{m\acute{a}x}$ de 4,25 km en dirección NO-SE (Tabla III-2). En base al L_d , superior a 2, presenta una morfología elíptica o triangular, cuyo origen se asocia con la inundación de valles fluviales no incididos. La curva hipsográfica tiene una forma cóncava a ligeramente convexa (mCmi) con tres puntos de inflexión (Fig. III-3c), en la que se distingue una zona de pendientes abruptas en el área costera que representan el 30 % del área total, el sector más profundo posee una morfología suavemente inclinada, ocupado un 70 % del área de la laguna. Los bajos valores de profundidad relativa son consistentes con lagunas poco profundas de gran extensión. En cuanto al desarrollo del volumen posee una forma ligeramente convexa (SCx), el valor intermedio sugiere que las áreas sometidas a resuspensión, en base a este parámetro, parecen no ser significativas. En el análisis de las pendientes en la Figura III-4c muestra una morfología dominante de fondo plano, con pendientes inferiores a 0,4 %, las mayores pendientes se localizan en la zona costera entre 0,4-1,2 % Norte y Sur (Fig. III-4c). Considerando la profundidad de la zona eufótica se calcularon las áreas litorales y pelágicas obteniendo 4,6 (21 %) y 16,7 km² (78 %) respectivamente (ver representación de Z_{eu} en curva hipsográfica Fig. III-3c).

Tabla III-2: Resultados de los parámetros morfométricos de tamaño, forma y especiales para las lagunas de Puan, Los Chilenos, Sauce Grande y La Salada.

			PUAN	LOS CHILENOS	SAUCE GRANDE	LA SALADA
Parámetros de tamaño	Area (A)	km ²	6,70	4,90	20,39	3,53
	Volumen (V)	km ³	8,0x10 ⁻³	3,5x10 ⁻³	1,2x10 ⁻²	3,2x10 ⁻³
	Longitud Maxima (L _{max})	km	3,86	5,13	11,85	3,41
	Ancho maximo (W _{max})	m	2,84	2,29	4,25	2,56
	Profundidad maxima (Z _{max})	m	4,00	2,79	1,97	3,06
	Profundidad media (Z _{mv})	m	1,19	0,72	0,59	0,91
	Profundidad relativa (Z _r)	%	0,32	0,23	0,15	0,25
	Longitud de la línea de Costa (L _o)	km	13,14	16,26	45,41	7,52
Parámetros de forma	Desarrollo de línea de costa (L _d)	Adim.	1,43	2,07	2,84	1,13
	Desarrollo del volumen (V _d)	Adim.	0,90	0,77	0,90	0,89
	Pendiente promedio (S)	%	0,66	0,29	0,09	1,29
Parámetros Especiales	Profundidad base de las olas (Z _{wb})	m	4,93	4,28	7,96	3,69
	Relación dinámica (DR)	Adim.	2,17	3,09	7,62	2,06
	Áreas de Erosión y Transporte (ET-área)	%	60	83	100	57
	Índice de Permanencia de la Cuenca (BPI)	10 ⁶ m ³ *k m ⁻¹	0,61	0,22	0,27	0,43
	Profundidad media de la Zona Eufótica (Zeu)	m	1,16	0,91	0,41	2,10
	Relación Zmv/Zeu	Adim.	1,03	0,77	1,45	0,43

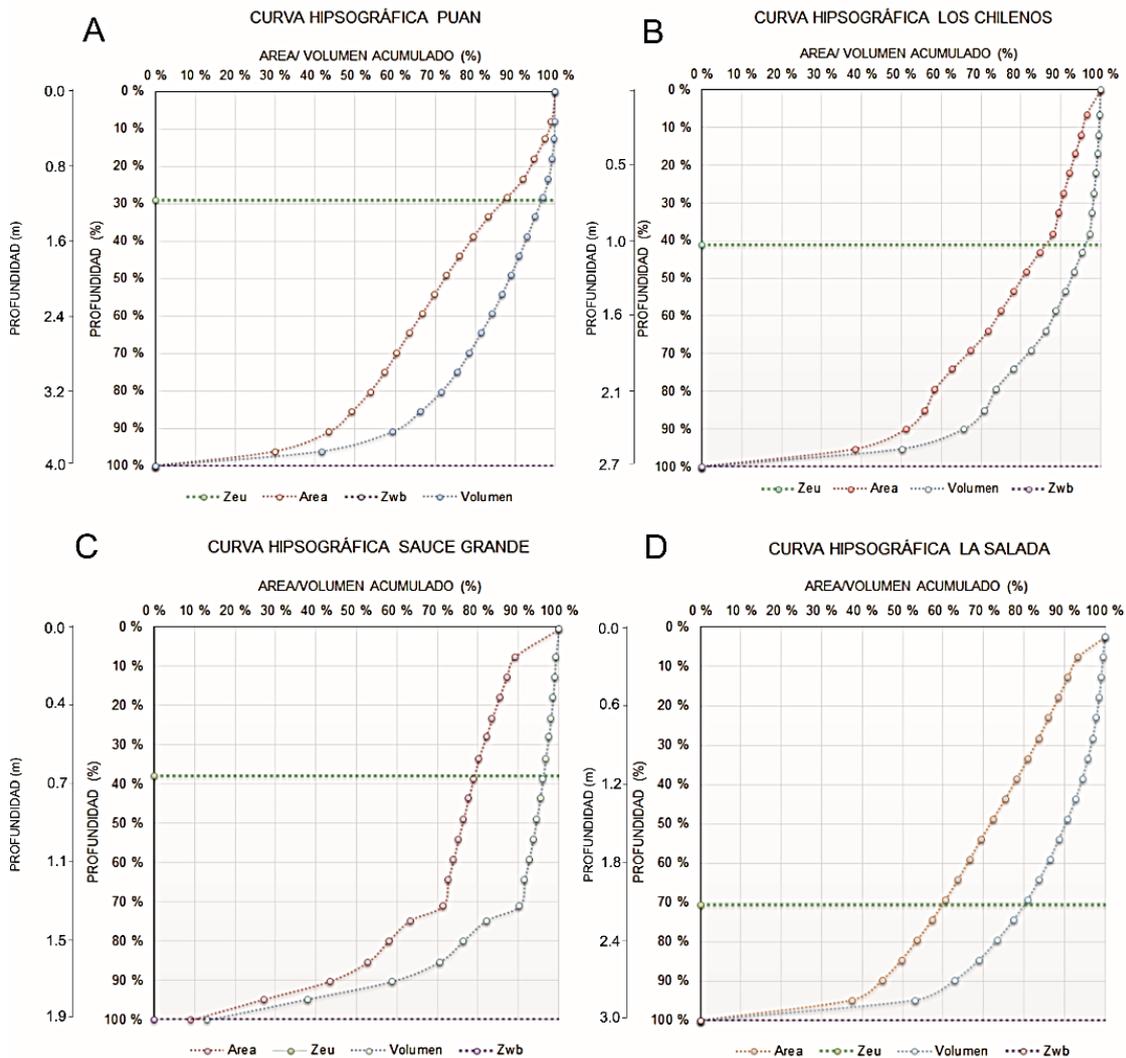


Figura III-3: Curvas hipsográficas de las lagunas de a) Puan; b) Los Chilenos; c) Sauce Grande y d) La Salada.

La zona litoral se localizó mayormente al Oeste, en el área de ingreso del río Sauce Grande a la laguna, y al Norte. El Z_{wb} indica que toda la laguna es afectada por el efecto de las olas sugiriendo que la resuspensión del sedimento es significativa. Del análisis de la profundidad crítica a la que se produce resuspensión para la longitud de onda determinada por las condiciones de viento (velocidad media 3,27 m/s de dirección NNO) y distancia máxima (4000 m en la dirección de viento predominante) la profundidad crítica alcanza los 1,4 m (Fig. III-6 a y b) lo cual, considerando el área total de la laguna solo representa alrededor de un 40 % (Fig. III-3b). Si se estima una velocidad máxima de 16 m/s se obtiene una profundidad crítica de 8,5 m, estando en estas condiciones toda la laguna afectada por resuspensión del sedimento (Fig. III-6c). Los bajos valores de BPI indican un importante grado influencia de la zona litoral sobre el volumen del laguna teniendo predisposición para el desarrollo de una zona litoral con vegetación acuática enraizada (Tabla III-2). En cuanto

al DR y ET-áreas muestran que los procesos de erosión y transporte predominan por sobre los de procesos de talud, estando el 100 % del área de la laguna sujeta a procesos de erosión y transporte. El parámetro DR y, por lo tanto, las ET-áreas son valores atípicos, mayores a 4, lo cual indica que los mismos están influenciados por relación la entre una gran superficie y escasa profundidad media que tiene la laguna de Sauce Grande (Håkanson, 2016) (Tabla III-2). La relación Z_{mv}/Z_{eu} de 1,45 permite clasificarla como de agua turbia.

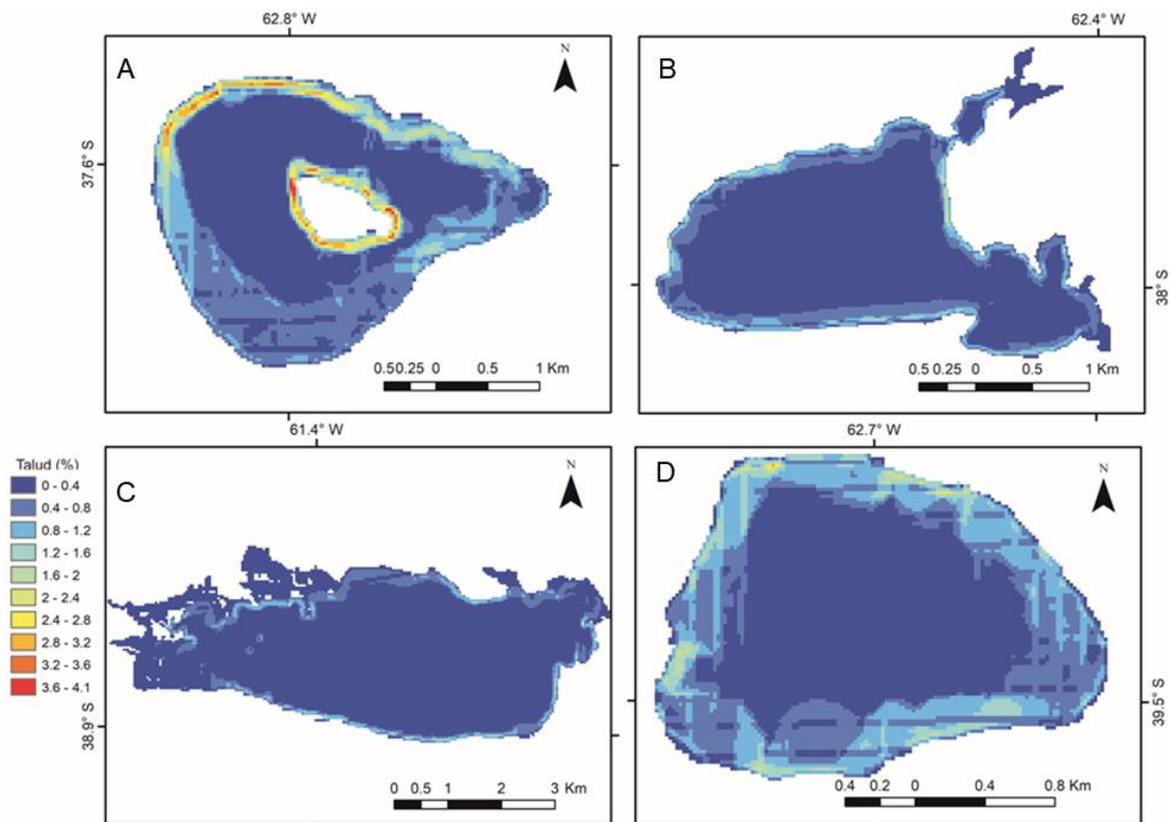


Figura III-4: Mapas de pendientes de las lagunas de a) Puan; b) Los Chilenos; c) Sauce Grande y d) La Salada.

La laguna La Salada posee un área de 3,53 km², una profundidad máxima de 3,06 m, elongación E-O $L_{m\acute{a}x}$ es de 3,40 km, orientada ONO-ESE, y el $W_{m\acute{a}x}$ de 2,56 km, de dirección NNE-SSO (Tabla III-2). En base L_d se determina una forma circular que se asocia a lagunas generadas por deflación. La curva hipsográfica presenta una forma cóncava a ligeramente convexa con dos puntos de inflexión (mCmi). Esta muestra una pendiente abrupta en la zona costera, que representa menos del 10 % de la superficie de la laguna, que pasa a un área con pendiente moderada, un 50 % de la superficie total y finalmente una morfología plana en la zona más profunda la cual ocupa el 40 % de la laguna (Fig. 6d). La profundidad relativa presentó valores bajos siendo común en lagunas poco profundas.

El V_d indica una morfología ligeramente cóncava (SCx). La Figura III-4d representa la distribución de las pendientes en la laguna, en esta se observa una zona costera amplia con una pendiente suave entre 0,4 y 1,2 %, localizándose algunas pendientes mayores, entre 1,6- 3,2 %, en la costa Norte. La zona central, más profunda, tiene una morfología plana con pendiente inferior al 0,4 %. (Fig. III-4d).

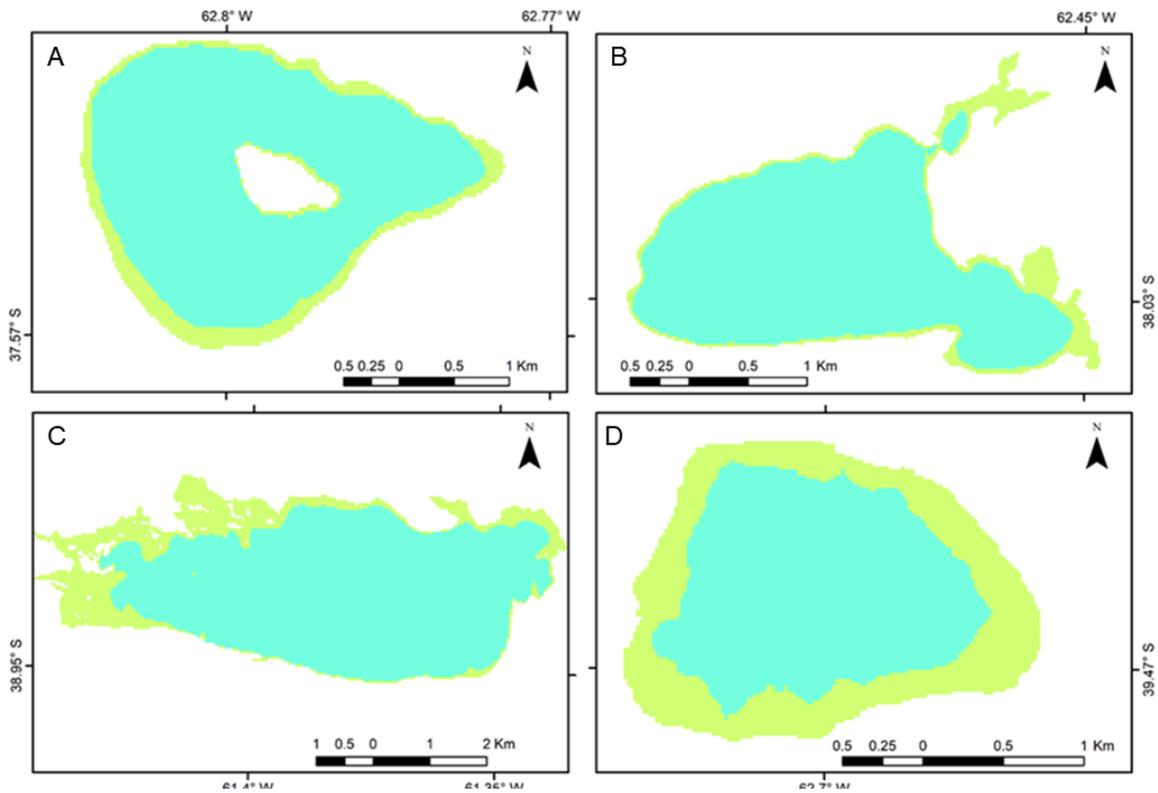


Figura III-5: Mapas de distribución de las zonas litorales y pelágicas de las lagunas de a) Puan; b) Los Chilenos; c) Sauce Grande y d) La Salada.

En base a la profundidad media de la zona eufótica (2,1 m) se definieron las áreas litorales y pelágicas obteniéndose 1,44 (39,8%) y 2,8 km² (60,2 %) respectivamente (Fig. 8d). La zona litoral se desarrolla de manera homogénea alrededor de la laguna. El Z_{wb} , de 3,69 m, sugiere que toda la laguna es afectada por el efecto de las olas ocasionando una significativa resuspensión del sedimento. Sin embargo, analizando la profundidad crítica considerando las condiciones de viento promedio (velocidad media 4.08 m/s en las direcciones NNO, NNE y ONO) y la distancia máxima (2500 m en la dirección de viento ONO) la profundidad crítica alcanza los 1,5 m (Fig. III-6 a y b). Para este caso solo el 30 % del área total es afectada por la acción de las olas (Fig. III-3b). Si se considera una velocidad máxima de 16 m/s se obtiene una profundidad crítica de 6,8 m, estando en estas condiciones toda la laguna afectada por resuspensión del sedimento (Fig. III-6c). Los bajos valores de BPI indican un importante grado influencia de la zona litoral sobre el volumen total, indicando predisposición para el desarrollo de una zona litoral con vegetación

acuática enraizada (Tabla III-2). En cuanto al DR y ET-áreas muestran que los procesos de erosión y transporte predominan por sobre los de procesos de talud, estando el 57 % del área de la laguna sujeta a procesos de erosión y transporte (Tabla III-2). La relación Z_{mv}/Z_{eu} de 0,43 permite clasificarla como de agua clara.

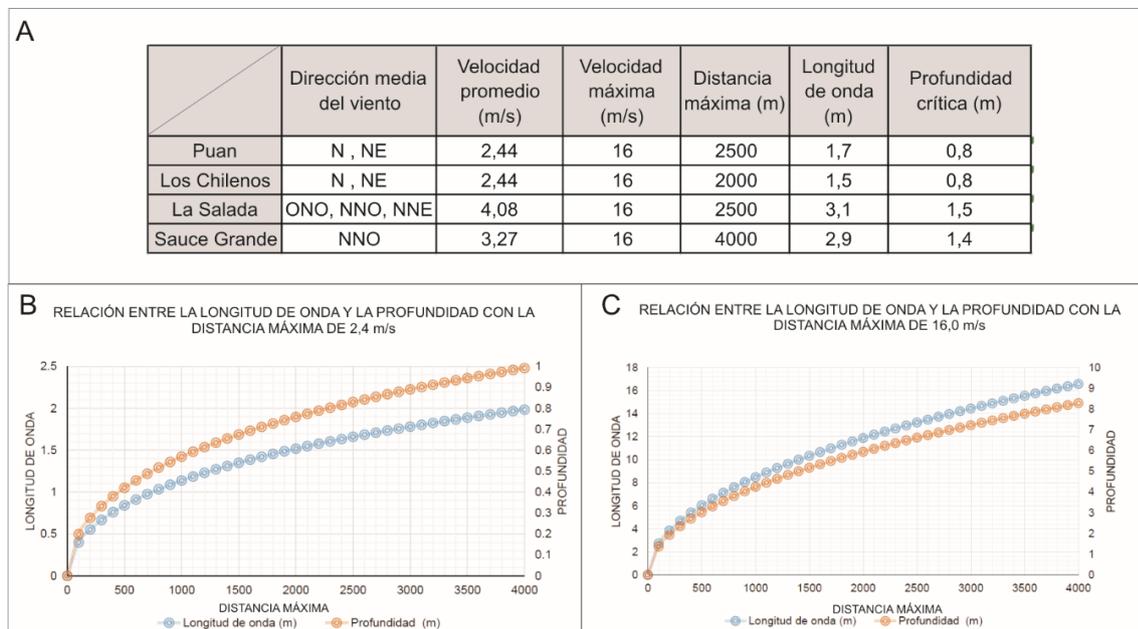


Figura III-6: a) Tabla indicando la dirección y velocidad media de viento predominante en cada laguna, distancia máxima asociada a la dirección del viento más frecuente con cálculo de longitud de onda y profundidad crítica estimada para la velocidad promedio (elaborada en base a Alfonso, 2018; Zunino, 2018; Alfonso et al., 2018). b) Variación de la profundidad crítica y longitud de onda con el incremento del fetch para viento de 2.4 m/s; c) Variación de la profundidad crítica y longitud de onda con el incremento de la distancia para viento de 16 m/s.

VARIACIÓN EN LA SUPERFICIE DE LAS LAGUNAS EN PERÍODOS DE SEQUÍA Y HUMEDAD BASADOS EN EL SPEI

El análisis del SPEI de la zona de Puan/Los Chilenos (37,25° S/ 62,25° O) muestra un predominio de condiciones moderadas entre húmedas y secas, con picos de condiciones de extrema humedad en los años 1964, 1986 y 1992, y de condiciones extremas secas en 1962 y 2009 (Fig. III-6). Para el análisis de la variación del área en relación a eventos de sequía y humedad se consideró para el período de sequía entre Abril 2008 y Febrero 2010, el cual estuvo caracterizado por 23 meses de condiciones de sequía conformado por 6 meses de sequía incipiente, 4 de sequía moderada, 3 muy seco y 9 de extrema sequía. Mientras que el período de humedad incluye desde Diciembre de 1990 a Diciembre de 1993 caracterizado por 38 meses de condiciones de humedad conformado

por 8 de humedad incipiente, 18 moderadamente húmedo, 10 muy húmedo y 1 de humedad extrema.

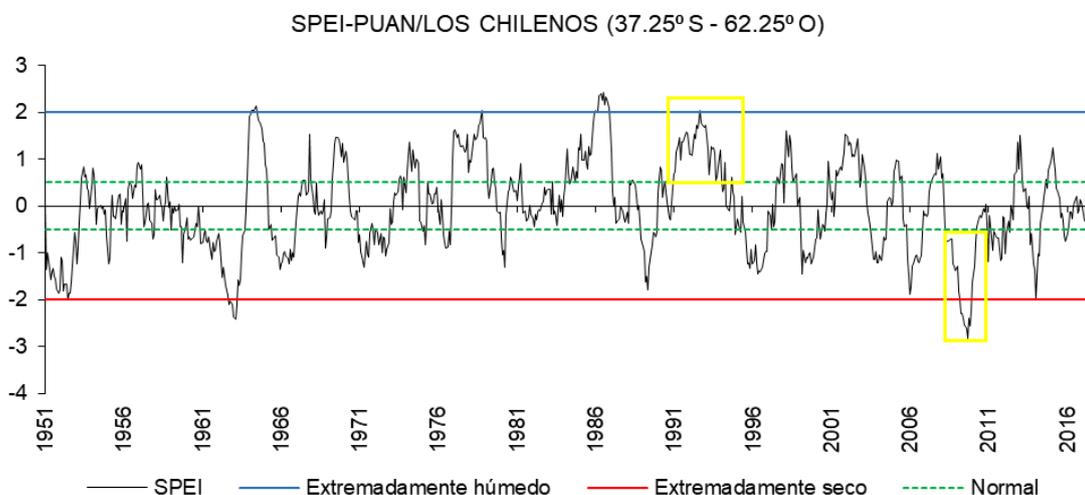


Figura III-6: SPEI del sector de Puan/Los Chilenos a escala de 12 meses. Recuadrado en amarillo se representan los periodos extremadamente húmedo y seco seleccionados.

Los resultados del análisis de las áreas de las lagunas a partir de las imágenes seleccionadas del final del período seleccionado se presentan en la Tabla III-3. La laguna de Puan mostró un incremento en el área durante el período húmedo de un 19 % en relación al período seco, siendo más evidentes los cambios en el sector Sur de la cubeta donde presenta un talud suave (Fig. III-7a). La laguna Los Chilenos presentó una mayor variación, fundamentalmente en la extensión de la zona litoral con un incremento de 28 % de la superficie en relación al período seco. Es importante remarcar además que durante el período húmedo se comprobó una conexión parcial de la laguna Los Chilenos con las otras lagunas ubicadas inmediatamente al Oeste a través de una zona de humedal (Fig. III-7b).

Tabla III-3: Variación del área de las lagunas para los periodos húmedos y secos seleccionados.

	Área Período Húmedo (km ²)	Área Período Seco (km ²)	Porcentaje de incremento (%)
Púan	7,9	6,4	19,0
Los Chilenos	6,6	4,7	28,8
Sauce Grande	20,7	17,8	14,0
La Salada	3,7	3,6	2,7

El SPEI de la zona Sauce Grande ($38,75^{\circ}$ S / $61,25^{\circ}$ O) durante el período estudiado presenta un predominio de condiciones moderadas entre húmedas y secas, con condiciones extremadamente húmedas para los años 1977, 1997 y 2015, mientras que los eventos extremadamente secos ocurrieron en los años 1963, 1989 y 2009 (Fig. III-8a). Para el análisis de la variación del área en relación a eventos de sequía y humedad se consideró para el período de sequía desde Febrero de 2008 a Enero de 2010 con 24 meses de sequía caracterizado por 2 meses de sequía incipiente, 6 de sequía moderada; 3 muy secos y 13 de sequía extrema. En tanto que el período húmedo se consideró desde Enero 1997 a Septiembre 1998 incluyendo 21 meses de humedad caracterizado por 5 meses de humedad incipiente 4 de moderada húmedos 6 meses muy húmedos y 6 meses de humedad extrema. El resultado de la superficie en cada período se presenta en la Tabla III-3, la expansión durante el período húmedo fue hacia el Norte y Oeste de la laguna incrementando la zona litoral en un 14 % (Fig. III-7d).

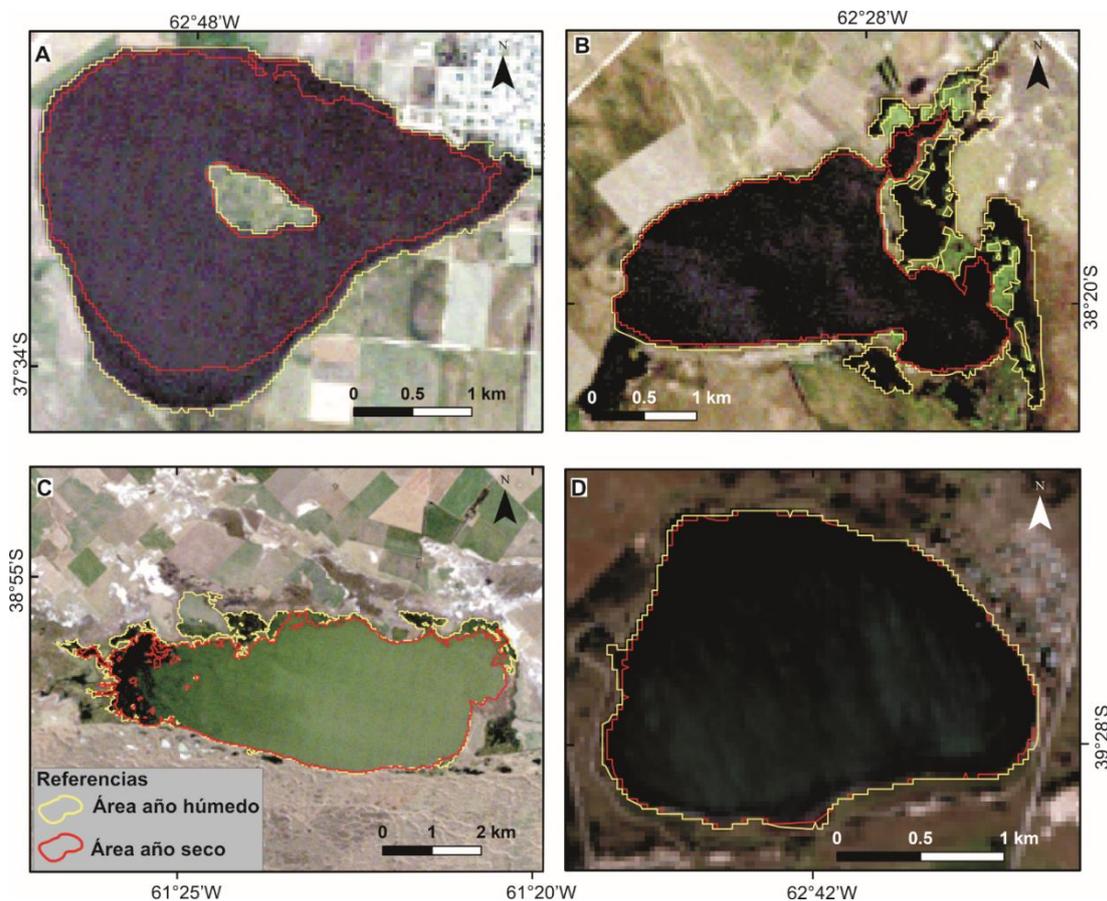


Figura III-7: Representación de la variación de la superficie de las lagunas en el periodo húmedo (línea amarilla) y seco (línea roja) seleccionado. a) Puan; b) Sauce Grande; c) La Salada y d) Los Chilenos.

El SPEI en la laguna La Salada ($39,25^{\circ}$ S / $62,25^{\circ}$ O) muestra en general condiciones moderadas entre húmedas y secas con mayor amplitud que en los sitios

anteriores, en especial Puan/Los Chilenos, y mayor extensión temporal (Fig. III-8b). Las condiciones de extremada sequía se observaron en los años, 1962 y 2009, mientras que los años extremadamente húmedos fueron 1957, 1977, 1985, 1998, 2015. Para el análisis de la variación en las áreas se consideró como período seco desde Diciembre de 2007 a Enero de 2010, caracterizado por 24 meses de condición de sequía distribuidos en 4 meses de sequía incipiente; 5 meses de sequía moderada; 3 meses muy secos y 12 meses extremadamente secos. En tanto que el período de humedad se consideró desde Junio de 2014 a Diciembre de 2015, conformado por 19 meses de humedad distribuidos en 6 meses de humedad incipiente; 2 meses moderadamente húmedo; 5 meses muy húmedos y 6 meses extremadamente húmedos. Los resultados de la superficie de cada período se presenta en la Tabla III-3, la expansión de la laguna fue a lo largo de todo su perímetro en apenas un 2.7 %, posiblemente condicionado por la morfología de la cubeta (Fig. III-7d).

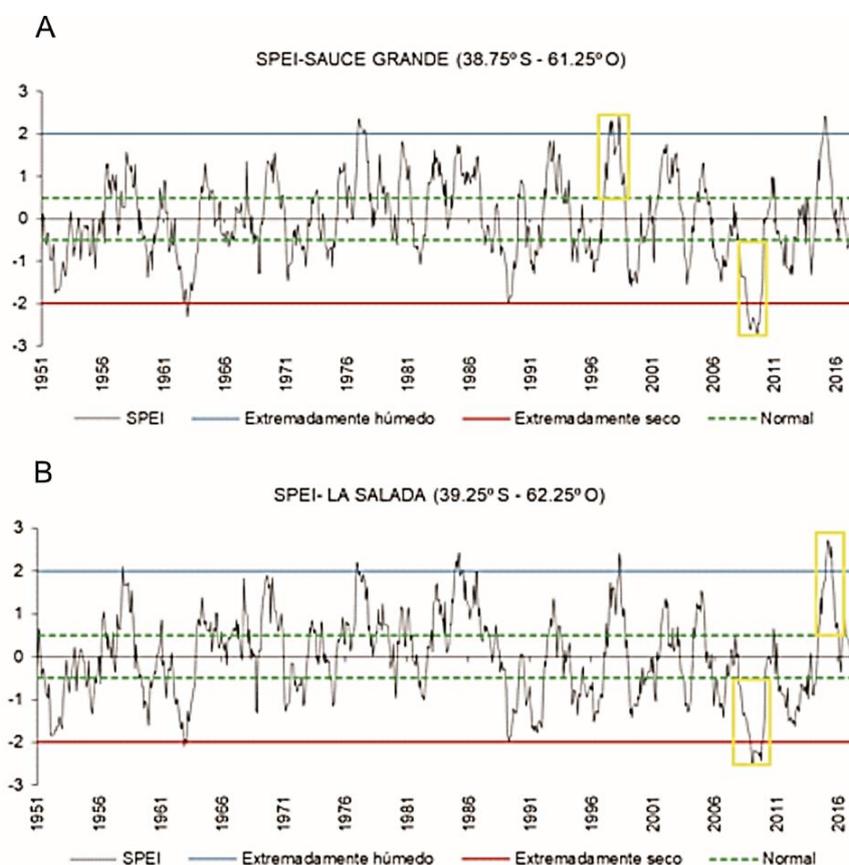


Figura III-8: SPEI del sector de a) Sauce Grande y b) La Salada a escala de 12 meses. Recuadrado en amarillo se representan los períodos extremadamente húmedo y seco seleccionados.

DISCUSIÓN

Las lagunas bajo estudio presentan un carácter permanente, si bien no se realizó un estudio de detalle de las relaciones entre las lagunas y el acuífero freático los antecedentes regionales respecto de la hidrodinámica y profundidad del acuífero freático, así como el carácter permanente de las mismas, permite inferir una influencia desde el acuífero a las lagunas. En cuanto a su características físico-químicas, en base a las determinaciones de Zunino (2018), Cony et al. (2014), Alfonso et al. (2014), Baigún y Anderson (1993) y Bertora et al. (2016) son típicas de las lagunas pampeanas. De acuerdo con Quirós et al. (2002), las lagunas pampeanas se caracterizan por ser polimícticas, eutróficas a hipertróficas, con variado tiempo de permanencia y salinidad. Según estos autores, su hidrología es altamente dependiente de las precipitaciones *in situ* y sus condiciones ambientales cambian estacionalmente, esto se demuestra además con los rangos amplios que presentan las variables resumidas en la Tabla 1.

El análisis morfométrico determinó de acuerdo a las clasificación de Hutchinson (1957) y Timms (1992) un origen eólico para La Salada y Puan, siendo esta última posiblemente afectada además por procesos de erosión costera producida por el viento lo que determina su forma subcircular. Las lagunas de Los Chilenos y Sauce Grande mostraron formas comunes en lagunas conectadas por deflación, o lagos que se encuentran entre médanos parabólicos costeros, lagos de valles profundos que aparecen como ríos ensanchados (Timms, 1992). A pesar de que los parámetros morfométricos permiten inferir un origen para las lagunas este tiene que ser evaluado en conjunto con el contexto geológico y geomorfológico regional ya que estos sistemas son sensibles a los cambios climáticos mostrando por tanto alta variabilidad morfométrica. Contreras (2014) estudió la variación del D_L con la forma de la laguna en el tiempo e identificó una evolución de las mismas desde formas circulares a complejas por conexión con otras lagunas, asimismo, la circularidad puede no estar asociada con el proceso que le dio origen sino por la incidencia prologada de eventos de sequía que llevan a la retracción de la laguna. La morfología de la cubeta de la laguna fue similar en todas las lagunas con bajas pendientes y de fondo plano. Dicha característica es coincidente con la morfología de las lagunas de la llanura pampeana, así como el hecho de que la profundidad media constituye un 70 % de su profundidad máxima (Quirós, 2005). La profundidad relativa fue extremadamente baja en todas las lagunas, determinada por la gran extensión y baja profundidad máxima que condiciona este parámetro.

Los bajos valores de pendiente promedio en todas las lagunas son consistentes con la morfología descrita para cada una de ellas. La existencia de pendientes inferiores al 4

% junto con el DR superiores o próximas a 4 ($y > 0.05$) sugiere que las áreas de transporte y erosión del sedimento están gobernadas por la influencia de las olas generadas por el viento (Håkanson, 2004). En el mismo sentido la profundidad de base de las olas (Z_{wb}), la cual indica la profundidad de mezcla turbulenta promedio de todo el lago, coincide con la profundidad máxima en todas las lagunas indicando que la totalidad de la columna de agua se encuentra bajo condiciones de mezcla y posible resuspensión de sedimento. Es importante remarcar que los valores de Z_{wb} describen un comportamiento teórico promedio general de la laguna y que estas pueden ser menores o mayores dependiendo de las condiciones (mayores calmas o eventos de tormentas) e incluso variar espacialmente (Håkanson, 2004). Cuando se analizó en mayor detalle utilizando parámetros específicos de viento y distancia en cada una de las lagunas se mostró que en condiciones de viento promedio las lagunas presentan un área sometida a resuspensión de entre el 5-40 %, siendo menor en Puan y mayor en Sauce Grande. Cabe destacar que estos porcentajes son aproximaciones sobreestimadas ya que reflejan la superficie de toda la laguna a la altura de la profundidad crítica, y que los procesos de resuspensión solo tendrían lugar en el área de mayor distancia. Sin embargo en condiciones de máximo viento como los registrados en la laguna de La Salada y Sauce Grande, de 16 m/s, las olas involucran toda la columna de agua. Por otro lado, debiera considerarse en la laguna La Salada, por ejemplo, que incluso ante condiciones de viento máximo la influencia de las olas puede ser anulada o reducida por la presencia de macrófitas en el fondo. Para una aproximación más detallada debería estudiarse con mayor detalle la influencia espacial de los vientos en la laguna y las modificaciones estacionales que se produzcan. No obstante, es útil para una aproximación general de los procesos que gobiernan las lagunas. Considerando que lagos bien mezclados sometidos a suspensión regularmente por acción de las olas pueden generar una variación en la distribución de los hábitat de diatomeas planctónicas y bentónicas por cambios en la profundidad de la zona fótica. En estos casos las asociaciones entre la relación de diatomeas planctónicas y bentónicas con la profundidad máxima de la laguna se vuelven complejas. Por lo tanto, quizás es más razonable realizar las interpretaciones considerándolo como variaciones de esta relación con cambios en la profundidad media (Lehman, 1975; Davis y Ford, 1982, Hilton, 1985; Stone y Fritz, 2004). El conocimiento de los procesos de resuspensión es relevante incluso a la hora de seleccionar el sitio adecuado para el muestreo paleolimnológico ya que permite seleccionar sitios en donde se encuentre una mejor preservación de los sedimentos y mayor resolución temporal. En lagunas polimícticas, como las lagunas bajo estudio, los sedimentos son generalmente masivos no proporcionando información acerca de la ocurrencia de la compactación de los sedimentos, deslizamientos o los cambios en la intensidad de las olas, la corriente y la mezcla biológica. En estos casos la resolución temporal puede ser baja e

incluso contar con hiatos sedimentarios por lo que requieran mayor datación de los sedimentos (Larsen y McDonald, 1993). A pesar de ello el uso de sedimentos lacustres masivos es aceptable si el control cronológico es suficiente y la profundidad de la homogeneización del registro fósil causada por la mezcla de sedimentos es menor que el intervalo de muestreo (Clark, 1988).

En cuanto al índice BPI en todos los casos se registraron valores bajos. De acuerdo con Kerekes (1977), las lagunas con BPI cercanos a cero están próximos a extinguirse por colmatación de sedimento. Sin embargo, las lagunas que presentan índices próximos a 0,2 son más permanentes en la naturaleza, mientras que un estado de senectud estaría representado por valores menores a 0,1, este último estaría caracterizado por la dominancia de plantas acuáticas litorales, excesiva poca profundidad, alta turbidez y altas concentraciones de fósforo (Kerekes, 1977). En relación con ello Sauce Grande y Los Chilenos mostraron los valores más pequeños, lo que coincide con una menor profundidad, un mayor desarrollo de vegetación riparia en sus costas y área litoral.

Considerando la relación entre Z_{mv}/Z_{eu} se encontró que las lagunas de Puan y Sauce Grande se clasificaron como turbias y las lagunas de Los Chilenos y La Salada como claras. De acuerdo con Quirós et al. (2002), aquellas lagunas que poseen una relación Z_{mv}/Z_{eu} baja o próxima a 1 pueden ser colonizadas por macrófitas. Las pendientes bajas en todas las lagunas, menores a 5,33 %, las hace propicias para el desarrollo de macrófitas acuáticas sumergidas (Duarte y Kalff 1986). Sin embargo, varias condiciones son necesarias para que se propicie su desarrollo, por ejemplo la turbidez (Carpenter y Adams, 1977). Quirós et al. (2002) caracterizan como lagunas de agua clara a aquellas que comúnmente presentan relativamente baja biomasa de fitoplancton y abundante desarrollo de macrófitas arraigadas y peces de alto porte, mientras que las turbias poseen abundante desarrollo del fitoplancton, escasas macrófitas, baja transparencia con coloraciones verdes y turbias, y abundancia de peces planctívoros.

El análisis del SPEI mostró una alta variabilidad climática con alternancia de períodos húmedos y secos. Esto ya está ampliamente estudiado en la región pampeana (Piccolo et al., 2002; Quirós et al., 2002; Bohn et al., 2011). Por ejemplo, Bohn et al. (2016) determinaron que las precipitaciones en la región presentan una gran influencia de la Oscilación del Sur con eventos moderados y fuertes del El Niño y La Niña con un incremento para los eventos Niño y una disminución para los eventos Niña.

La evolución del área de las lagunas en relación a los períodos húmedos y secos seleccionados evidencia que las lagunas reflejan las variaciones en las precipitaciones y evapotranspiración. Las variaciones registradas en cada una de las lagunas fueron

diferentes, siendo las lagunas de Puan, Los Chilenos y Sauce Grande las que presentaron mayor variación respecto de los períodos secos y húmedos. Sin embargo, puede que estas variaciones en la superficie no impliquen efectos similares en las lagunas, sino que estos mismos deben ser evaluados en función de los restantes parámetros morfológicos de la laguna y en consecuencia en su afección en el funcionamiento y estructura interna. En este sentido, a modo de ejemplo, se destaca que durante el evento de sequía en la laguna de Puan y Los Chilenos se registró una disminución del área de la laguna en relación al relevamiento batimétrico (2017) del 4,4 y 4 %, respectivamente. Dichas variaciones representaron una disminución en la profundidad de 70 cm en Puan y de 55 cm en Los Chilenos. Sin embargo, a pesar de que las variaciones fueron mayores en Puan la reducción 55 cm en la laguna Los Chilenos representa un porcentaje mayor respecto de su profundidad total (20 %). Este hecho parece haber tenido mayores implicancias en su funcionamiento ya que durante este período Bertora et al. (2016) documenta la mortandad masiva de peces, mientras que en Puan se registró un gran número de individuos sin registro de mortandad en el informe del año 2009 (Argemi et al., 2009). A pesar de que en la laguna La Salada las variaciones han sido escasamente reflejadas en los resultados, posiblemente por la resolución de las imágenes Landsat y la morfología de la cubeta, mediante registros verbales y las campañas de campo se ha verificado la variación areal en relación con las precipitaciones. A pesar de que los eventos considerados constituyen los eventos extremos de mayor extensión, en la laguna Sauce Grande en el año 2013 se registró una superficie menor (15,3 km²) a la estimada en este trabajo para el período de sequía (Brendel, 2018, comunicación verbal) no obstante a que previo al período seco de 2013 se registrara un período húmedo y que la sequía durante ese período alcanza apenas condiciones moderadamente secas. Es posible que las condiciones de humedad previas al intenso período de sequía no fueran suficientes para generar una modificación apreciable en su superficie o incluso pueda deberse a modificaciones en la cubeta. En relación a esto último cabe destacar que durante el período del relevamiento batimétrico, año 2017, considerado un año normal posterior a un evento extremadamente húmedo, se registró una superficie mayor (21,4 km²) que la relevada durante el período húmedo de 1997-1998, mostrando una variación de 28,5 % en el área de la laguna entre el período húmedo y seco. Estudios de las variaciones en el área de varias lagunas pampeanas, entre las que se incluyen la laguna de Puan y Sauce Grande, realizados por Bohn et al. (2016) sugieren que los cambios en este parámetro están mayormente sujetas a las precipitaciones que al uso del suelo, registrándose mayores cambios durante las mayores precipitaciones posiblemente como consecuencia de la escasa profundidad y su localización en los sistemas endorreicos y arréicos. En base a la respuesta de las lagunas de Puan y Sauce Grande, Bohn et al. (2016) sugieren una conexión con el acuífero freático,

además indican que el balance hidrológico de las lagunas está condicionado por la relación entre precipitación- evaporación. Zunino (2018) estudió la respuesta en los cambios de nivel de las lagunas de Puan y La Salada durante un evento muy lluvioso caracterizado por un evento El Niño de intensidad fuerte a severo encontrando una respuesta directa en la laguna de Puan, mientras que en La Salada no fue afectada de manera significativa. Similares respuestas fueron encontradas por la autora en relación a las variables físico-químicas, asociando la escasa variación en el caso de la laguna La Salada al hecho de estar regulada antrópicamente.

La alta variabilidad de las lagunas pampeanas en sus características fisicoquímicas, sus variaciones en la superficie y en la columna de agua, sus consecuentes cambios morfométricos y la estrecha relación entre cada uno de ellos hace que sean complejos de analizar; por lo tanto, el conocimiento integrado de su funcionamiento es fundamental para las interpretaciones paleolimnológicas.

CAPITULO IV

GEOLOGIA Y GEOMORFOLOGIA

La llanura Pampeana es una región cubierta por una secuencia de los depósitos eólicos intercalados con paleosuelos depositados durante el Cuaternario. Dichos sedimentos constituyen un excelente registro para la reconstrucción paleoclimática (Iriondo, 1999). Esta sucesión de eventos húmedos y secos le otorgó a la región pampeana características geomorfológicas que favorecieron el desarrollo de importantes ambientes lacustres, en donde predominan lagunas poco profundas y pantanos (Iriondo, 1989). El origen de los diferentes sistemas lacustres, que determina en parte la característica de la cuenca y morfología de la cubeta, junto con el clima y los forzantes antrópicos son los principales variables que originan los cambios en las lagunas (Randsalu-Wendrup et al., 2016). Además las complejas interacciones que actúan sobre la estructura y funcionamiento de estos ecosistemas (p.e., clima, influencia antrópica, los procesos internos de la laguna, origen, características de la cuenca, etc.) que varían además en el espacio y el tiempo pueden tener una considerable influencia sobre su evolución y actuar como filtros de la información climática (Schindler et al., 2001; Anderson et al., 2004; Leavitt et al., 2009; Fritz y Anderson, 2013; Randsalu-Wendrup et al., 2016). En este sentido las interpretaciones y conocimiento de los eventos climáticos y procesos geomorfológicos que dieron origen a las lagunas resulta fundamental para interpretar el registro paleolimnológico y reconstruir el clima del pasado.

En este capítulo se realizará una recopilación y unificación de los antecedentes geológicos y geomorfológicos regionales. Posteriormente se confeccionará un mapa geomorfológico de cada una de las lagunas, a partir del cual se describirán las unidades geomorfológicas, litología y edad que las componen con el propósito de determinar los procesos que le dieron origen a cada una de las lagunas y los eventos climáticos asociados con el mismo, así como también identificar procesos posteriores que podrían afectar su evolución.

GEOLOGIA REGIONAL

El área de estudio contiene unidades geológicas con edades que van desde el Paleozoico hasta la actualidad. Las unidades más antiguas afloran en la Sierra de la Ventana (Selles-Martínez, 2001) (Fig. IV-1). Se trata de dos cordones subparalelos, sigmoidales de 180 km de longitud orientados NO-SE y 50 km de ancho (Selles-Martínez,

2001). Los depósitos que componen estas sierras se habrían generado en una cuenca sedimentaria sobre un basamento proterozoico (Ramos, 1984), denominada “cuenca de Ventania”, durante el Paleozoico. Los depósitos corresponden a un ambiente de plataforma estable que dieron lugar a dos grupos principales, Ventana (Silúrico) y Curamalal (Devónico). Posteriormente en discordancia se desarrolla el Grupo Pillahuinco (Paleozoico tardío) que se corresponde con un ambiente glacial-marino que pasa a costero-deltaico y culmina con los depósitos sinorogénicos de la Formación Tunas (Pérmico). Toda la secuencia posee una deformación dúctil (Ramos, 1984; Selles-Martínez, 2001) producida a finales del Paleozoico y principios del Mesozoico por la acción de movimientos compresivos locales asociados al margen de Gondwana (Selles-Martínez, 2001). Posteriormente, durante el Mesozoico una fracturación extensional, cuyo desarrollo es vinculado por Yrigoyen (1999) a fallas transcurrentes preexistentes en el basamento y/o antiguas zonas de sutura de edad precámbrico-paleozoica (Lesta et al., 1980), da lugar a la generación de horts y grabens. Los elementos positivos resultantes se corresponden con la Sierra de la Ventana (Selles-Martínez, 2001) y los negativos con el desarrollo de la cuenca de Macachín y del Colorado, esta última conforma la provincia geológica del mismo nombre (Ramos, 1999).

La cuenca del Colorado posee una morfología elongada en sentido Este-Oeste, estando la mayor parte en la plataforma continental argentina y el resto en ambiente continental (Zambrano, 1972). Esta cuenca ha sido definida como una cuenca aulacógena (De Wit, 1977; Urien y Zambrano, 1996) cuya evolución fue dividida por Yrigoyen (1999) en cuatro etapas.

La primer etapa de *prerift* (Yrigoyen, 1999) incluye los sistemas de Ventania y Tandilia junto con las metasedimentitas, esquistos y gneises con intrusiones graníticas (Etcheverría et al., 2009) que integran al Macizo Nord patagónico y el Complejo granítico ortognésico Cerro de Los Viejos (Calmels y Casadio, 2004).

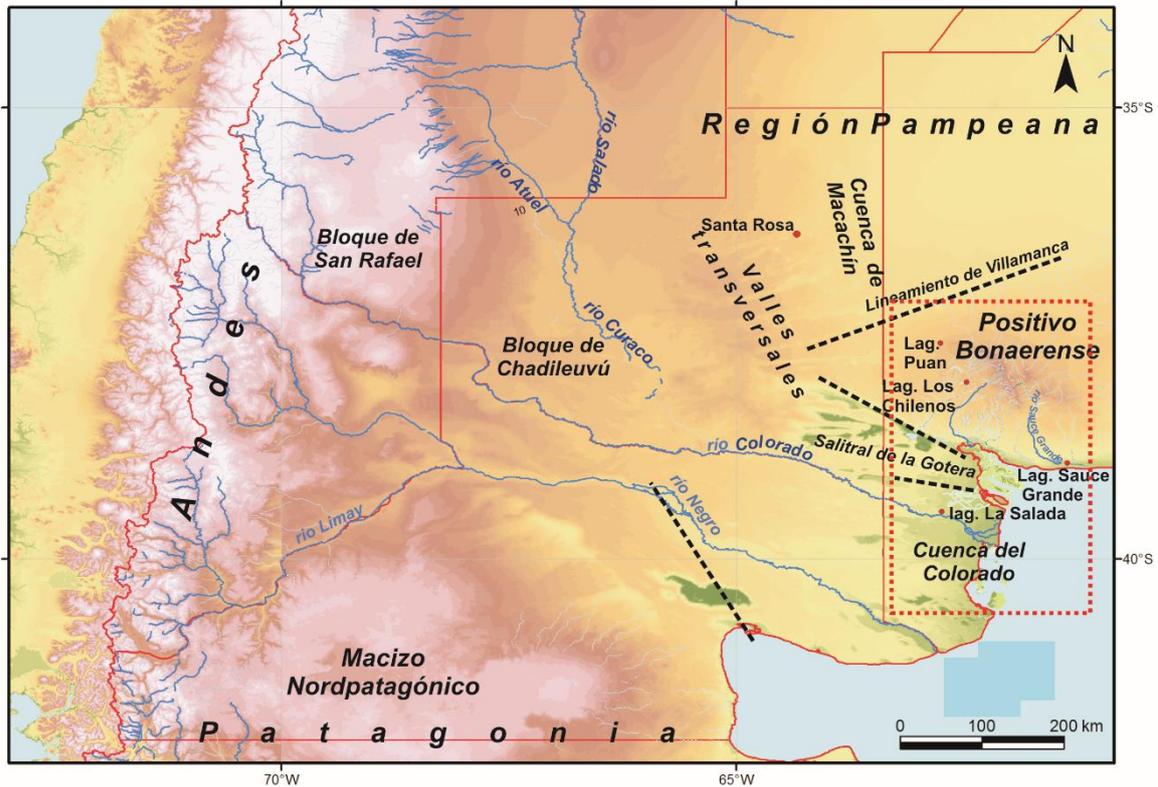


Figura IV-1: Mapa de unidades morfoestructurales de la región con la localización del área de estudio (recuadro punteado en rojo). Las líneas punteadas se corresponden con los principales lineamientos de la región.

Por encima de las unidades anteriores en discordancia angular se apoya una secuencia sedimentaria de más de 7000 m de espesor. La misma está representada por depósitos continentales de la Formación Fortín (Zambrano, 1972; Lesta et al., 1978, 1980) que se asigna al Cretácico temprano y corresponde con la segunda etapa de *sinrift* (Yrigoyen, 1999). Posteriormente durante el estadio de *post-rift* (*sag*), tercera etapa, se habrían depositado la Formación Colorado, de origen aluvial, asignado al Cretácico tardío (Yrigoyen, 1975; Casadío et al., 1999, 2000). Por encima, sobre una discordancia regional, se depositó la Formación Pedro Luro en un ambiente marino y transicional, edad Cretácica tardío en su sección continental y Cretácico tardío-Paleoceno (Maastrichiano- Daniano) en su sección marina (Yrigoyen, 1999).

El cuarto estadio, definido por Yrigoyen (1999) como de *margen pasivo*, estaría asociado a la evolución del margen atlántico. Este estadio involucra a la secuencia cenozoica, la cual se inicia con las formaciones Elvira y Ombucta, equivalentes laterales correspondientes a una secuencia alternante transgresiva-regresiva. Por encima de estas se desarrolla en discordancia la Formación Barranca Final de edad Mioceno medio que estaría asociada a la transgresión Paranaense según lo describe Ramos (1999).

La cuenca de Macachín, que se desarrolla al Oeste de la provincia de Buenos Aires y Este de la Pampa, posee una morfología elongada Norte-Sur (Folguera y Zárata, 2009). Definida como un rift el cual se encuentra relleno con 4000 m de sedimentos cretácicos que apoyan en discordancia sobre el basamento Paleozoico (Salso, 1966; Zambrano, 1974; Yrigoyen, 1975).

Los depósitos neógenos continentales, los cuales poseen una extensa representación regional, se depositaron luego directamente sobre el basamento (Positivo Bonaerense, bloques de Chadileuvú y San Rafael) y sobre los depósitos de la Formación Barranca Final en las cuencas del Colorado y Macachín (Folguera y Zárata, 2009) (Fig. IV-1 y IV-2). Si bien existe una gran similitud entre los depósitos del Mioceno tardío- Plioceno en la región, estos han recibido una denominación diferente en cada sitio en donde han sido estudiadas. Folguera y Zárata (2009) han realizado un intenso trabajo de análisis sobre la distribución espacial y las características litológicas, estratigráficas, paleontológicas con el fin de correlacionar estas unidades y establecer una denominación única para todas ellas. En la Figura IV-2 se resumen las unidades estratigráficas en el área de estudio, desde el faldeo occidental del positivo Bonaerense, al sur del lineamiento de Villamanca (ubicado al Norte de la laguna de Puan), hasta la cuenca del Colorado, en donde se localiza la laguna La Salada.

Folguera y Zárata (2009) proponen agrupar a los depósitos del Mioceno tardío compuestos por sedimentos limosos a arena limosos, con colores rojizos a castaños, con niveles interpretados como paleosuelos (Visiconti, 2007), como Formación Cerro Azul. Hacia el sur, en la cuenca del Colorado los miembros basales de esta Formación serían coetáneos con los de la Formación Río Negro (Folguera y Zárata, 2009), formada por areniscas medianas a finas con intercalaciones limolíticas, arcillas, niveles cineríticos y calizas terrosas (Andreis, 1965) (Fig. IV-2). Se diferencian entonces un ambiente fluvial en la cuenca del Colorado y un ambiente eólico con retrabajo fluvial en el Positivo Bonaerense (Folguera y Zárata, 2009). En la zona del piedemonte del Positivo Bonaerense se encuentran los sedimentos limo arenosos con intercalaciones de tosca, desarrollo de suelo y depósitos fluviales efímeros de las formaciones La Norma, Sandulgaray, La Toma y Monte Hermoso, esta última de origen fluvial (Zavala, 1993), equivalentes al miembro superior de la Formación Río Negro (Folguera y Zárata, 2009).

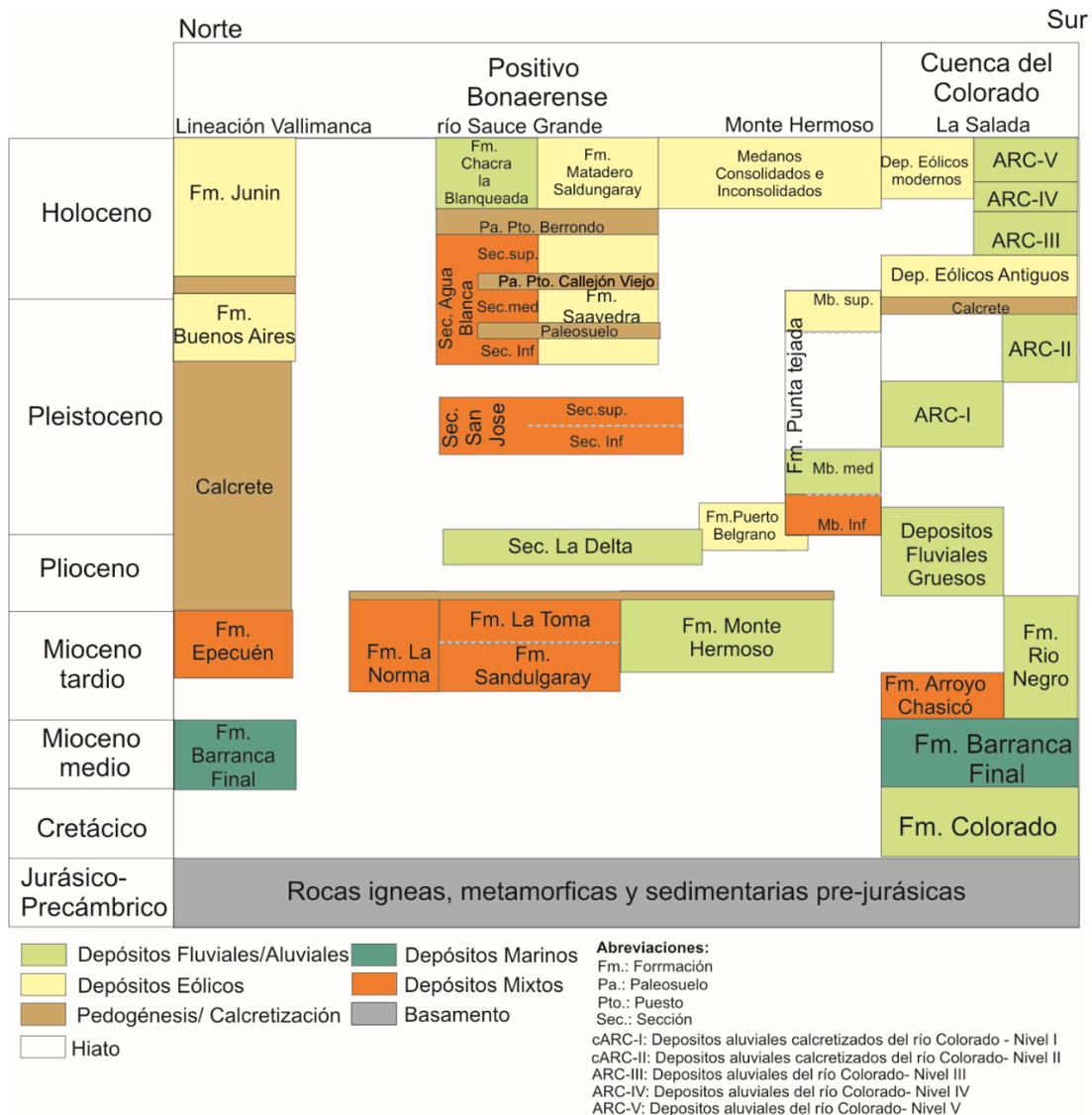


Figura IV-2: Esquema cronoestratigráfico del área de estudio (Basada en modificaciones a los trabajos de Zavala (1993); Quattrocchio y Borromei (1998); Fidalgo et al. (1999); Rimoldi y Suriano (1999); Zavala y Quattrocchio (2001); Quattrocchio et al. (2008); Folguera y Zárate (2009); Etcheverría et al. (2009); Isla et al. (2010) y Seitz et al. (2019).

Durante el Plioceno el depocentro de la cuenca se localizó fundamentalmente en la cuenca del Colorado (Folguera y Zárate, 2009). En este período los depósitos fluviales, de edad Plioceno medio-Pleistoceno, se depositaron sobre la Formación Río Negro. En la región del positivo Bonaerense, en particular en el valle del río Sauce Grande, se produjo la incisión de los depósitos terciarios que dan lugar a la secuencia La Delta cuyo relleno se inicia con depósitos fluviales posteriormente cubiertos por depósitos eólicos. Esta secuencia fue interpretada como la evolución de un valle fluvial bajo un clima árido-semiárido (Zavala y Quattrocchio, 2001; Quattrocchio et al., 2008).

Regionalmente, durante el Pleistoceno, se ha reconocido un calcrete en la parte superior de todas las unidades, que de acuerdo con Vogt (2010) corresponde a un aumento en la energía del sistema con movimientos tectónicos que generaron la disección del paisaje en forma escalonada, al mismo tiempo climas semiáridos a subhúmedos (Iriando, 1999) favorecían la precipitación de carbonatos en las superficies estabilizadas (Folguera y Zárate, 2009). Los calcretes se encuentran regionalmente cubiertos por depósitos eólicos asignados al Pleistoceno-Holoceno temprano. Se trata de un gran manto de loess y arena eólica desarrollado en la región pampeana (Zárate, 2003). Las zonas interfluviales, en la región, están representados por las formaciones Buenos Aires, Saavedra, el miembro superior de la Formación Punta Tejada y los depósitos eólicos antiguos en la cuenca del Colorado (Zavala, 1993; Quattrocchio y Borromei, 1998; Rimoldi y Suriano, 1999; Zavala y Quattrocchio, 2001; Zárate, 2003; Quattrocchio et al., 2008; Etcheverría et al., 2009). Durante el mismo período, asociados a los valles fluviales del río Sauce Grande y el arroyo Napostá, se reconoce el desarrollo de dos nuevos niveles de terrazas las que se corresponden con las Secuencias San José y Aguas Blancas, respectivamente, en el Pleistoceno medio y Pleistoceno tardío-Holoceno (Quattrocchio et al., 2008). Ambas se componen de tres miembros que de base a techo incluyen depósitos aluviales, fluviales efímeros y eólicos; estos últimos reflejan condiciones áridas-semiáridas. Como consecuencia de este último ciclo depositacional muchos valles fueron cubiertos (Zárate, 1991). En el río Colorado los depósitos correspondientes al primer y segundo nivel de terraza (ACR-I y ACR-II) se encuentran cubierto por depósitos eólicos del Pleistoceno tardío-Holoceno (Seitz et al., 2019).

En el Holoceno temprano a medio, desde ca. 10000 a 7800 años AP (Zech et al., 2009), se produce un mejoramiento climático en la región. Sobre los sedimentos eólicos, cuando se produjo la reducción en la tasa de sedimentación eólica alrededor de los 10000 años, se desarrollaron suelos modernos (Zárate y Blasi, 1991). En la región, condiciones de formación de suelo fueron registradas en sedimentos del arroyo Chasicó, 9930 \pm 140 años AP (Borel et al., 2001). En el sitio Paso Otero, entre 10400 y ca. 9400 años AP, se reconocen facies asociadas con paleosuelos (Grill et al., 2007) que se consideran equivalente al paleosuelo Puesto Callejón Viejo (Quattrocchio et al., 2009). Tonni et al. (2001), por otro lado, reconoce tres eventos pedogenéticos ocurridos durante el Holoceno en la región pampeana: uno desarrollado en el Holoceno temprano a medio (10000-7000 años AP), denominado Puesto Callejón Viejo, otro desarrollado en el Holoceno medio a tardío (6500 a 4000 años AP) y el último en el Holoceno tardío (3000 a 2000 años AP) paleosuelo Puesto Berrondo los cuales aparecen en el río Sauce Grande coronando cada uno de las secciones de la Formación Agua Blanca (Fidalgo et al., 1973; Fidalgo 1992;

Tonni et al., 2001). Durante este período en la cuenca del Colorado se desarrolla el tercer nivel de terraza de su abanico aluvial, caracterizado como el de mayor extensión superficial (Etcheverría et al., 2009; Seitz et al., 2019). Alrededor de los 6000 años AP se registra también un ascenso del nivel del mar de 6 m por encima del actual (Melo et al., 2003) con su máximo desarrollo en el estuario de Bahía Blanca (Gómez y Perillo, 1995).

Más tarde, durante el Holoceno tardío retornan las condiciones secas y se inicia la regresión marina alrededor de los 3000 años AP (Zárate, 1991; Grill y Quattrocchio, 1996; Quattrocchio et al., 1998; Melo et al., 2003). Entre los 4000-5000 años AP se reactiva la actividad eólica en algunos sectores y se erosionan los suelos (Zárate, 2003). En el ámbito del río Sauce Grande se deposita la Formación Chacra La Blanqueada, un limo arenoso desarrollado sobre el paleosuelo Puesto Berrondo, generado en un ambiente eólico con episodios fluviales, asignada al Holoceno tardío (2830 ±90 años AP) (Quattrocchio y Borromei, 1998). Su equivalente en el ambiente eólico interfluvial lo constituye la Formación Matadero Saldungaray compuesta por un limo arenoso a limo arcilloso datada como Holoceno tardío (Borromei, 1992, 1995; Quattrocchio y Borromei, 1998). Hacia el Norte, en sector de la lineación de Villamanca (Fig IV-1), estos depósitos arenosos están representados por la Formación Junín (De Salvo et al., 1969; Rimoldi y Suriano, 1999). Evidencias palinológicas y paleontológicas sugieren que el Holoceno tardío fue un período de alta variabilidad climática con cortos episodios semiáridos y condiciones cálidas y húmedas (Quattrocchio et al., 2008). En la zona de Monte Hermoso se desarrollaron médanos costeros (Zavala, 1993). En el río Colorado, durante este período, se produjo la retracción del abanico aluvial con el retrabajamiento de los depósitos aluviales del río Colorado- Nivel III (ACR-III), lo cual dió lugar al desarrollo de cubetas de deflación con acumulaciones eólicas locales en este nivel. Además, producto de la agradación de los depósitos aluviales se generó la cuarta terraza del río Colorado-Nivel IV (ACR-III) (Etcheverría et al., 2009; Seitz et al., 2019).

A partir de los 1400 años AP el clima se vuelve templado húmedo a subhúmedo producto del Anomalía Climática Medieval (ACM) (Villalba, 1994; Iriondo, 1999) ocasionando la erosión parcial de las geoformas generadas, el desarrollo de suelos y la instalación de lagunas permanentes en esas depresiones por un ascenso en los niveles freáticos de la zona y la colonización de las costas por grupos humanos (Iriondo, 1994, 1999; Carignano 1999; Cioccale, 1999). Evidencias palinológicas y fósiles indican condiciones semiáridas a cálidas y húmedas en la cuenca alta del río Sauce Grande y cuenca media el arroyo Napostá (Grill, 1993, 1995, 1996, 1997; Borromei, 1995; Grill y Quattrocchio, 1996; Quattrocchio et al., 1998). La existencia de lagunas y ríos modificaron el ambiente árido preexistente favoreciendo el ingreso de la fauna Brasileira (Quattrocchio

et al., 1988; Deschamps y Tonni, 1992). En la laguna Mar Chiquita, localizada en la provincia de Córdoba, una interrupción del período cálido y húmedo a condiciones secas es registrada entre 1410 a 1068 años cal. AP (Piovano et al., 2009).

Registros históricos indican una aridización notable en la provincia de Buenos Aires (Politis, 1984,) entre los 800 y 200 años AP conocida como la Pequeña Edad de Hielo (Iriondo, 1994, 1999; Villalba, 1994; Luckman y Villalba, 2001). Sedimentos eólicos denominados como miembro Seré de la Formación Las Lilas se habrían depositado en el Noroeste de Buenos Aires como consecuencia de este evento en discordancia sobre los suelos desarrollados durante el período Cálido del Holoceno (período Hipsitermal) o los sedimentos lacustres de la Anomalía Climática Medieval (Hurtado et al., 1985). Asimismo, en las lagunas Las Encadenadas del Oeste de la misma provincia se registraron intensas condiciones de sequía que desencadenaron la reactivación de los campos de médanos, con frecuentes tormentas de tierra y desecación de lagunas (Piovano et al., 2009). Lo mismo ocurrió en pampa de La Salina en la provincia de San Luis en donde un campo de médanos fue asignado a este período (Iriondo, 1999). Otros estudios en la zona reconocen el primer pulso de la Pequeña Edad de Hielo (PEH) entre los 400-600 años AP (Cioccale, 1999) el cual habría tenido su máximo alrededor de los 550 años AP (1550 años AD). Cartografía jesuítica, además de otras evidencias arqueológicas en la región, indican que durante este período el suroeste de la región pampeana experimentó condiciones más frías y áridas que las actuales con la recesión de los sistemas fluviales y lacustres (Politis 1984; Cioccale 1999; Iriondo, 1999; Piovano et al., 2002, 2004, 2009). Cioccale (1999) propone un segundo pulso frío que se extendió desde los 100-300 años AP (siglo XVIII hasta inicios de XIX), siendo el más reciente el más intenso. Ambos pulsos son relacionados con períodos de baja actividad solar. Durante el primer y el segundo pulso se desarrolló uno intermedio caracterizado por condiciones más benignas (Cioccale, 1999) en las que primaron condiciones de mayor estabilidad climática con escasas inundaciones extraordinarias y pocas sequías (Prieto y Herrera, 1991) que promovieron la expansión de las lagunas y sistemas fluviales más definidos (Furlong Cardiff, 1937).

Además se registraron importantes eventos de sequía durante el siglo XVIII y comienzos del XIX (Prieto y Herrera, 2001). Uno de los eventos más importantes registrados a inicios del siglo XIX, entre 1800 y 1810 años AD y de 1827 a 1832 años AD, este último denominado como la Gran Seca (Darwin, 1860; Piovano et al., 2009). En las lagunas Las Encadenadas, a través de imágenes satelitales y registros históricos se evidenció una gran retracción de las mismas y la expansión de los campos de médanos durante el siglo XIX (Córdoba et al., 2006).

GEOMORFOLOGIA REGIONAL

El área de estudio incluye el dominio morfoestructural de Sierra de la Ventana y la cuenca del Colorado (Gonzalez Uriarte, 1984). La zona de estudio incluye el Mar de Arena Pampeano definido por Iriondo (1999) como una zona amplia de cubierta arenosa, desarrollada durante las glaciaciones Pleistocena y retrabajadas durante los eventos de sequía posteriores. De manera subordinada aparecen ambientes fluviales (Zárate y Tripaldi, 2012). Siguiendo la clasificación de la región pampeana realizada por Zárate y Tripaldi (2012), el área de estudio incluye la unidad Mantos de loess arenosos y arenas loessicas (SLM; Sandy Loess and Loessial sand Mantles) y Mantos y campos de médanos de la Patagonia Norte y Sur de la Pampa (PPMD; Northern Patagonia and Southern Pampean Sand mantles and Dunefields).

La primera unidad consiste en una extensa planicie estructural disectada por valles fluviales que le otorga una morfología suavemente ondulada (Zárate y Tripaldi, 2012). Los depósitos eólicos cubren los sedimentos Mioceno-Plioceno y Pleistoceno medio a tardío con un espesor variable, con los máximos espesores en las zonas serranas y piedemonte. Asimismo, estos sedimentos se encuentran rellenando valles fluviales. Sobre este manto de arena se observan de manera subordinadas depresiones y lunetas. Se supone que estos depósitos se habrían generado en varios eventos de depositación durante el Pleistoceno tardío-Holoceno (Zárate y Tripaldi, 2012).

La segunda unidad está formada por varias superficies agradacionales generadas entre el Mioceno tardío y el Pleistoceno (Folguera y Zárate, 2009). Estos depósitos fueron cubiertos por mantos de arena cuya gradación granulométrica y geoformas eólicas, desarrolladas en depresiones lineales o paleovalles permite inferir vientos predominantes de Oeste a Suroeste. Los principales eventos climáticos responsables del modelado de la región pampeana y la dirección de vientos predominantes se resumen en la Tabla IV-1.

Tabla IV-1: Resumen los principales eventos climáticos y ambiente en base a Zech et al. (2009) y Schäbitz (2003) en la región pampeana y direcciones de vientos de los principales eventos climáticos ocurridos desde el Pleistoceno basado en Iriondo (1999) y Iriondo et al. (2009) (1). Pp.: Precipitación

Zech et al. (2009)			Dirección de paleovientos (1)	Schäbitz (2003)		
Edad	Clima	Ambiente		Edad	Clima	Ambiente
Presente-1400 años cal. AP/ 1500 años AP	Húmedo, mayor estabilidad	Pedogénesis		Presente-3000 años AP	Incremento de las Pp.	
1400-3300 años cal. AP	Condiciones inestables, mayor variabilidad climática			3000-5000 años AP	Incremento de Pp. Con estacionalidad	Desarrollo de salinas
3300-7800 años cal. AP	Árido con eventos húmedos intermedios.	Yeso con paleosuelos intercalados	SSO-NNE	5000-7000 años AP	Cálido y arido	Reducción de las Salinas; reactivación eólica
7800- 12000 años cal. AP	Incremento de las Pp. y Temp. durante todo el año	Pedogénesis	O-E (ppal.); SSO-NNE	7000-10500 años AP	Cálido y semiárido	-
12000-16000 años cal. AP	Estacionalidad en las Pp, conc. en verano.	Pedogénesis. vegetación resistente a sequías.		10500-13000 años AP	Arido y frío	-
16000 años cal. AP	Bajas temperaturas y alta aridez	Deflación y hiato erosivo	SSW-NNE y S-N			

GEOLOGIA Y GEOMORFOLOGIA LOCAL

Puan

Mapa geomorfológico y descripción de unidades

En la Figura IV-3 se presenta el mapa geomorfológico del área de la laguna Puan. En la Tabla IV-2 se resumen las unidades geomorfológicas con sus características principales y edades relativas. Estas últimas han sido asignadas en base a las unidades geológicas que las componen (determinados a partir de cartas geológicas y la base de datos GeoINTA), las relaciones entre ellas y su asociación con los principales eventos climáticos y geoformas registrados en la región pampeana resumidos en la Tabla IV-1.

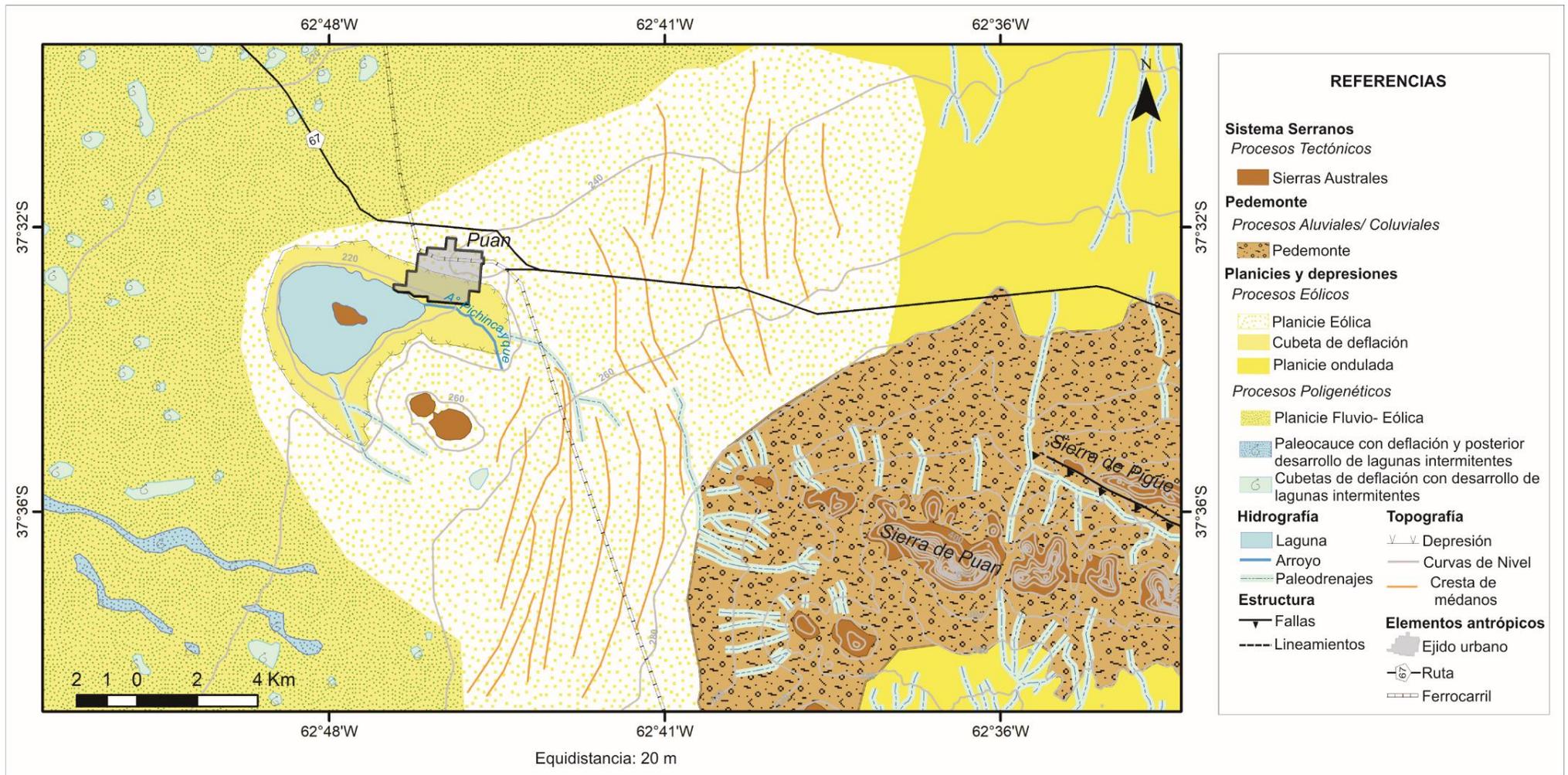


Figura IV-3: Mapa geomorfológico del área de la laguna Puan (Elaboración de la autora).

Tabla IV-2: Resumen de las unidades geomorfológicas del área de Puan.

Ambiente	Proceso	Unidad	Descripción geomorfológica	Litología	Edad
Sistema Serrano	Tectónicos	Sierras Australes	Incluye las Sa. de Puan y Pigüe. Elongación NO-SE, pendiente pronunciada hacia el NE y más suaves al SO y altitud máxima de 541 m.	Fm Troncadero (areniscas y lutitas), Fm. Napostá (Ortoquarcitas)	S.-D.
Pedemonte	Aluviales/coluviales	Piedemonte	Transición entre la serranía y la planicie circundante, pendiente más abrupta en dirección NO-SE, mientras que los flancos NE y SO son levemente más suaves.	Limo arenoso a limo	PI-H
Planicies y depresiones	Eólicos	Planicie eólica	Planicie con pendiente del 0,3 % con médanos atenuados alineados en dirección SSO-NNE, con crestas separadas 400 m de varios km de largo. En períodos húmedos las zonas deprimidas son ocupadas por lagunas.	Suelo franco arenoso desarrollado sobre tosca.	PI
		Cubeta de deflación	Cubeta de la laguna de Puan. Forma de media luna con sus extremos orientados ENE-OSO. Mayores pendientes en su margen NO. En el centro se localiza una isla en donde aflora basamento de las Sierras Australes. En los alrededores además del arroyo Pichincay se observan paleodrenajes.	-	PI-H
		Planicie ondulada	Localizada en los flancos Norte y Sur de las Sas. Australes. Pendiente de 0,4 %. morfología suavemente ondulada con paleodrenajes aislados	Limos sobre tosca, espesor entre 0,35 -1 m.	PI
	Poligenéticos	Planicie Fluvio-Eólica	Morfología plana con leve pendiente al O (0,2 %). Sobre la misma se desarrollan cientos de cubetas de deflación, algunas alineadas asociadas a paleocauces, de forma circular a elongada en sentido E-O.	Limo arenoso con desarrollo de suelo de 0,35 m apoyando sobre tosca.	PI
		Paleocauce con deflación y desarrollo de lagunas intermitentes.	Paleodrenajes de NNO-SSE que nacen en la planicie Fluvio- Eólica. El drenaje incluye cubetas alineadas E-O.	Arenoso	Ht
		Cubetas de deflación con desarrollo de lagunas intermitentes	Cubetas con lagunas temporales sobre la planicie Fluvio-Eólica. Morfología circular, subcircular y compuestas.	-	Ht

Referencias: S.: Silúrico; D.: Devónico; PI: Pleistoceno; H.: Holoceno; t: tardío; inter.: intermitente; Sa.: Sierra.

Interpretación del origen de la laguna de Puan

La laguna de Puan se localiza en una cubeta de deflación rodeada de sedimentos eólicos de edad Pleistoceno tardío. La morfología de la cubeta con sus brazos elongados aproximadamente O-E, sugiere una predominancia de vientos en esa dirección.

La existencia de los afloramientos de las Sierras Australes habría favorecido el desarrollo de vórtices en herraduras generando un incremento en la velocidad del flujo y erosión por debajo de los mismos, proceso descrito por Greeley e Iversen (1985) como responsable de la iniciación de médanos. A sotavento del obstáculo, la velocidad del flujo disminuye, se desarrollan vórtices que convergen generando un flujo contrario al predominante favoreciendo la acumulación. Por otro lado, observaciones de campos y modelos han comprobado que existe una disminución de la velocidad del viento en la base de escarpas (Bowen y Lindley, 1977; Pearse et al., 1981). Estas dos condiciones, la existencia de obstáculos que favorecen la erosión y posterior acumulación y el frente de las Sierras Australes habrían favorecido el entrapamiento de la arena generando una acumulación significativa. Dicha acumulación habría dado lugar al desarrollo de sistemas de médanos transversales en la planicie eólica.

En la planicie fluvio-eólica aparecen antiguos paleodrenajes que han sido retrabajados por acción eólica. Paleodrenajes de las mismas características, originados en el área extraserrana, se observan al sur de la zona de estudio cuyas cabeceras se encuentran alineadas en sentido NO-SE. Zavala et al. (2005) encontró una serie de paleodrenajes, al Sur del área de estudio, denominados secundarios por estar desconectados de la zona serrana. Los mismos estuvieron activos en épocas de crisis hídrica superficial, siendo colectores del agua subterránea. Estos se originan en afloramientos de rocas pardas rojizas de grano fino, con niveles de tosca pertenecientes la Formación Monte Hermoso y equivalentes del Plioceno y Pleistoceno temprano (Zavala et al., 2005). Los autores han relacionado a estos con otros cambios en los patrones de erosión de orientación E-O y lo asocian con actividad de escalones de falla producidos durante el Pleistoceno tardío. Quattrocchio et al. (1994) reconocen una deformación neotectónica en sedimentos del Pleistoceno tardío que la asocian con la reactivación de fracturas del basamento con propagación en superficies de fallas secundarias. Por lo tanto, los paleocauces desarrollados en la planicie fluvio-eólica se generaron posiblemente en el Pleistoceno tardío como respuesta a eventos neotectónicos, siendo posteriormente retrabajados por el viento.

Los médanos desarrollados en la planicie eólica, la orientación de la cubeta que ocupa la laguna de Puan, así como también la orientación de las cubetas de deflación de

la planicie fluvio-eólica, que abarca también los paleodrenajes de la misma, indican una predominancia de vientos del Oeste. Iriondo (1999) reconoce un clima árido en el Pleistoceno tardío-Holoceno temprano (8500-14000 años AP) caracterizado por la generación de numerosas cubetas de deflación, actualmente ocupadas por lagunas permanentes, a partir de la elongación de las cubetas determinó dos orientaciones de paleovientos principales para esta etapa, una O-E y otra SSO-NNE, siendo la primera la dirección principal. Sin embargo, estudios posteriores con mayor control cronológico desarrollados en el área de estudio indican que durante el período árido en el Pleistoceno tardío que involucro deflación y erosión con hiato sedimentario se extendió hasta los 16000 años AP (Zech et al., 2009).

De acuerdo con lo anteriormente expresado se supone que la cubeta de la laguna de Puan se habría generado durante el Pleistoceno tardío como consecuencia de la deflación producida por vientos predominantes del O-E durante un período árido de la región pampeana. El emplazamiento de la laguna propiamente dicha se habría generado posterior a este evento con el retorno de las condiciones de humedad posiblemente desde los 16000 años AP, a finales del último glacial, efectivizándose a partir de los 12000 años AP de acuerdo con la reconstrucción climática para la región propuesta por Zech et al. (2009). La existencia de paleodrenajes alrededor de la cubeta y atravesando la planicie eólica sustentan este mejoramiento climático.

Los Chilenos

Mapa geomorfológico y descripción de unidades

En la Figura IV- 4 se presenta el mapa geomorfológico del área de la laguna Los Chilenos. En la tabla IV-3 se resumen las unidades geomorfológicas con sus características principales y edades relativas. Estas últimas han sido asignadas en base a las unidades geológicas que las componen (determinados a partir de cartas geológicas y base de datos GeoINTA), las relaciones entre ellas y su asociación con los principales eventos climáticos y geoformas registrados en la región pampeana son resumidos en la Tabla IV-1. La estructura que afecta al basamento fue realizada en base a Cobbold et al. (1986).

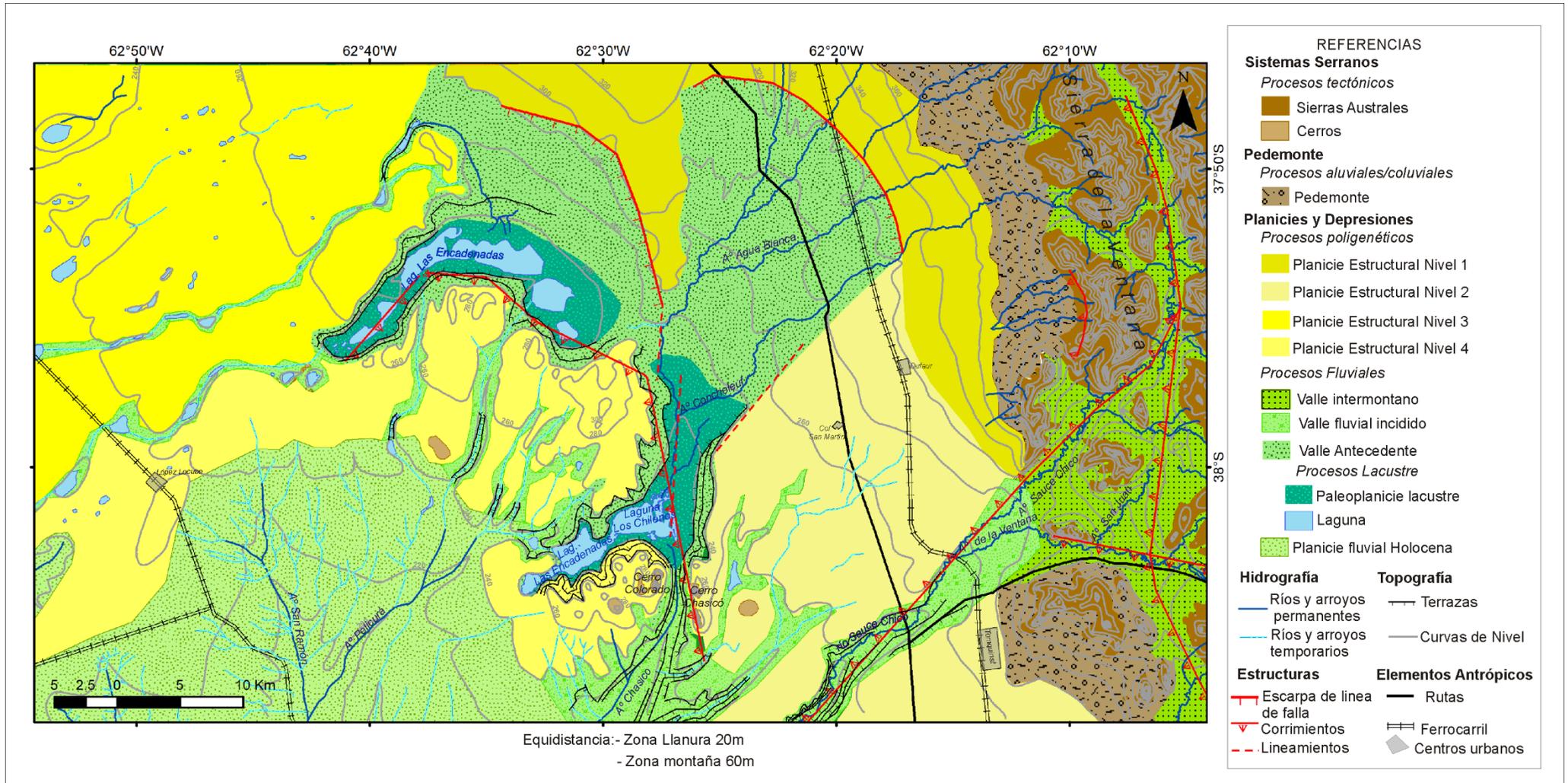


Figura IV-4: Mapa geomorfológico del área de la laguna Los Chilenos (Elaboración de la autora).

Tabla IV-3: Resumen de las unidades geomorfológicas del área de Los Chilenos.

Ambiente	Procesos	Unidad	Descripción Geomorfológica	Litología	Edad
Sistema Serrano	tectónicos	Sierras Australes	Incluye el flanco occidental de las Sas. de la Ventana. Elongación aproximadamente N-S, pendiente pronunciada (40 %) y altitud máxima de 1006 m	Grupo Curamalal y Ventana	S.- D.
		Cerros	Incluye los C° Colorado y Chasicó. Con alturas máximas de 330 y 328 m, respectivamente. Afloran en la planicie estructural 2 y 3	Granito López Lecube	Tte
Pedemonte	Aluviales/ coluviales	Pedemonte	Transición entre la serranía y la planicie circundante, posee una pendiente del 3 %.	Limo arenoso a limo	PI-H
Planicies y Depresiones	Poligenéticos	PE-I	Morfología plana con pendiente suave (0,8 %) hacia el O. Se encuentra fuertemente disectada	Limo arenoso	PI
		PE- II	Morfología plana suavemente ondulada con inclinación hacia el O (0,1 %). Sobre ella se desarrollan paleocauces encajados y hoyas de deflación.	Limos sobre tosca espesor entre 0,35 -1 m	PI
		PE- III	Morfología plana suavemente ondulada con pendiente leve, entre 0,2 y 1 % al SSO. Fuertemente reducida por la disección retrocedente de cursos más modernos. Constituye una zona de transición en donde ocurre un cambio en la dirección de drenaje general.	Limos sobre tosca espesor entre 0,35 -1 m	PI
		PE- IV	Planicie suavemente ondulada con pendiente del 0,3% al O. Se encuentra bien preservada, con escasas hoyas de deflación en comparación a la PE-II y paleodrenajes retrabajados por procesos eólicos.	Limo arenoso	PI
	Fluviales	Valle Intermontano	Valles desarrollados entre las Sas de la Ventana. Se desarrolla entre los 538 y 450 m de altitud.	Suelos desarrollados sobre sedimento PI	PI
		Valle fluvial incidido	Se encuentran incidiendo las PE-II, PE-III y PE-IV. Presentan en general un incremento en el grado de incisión de Norte a Sur. Siendo la diferencia total entre la paleosuperficie y el nivel de valle actual de 14 m, en el paleocauce al norte de las encadenadas, 26 m en el extremo occidental de las encadenadas, y 26 m en el A° Sauce Chico. A excepción el nacimiento del A° Chasicó que presenta 51 m. Los mismos presentan en su interior hoyas de deflación en algunos casos ocupados por lagunas.	-	PI
		Valle antecedente	Gran depresión de aproximadamente 60 m de desnivel, orientada NO-SE, desarrollado entre las planicies estructurales. Se encuentra ocupada por lagunas y una paleoplanicie lacustre. Presenta una importante incisión fluvial que desarrolla una escarpa de línea de falla en su extremo Norte, dando un perfil suave, mientras que flanco Sur las pendientes son pronunciadas. Dentro del valle se reconocen también niveles de aterrazamientos.	Suelos sobre sed. eólicos en zonas altas y material indiferenciado.	PI-H
		Planicie fluvial Holocena	Morfología plana suavemente inclinada hacia el S (0,13 %). Esta se encuentra incidido por los cursos permanentes de los arroyos San Ramón y Pelicurá y drenajes temporarios dando lugar a un patrón de drenaje dendrítico.	Limo arenoso sobre tosca de más de 0,80 cm	H
		Proceso lacustre	Subun. Paleoplanicie lacustre	Rodea a las lagunas, representa una antigua area inundada por las lagunas. Está limitada por una barranca que en algunos sectores alcanzan los 5 m respecto del nivel de la laguna actual. Constituye una zona anegable en donde se desarrolla vegetación litoral.	-
	Subun. Laguna		Ocupan las zonas deprimidas del valle antecedente, poseen régimen permanente y morfología elongada.	-	H

Referencias: S.: Silúrico; D.: Devónico; PI: Pleistoceno; H.: Holoceno; T: Triásico; t: tardío; te: temprano; Planicie Estructural Nivel I (PE-I); Planicie Estructural Nivel II (PE-II); Planicie Estructural Nivel III (PE-III); Planicie Estructural Nivel IV (PE-IV). Interpretación

En rasgos generales la geomorfología del área consiste en una zona montañosa localizada al Este del área mapeada denominada Sierra de la Ventana que incluye rocas de edad Silúrico-Devónico. Hacia el Oeste, el basamento está cubierto por sedimentos Mioceno tardío-Plioceno, considerados depósitos sinorogénicos distales asociados al ascenso de los Andes (Folguera et al., 2015) que generaron un relieve plano suavizando las irregularidades del basamento. Hacia el norte, estos sedimentos se encuentran limitados por un calcrete, de extensión regional, de aproximadamente 2 m de espesor, y cubiertos por depósitos eólicos del Pleistoceno tardío-Holoceno (Folguera et al., 2005). Dichas características, al Este del área mapeada, dan lugar a una serie de planicies ascendidas y basculadas que han sido posteriormente modeladas por procesos asociados a los eventos climáticos ocurridos desde el Pleistoceno hacia la actualidad. Las planicies estructurales son coronadas por un calcrete el cual se encuentra aflorante o subaflorante debido a que la cobertura eólica tiene escaso espesor, en especial al Este del área mapeada.

La planicie estructural nivel I (PE-I) parece tener una cierta continuidad con el piedemonte, siendo esta una transición suave. Asimismo, entre la PE-I y la PE-II y IV, si bien existe un cambio de pendiente la transición entre ambas es suave. Lo contrario ocurre con la PE-III que además de su desconexión de las demás planicies por la incisión de valles fluviales presenta una mayor pendiente con un basculamiento hacia el SSO y se encuentra fuertemente incidida por erosión retrocedente. Esta diferencia entre las planicies estructurales, que afectan secuencias del Mioceno tardío-Plioceno cubiertas por un calcrete sin expresión de relieve previo, solo puede explicarse por movimientos tectónicos.

Los valles fluviales que inciden las planicies PE-II están asociados hacia el Norte con drenajes originados en el área extraserrana. Zavala et al. (2005) han relacionado a estos con actividad de escalones de falla producidos durante el Pleistoceno tardío. Actualmente los mismos se encuentran inactivos y parcialmente cubiertos por depósitos eólicos. Vogt et al. (2010) relaciona el origen de los valles transversales (Fig. IV-1), desarrollados en el límite entre las provincias de la Pampa y Buenos Aires, a la erosión retrocedente de una escarpa de falla hacia el Este producto de una rápida reactivación de fallas submeridianas durante el Pleistoceno tardío, que se asocia con una continuidad del estilo morfotectónico de la región Pampeana. Quattrocchio et al. (1994) también registran una deformación neotectónica en sedimentos del Pleistoceno tardío que asocian con la reactivación de fracturas del basamento con propagación en superficies de fallas secundarias.

En base a lo anterior, se propone que posiblemente durante el Pleistoceno tardío, producto del neotectonismo, se habrían producido movimientos diferenciales de las planicies. Esto ocasionó modificaciones en la red de drenaje, cuyas nacientes se encuentran en el flanco occidental de las Sierras Australes, dando lugar a un desvío hacia el Noroeste y hacia el Sureste de los cursos fluviales paralelo a la escarpa de la PE-III, generando un valle antecedente a medida que progresaba la incisión. Es posible que una tectónica más activa en relación a la erosión fluvial haya determinado el desvío de la red fluvial en lugar de la incisión transversal de la PE-III. Posteriormente, con la incisión por parte de los ríos que drenaban paralelos a la escarpa y la profundización del valle de los mismos, comienza a desarrollarse una red de drenaje de cursos perpendiculares a la escarpa de PE-III, a favor y en contra de la pendiente. La evolución de la red de drenaje produjo la captura del curso de contra pendiente por el curso a favor de la pendiente, al Sur del drenaje Norte del valle antecedente, determinando un acortamiento y abandono del curso anterior con la migración hacia el Sur del drenaje del valle antecedente. Esto explica el hecho de que la incisión sea menor en el Norte y se incremente hacia el Sur.

La evolución de los valles fluviales incididos en las planicies estructurales habría estado limitado por un cese de la actividad tectónica o limitaciones climáticas que condicionaron la incisión de la PE-III dando lugar a la restricción del drenaje a la zona del valle antecedente. Las evidencias de deflación y retrabajo por el viento de los valles fluviales incididos sugiere que posiblemente el cese de la incisión fue debido a causas climáticas. Las cubetas de deflación y rasgos de deflación acumulación sobre las PE-II y III indican una orientación de los vientos predominantemente SSO-NNE. Iriondo (1999) reconoce deflación elíptica ocasionada por vientos del SSO-NNE en el evento árido del Holoceno tardío (1400-3500 años AP). Sin embargo, trabajos posteriores con mayor ajuste cronológico sugieren que este período árido en el Holoceno se habría desarrollado entre los 3300 y 7800 años cal AP (Zech et al., 2009).

La morfología de las lagunas y la paleoplanicie lacustre asociada parece indicar que el área anegada o con alta humedad local tuvo una mayor extensión. Es probable que con el retorno de las condiciones de humedad, a partir de los 3300 años cal AP (Zech et al., 2009), el área se comportara como un humedal que recibía aportes de agua y sedimento del drenaje de las Sierras Australes. Posteriormente, con el incremento del volumen de agua se habrían reactivado los drenajes del valle antecedente. Como consecuencia de este evento se habría originado la laguna Los Chilenos ocupando la zona deprimida de un valle fluvial incidido que drenaba el frente de la escarpa de la PE-III, en algún momento en el Holoceno tardío.

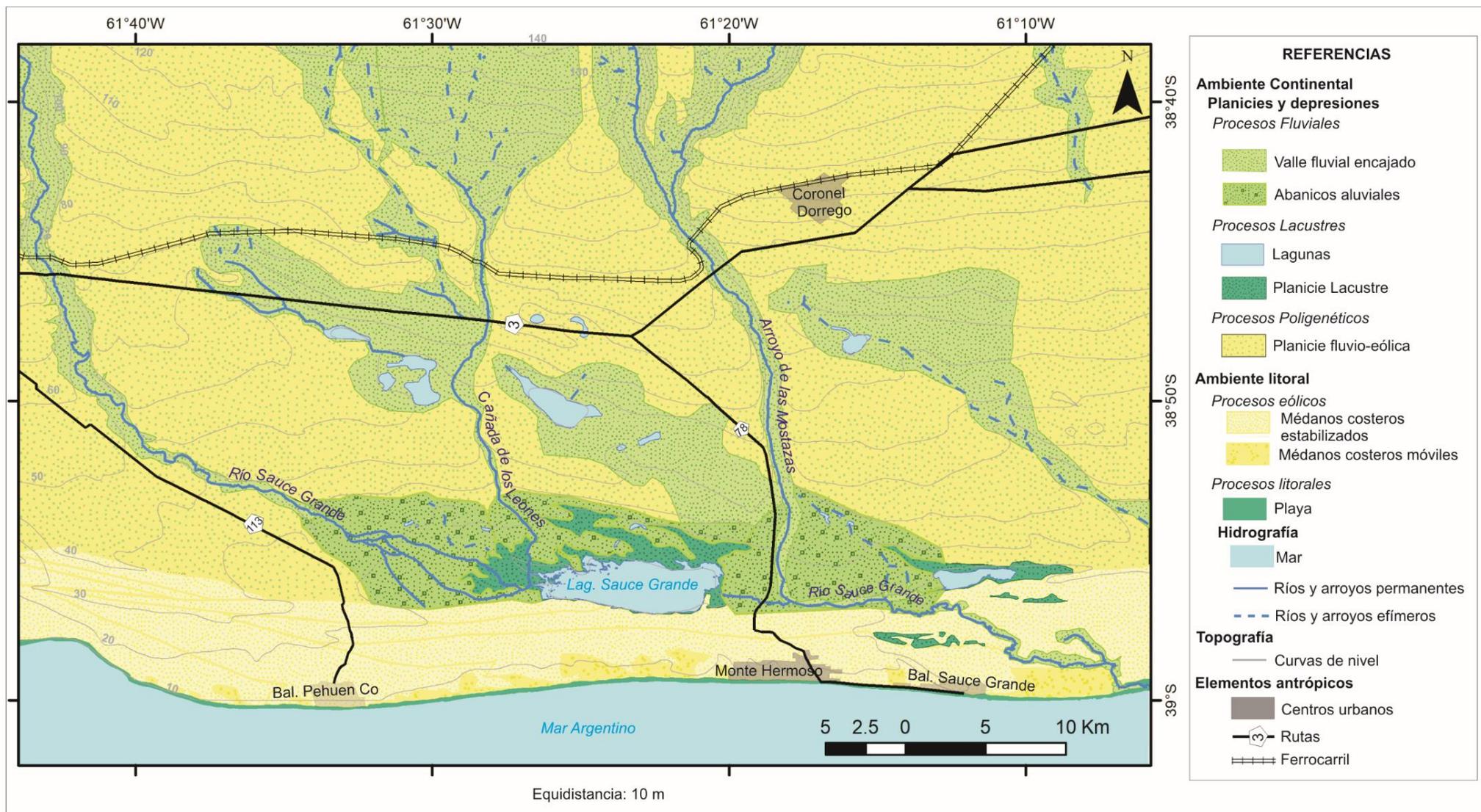


Figura IV-5: Mapa geomorfológico del área de la laguna Sauce Grande (Elaboración de la autora).

Tabla IV-4: Resumen de las unidades geomorfológicas del área de Sauce Grande.

Ambiente	Procesos	Unidad	Descripción Geomorfológica	Litología	Edad	
Continental	Planicies y depresiones	Fluviales	Valle Fluvial Encajado	Valles fluviales generados por el río Sauce Grande y el arroyo Las Mostazas y drenajes y cañadones menores como la cañada de Leones que inciden la Planicie Fluvio-eólica. El primero tiene sus nacientes en las Sas. de la Ventana, al Norte, mientras que los otros se originan en cuenca media y baja. En el interior de sus valles se observan varios niveles de terraza.	Secuencia Agua Blanca y Fm. Chacra la Blanqueada	PI-H
			Abanicos aluviales	Rodea la laguna Sauce Grande en la desembocadura del río Sauce Grande y el arroyo Las Mostazas	Limo arenoso	H
		Lacustres	Lagunas	Incluye a la laguna Sauce grande y varias lagunas limitadas por los médanos costeros y la planicie fluvio-eólica y aquellos localizados en depresiones de origen fluvial	-	H
			Planicies lacustres	Se encuentra rodeando las lagunas o en depresiones que son ocupadas en períodos húmedos por lagunas temporarias		H
		Poligénicos	Planicie Fluvio-Eólica	Planicie suavemente ondulada con leve pendiente al Sur (0,3 %). Con importante desarrollo agrícola.	Limo arenoso sobre	Pli-PI
Litoral	Playa y dunas costeras	Eólicos	Médanos costeros estabilizados	Médanos transversales cuyas crestas se orientan aproximadamente N-S con separación entre crestas de entre 200-600 m. Pendiente al barlovento de 1,6 % y al sotavento de ~4 %. Los valles intermédanos se encuentran totalmente vegetados pudiendo alojar lagunas en sus depresiones.	Arena	H
			Médanos costeros móviles	Escasa extensión en comparación con el anterior, restringidos entre los balneario de Pehuén Co y Sauce Grande. Conformada por médanos transversales de orientación N-S a la que se le superpone una orientación NO-SE. Separación entre crestas entre 200-300 m. Con una pendiente de barlovento de 3 % y de sotavento de ~6 %.	Arena	H-actual
		Litorales	Playa	Se desarrolla a lo largo de todo el sector costero mapeado con un ancho de entre 150-250 m disminuyendo de Este a Oeste	Arena	actual

Referencias: Pli.: Plioceno; PI: Pleistoceno; H.: Holoceno; Sas.: Sierras.

Sauce Grande

Mapa geomorfológico y descripción de unidades

En la Figura IV-5 se presenta el mapa geomorfológico del área de la laguna Sauce Grande. En la Tabla IV-3 se resumen las unidades geomorfológicas con sus características principales y edades relativas. Las edades han sido asignadas en base a las unidades geológicas que las componen (determinados a partir de los antecedentes geológicos del área (Borromei, 1992; Zavala y Quattrocchio, 2001; Isla et al., 2001; Fontana, 2005)), las relaciones entre ellas y su asociación con los principales eventos climáticos y geoformas registrados en la región pampeana están resumidos en la Tabla IV-1

Interpretación

La geomorfología del área mapeada involucra desde el Pleistoceno hasta la actualidad, su evolución deriva de la interacción de procesos costeros y continentales. La unidad más antigua es la planicie fluvio-eólica la cual fue posteriormente incidida por el río Sauce Grande, el arroyo las mostazas y cursos menores. Zavala y Quattrocchio (2001) proponen que la evolución de las secuencias fluviales del Suroeste de Buenos Aires consistió de 4 etapas conformadas por: a) un período de incisión sin depositación; b) relleno inicial; c) relleno final y d) relleno e incisión que habría tenido lugar durante el Cuaternario. Esto habría determinado el reactivamiento esporádico de la red fluvial dando lugar a la generación de tres niveles de terrazas dentro del valle fluvial (Quattrocchio y Zavala, 2001).

Subyacen a los médanos costeros depósitos fluviales terciarios cubiertos por material fino aportado por cursos secundarios desarrollados durante períodos de sequías posteriores. Estos depósitos posibilitaron luego el emplazamiento de lagunas en el Pleistoceno tardío-Holoceno medio. (Quattrocchio y Zavala, 2001; Gutierrez y Schillizi, 2002; Manera de Bianco et al., 2008). Por encima de los depósitos, hacia la costa, y en una posición mesolitoral, se apoyan de manera discordante depósitos del Holoceno, 8830 y 4840 años A.P., de origen continental transicional (facies de playa y laguna marginal) y marino (plataforma mareal), estando el ambiente marino restringido al sector Este a la altura del balneario Sauce Grande (Gutierrez y Schillizi, 2002). Durante el Holoceno, producto de la amplia abundancia de arenas relacionado con el nivel máximo del mar ocurrido en el Holoceno, se emplazó una barrera de médanos costeros que se instalaron en la zona sobre los acantilados, originados en el Pleistoceno temprano-medio por un nivel del mar más alto (Zavala y Quattrocchio, 2001), o directamente adosados a ellos (Isla et al., 2001). En el área mapeada las características y disposición morfológica de los médanos coinciden con lo encontrado por Isla et al. (2001). En el sector Oeste del mapa se observan médanos desarrollados sobre el acantilado, de escasa extensión, y un conjunto de

médanos de mayor extensión que se desarrollan en la base del acantilado a lo largo de toda la costa. La disposición de los distintos cordones de médanos estabilizados así como la orientación de las crestas indica que su origen estuvo asociado a vientos del Oeste. Isla et al. (2001) en base a dataciones determinó que las playas que podrían aportar arena para la generación de los médanos costeros se habrían generado alrededor de los 6000 años AP, no obstante su desarrollo fue variable. Isla et al. (2001) encontraron que la instalación de los médanos sobre los acantilados en la zona austral se habría producido alrededor de los 3560 ± 60 años AP.

El origen de la laguna Sauce Grande, entonces, como ya ha sido sugerido por otros autores (Rabassa, 1982; Zavala y Quattrocchio, 2001; Fontana, 2005) habría estado asociado con la instalación de los médanos costeros que encerraron el área de desembocadura del río desplazando el curso del río Sauce Grande hacia el Este, posiblemente ca. de los 3000 años AP.

La Salada

Mapa geomorfológico y descripción de unidades

En la Figura IV-6 se presenta el mapa geomorfológico del área de la laguna La Salada. En la Tabla IV-5 se resumen las unidades geomorfológicas con sus principales características, litología y edades relativas. Las edades han sido asignadas en base a las unidades geológicas que las componen determinados a partir de los antecedentes geológicos del área (Etcheverría et al., 2009; Melo et al., 2013; Seitz et al., 2019), las relaciones entre ellas y su asociación con los principales eventos climáticos y geoformas registrados en la región pampeana resumidos en la Tabla IV-1.

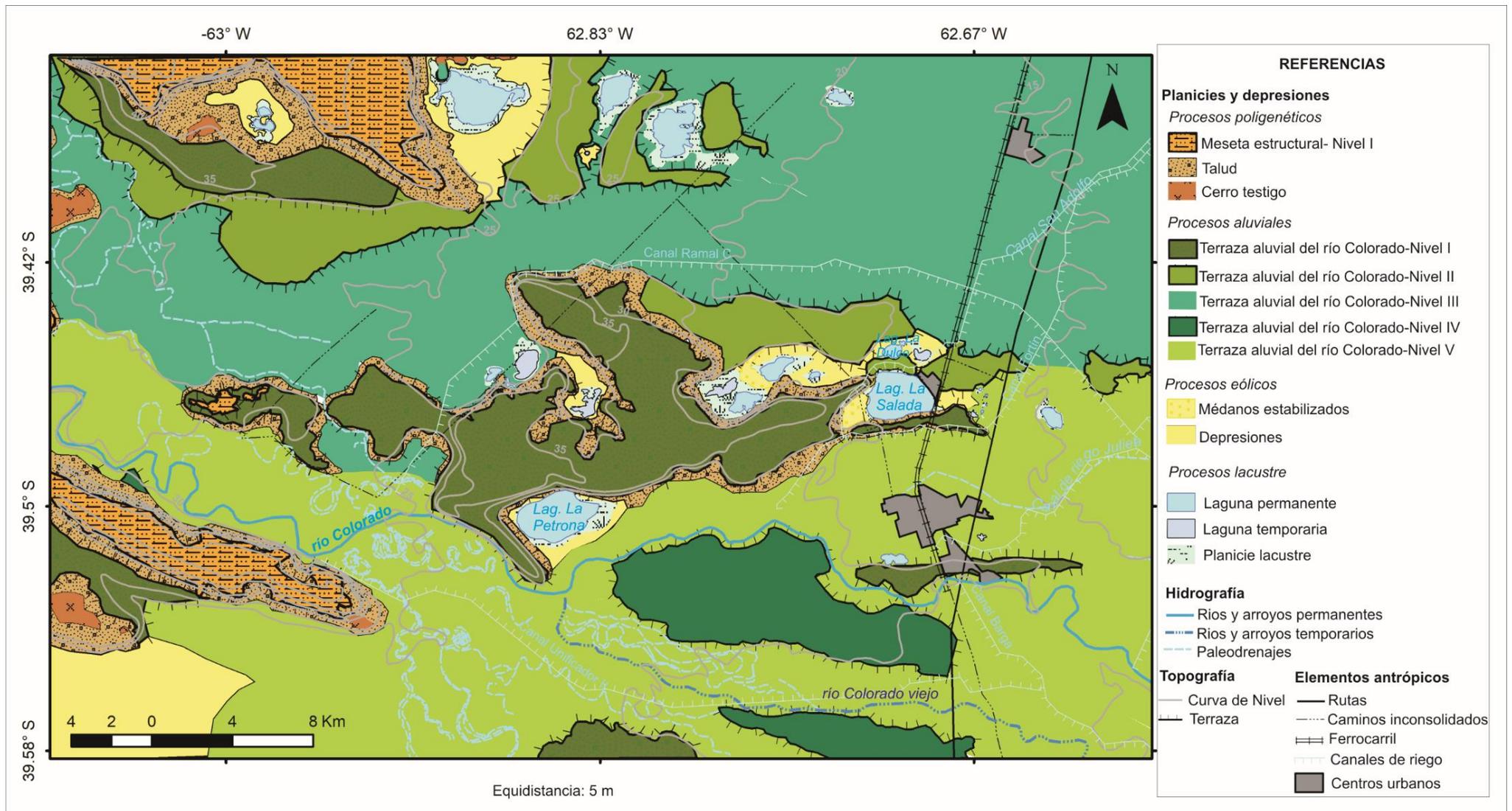


Figura IV-6: Mapa geomorfológico del área de la laguna La Salada.

Tabla IV-5: Resumen de las unidades geomorfológicas del área de La Salada

Ambiente	Proceso	Unidad	Descripción Geomorfológica	Litología	Edad
Planicies y depresiones	Poligénicos	Meseta Estructural- Nivel 1	Leve pendiente hacia el Este de 0,08 %; alturas máximas de aproximadamente 75 m al Oeste. La presencia de calcrete le confiere resistencia determinado la generación de una escarpa pronunciada con desarrollo de cornisas. Por encima se desarrolla un relieve suavemente ondulado conformado por médanos longitudinales estabilizados, de orientación aproximadamente E-O. Poseen un ancho aproximado de 200 m. Por su característica de acuñaamiento hacia el Oeste se habrían originado por la presencia de vientos persistentes del Oeste.	Congl., cal., Ar. finas	PI
		Talud	Rodea las mesetas y terrazas; sometidos a procesos aluviales y de remoción en masa. Pendientes del 2-7 %.	Congl., Lm. y Ar.	H
		Cerros Testigos	Relictos de las mesetas y terrazas que han sido disectadas por procesos fluviales y de remoción en masa. Algunos cerros se encuentran parcialmente conectados con las mesetas, mientras que otros se encuentran aislados y asociados a depresiones. Poseen alturas que varían entre los 45-72 m, taludes abruptos del 2-7 %.	Congl., cal., Ar. finas	PI-H
	Aluviales	TARC-I	Morfología plana a suavemente ondulada con leve pendiente (0,3 %) al Este. Altitud máxima de 47 m, con una diferencia altitudinal con la Terraza II de aproximadamente 9 m y de alrededor de 18 m con la Terraza Nivel III.	Ar. fina, cal. laminar	Plm
		TARC-II	Posee altura máxima de 30 m con una leve pendiente (0,07 %) hacia el Este. Posee una diferencia altitudinal con la terraza- Nivel III de 5 m.	Cal. nodular	Pls
		TARC-III	Es la de mayor desarrollo superficial. Caracterizado por una planicie con una pendiente al Este (0,075 %), se ubica a una altitud de 12 m por debajo de la terraza Nivel I y 6 m por debajo de la Terraza Nivel II. Sus rasgos fluviales se encuentran suavizados por las prácticas agrícolas. A este nivel se reconocen hoyas de deflación y acumulaciones eólicas.	Ar. c/intercal. de Lm. y Arc.	Hm
		TARC-IV	Posee escasa representación respecto de las restantes terrazas, localizada al Sur del río Colorado, posee una leve pendiente al Este (0,033 %), con una altitud media de 23 m. Posee una altitud superior en 2 m a la Terraza Nivel III y entre 3- 4 m con respecto a la Terraza Nivel V. Esta última limita a esta unidad en todos sus lados con un talud cuya pendiente ronda el 2 %	Ar. c/intercal. de Lm. y Arc.	Ht
		TARC- V	Se diferencia de las anteriores por la preservación de los rasgos fluviales a pesar del desarrollo agrícola. Posee un patrón distributivo con morfologías suaves de pendientes hacia el Este y Sursureste. En esta se encuentra encajado el curso actual del río Colorado, flanqueado por terrazas de 2 m.	Ar., Lm. Y Arc. y Gr.subord.	Ht-act.
	Eólicos	Médanos estabilizados	Asociado a las depresiones cerradas y suavizando los taludes entre las Mesetas y Terrazas, principalmente en los taludes que inclinan hacia el Este. Su morfología en planta se corresponde a médanos barjanos con sus brazos orientados en sentido Noreste- Suroeste lo cual indicaría la existencia de vientos provenientes del E-ENE.	Ar., Lm. y Arc.	Hm-Ht
		Depresiones	Se diferencian dos morfologías principales con depresiones elongadas en dirección ONO-ESE, limitado en sus lados Norte, Oeste y Sur por Mesetas Nivel I y depresiones menores elongadas Noreste- Suroeste. Desarrolladas en su mayoría por debajo de los 15 m.	-	Hm-Ht
	Lacustres	Laguna permanente	Las lagunas poseen cuencas cerradas con drenajes centripetos de régimen efímero, siendo su caudal de aporte proveniente de precipitaciones locales, posible influencia del acuífero freático y, en algunos casos, aportes desde los canales de riego. Poseen formas circulares a subcirculares, triangulares e irregulares, en su mayoría con elongación Noreste-Sureste con el extremo oriental más angosto.	-	H
		Laguna temporaria		-	H
		Planicie lacustre	Alrededores de los cuerpos lacustres, su extensión varía de acuerdo a los períodos húmedos y secos en la zona, dado que por su escasa profundidad y morfometría son sensibles a los eventos climáticos secos quedando en algunos casos completamente secos y dando el lugar al desarrollo de salinas.	-	H

Referencias: H: Holoceno; PI: Pleistoceno; t: tardío; m: medio; te: temprano; Terraza aluvial del río Colorado- Nivel I (TARC-I); Terraza aluvial del río Colorado- Nivel II (TARC-II); Terraza aluvial del río Colorado- Nivel III (TARC-III); Terraza aluvial del río Colorado- Nivel IV (TARC-IV); Terraza aluvial del río Colorado- Nivel V (TARC-V); Congl.: Conglomerados; Cal.: calcrete; Gr: Grava; Ar.: Arena; Lm.: Limo; Arc.: Arcilla

Interpretación

El paisaje en el ámbito de la laguna La Salada es consistente con la fisionomía de la Patagonia caracterizada por distintos niveles de mesetas. El río Colorado ha sido el principal modelador del paisaje actual. En base al análisis de las unidades geológicas del área de estudio realizadas por Seitz et al. (2019), el río Colorado se habría establecido en el área aproximadamente en el Pleistoceno medio con un nivel de base inferior al anterior dando lugar a la Meseta estructural Nivel-I con el desarrollo de una planicie aluvial al nivel de la terraza aluvial del río Colorado-Nivel I (TARC-I). Durante este período se estableció en la región un clima árido con transgresión marina (Spalletti e Isla, 2003). Seitz et al. (2019) sugieren que la incisión habría sido desencadenada por movimientos tectónicos ocurridos durante el Pleistoceno tardío en base a la deformación de las unidades subyacentes. Este mismo proceso habría sido el responsable también de la generación de las terrazas aluvial del río Colorado Nivel II (TARC-II). Al tiempo que se estabilizaban los niveles de terrazas se produjo la calcetización de las mismas aproximadamente en el Pleistoceno tardío (Seitz et al., 2019).

El tercer nivel de terraza del río Colorado (TARC-III) se desarrolló durante un período cálido y húmedo, posterior al evento árido del límite Pleistoceno- Holoceno registrado por Iriondo (1999) en la región pampeana, alrededor de los 7.000 años AP (Etcheverría et al., 2009; Seitz et al., 2019). De acuerdo con Zech et al (2009) este período húmedo en la región se habría extendido entre los 7800 y 12000 años cal. AP. El período árido registrado en el límite Pleistoceno-Holoceno está representado en el área mapeada por los médanos longitudinales y los depósitos eólicos que cubren la Meseta estructural Nivel-I y las terrazas aluviales del río Colorado (TARC-I y TARC-II).

Sobre el nivel de la TARC-III se desarrollan lagunas, permanentes y temporarias, y los médanos estabilizados. Etcheverría et al. (2009) y Seitz et al. (2019) en base al análisis sedimentológico de perfiles en la TARC-III distinguen un origen fluvio-eólico de los depósitos, sugiriendo que los mismos fueron retrabajados por el viento. Ambos trabajos sugieren que estos procesos se desarrollaron durante el Holoceno tardío, período árido reconocido por Iriondo (1999) entre los 3.000 y 1.400 años AP y que según Zech et al. (2009), con un mayor control cronológico habría ocurrido entre los 7800 y 3300 años cal. AP. Seitz et al. (2019) interpreta los depósitos eólicos del Holoceno tardío por procesos de removilización local. Durante este período, al sureste de la provincia de Buenos Aires, Zárate y Blasi (1991) reconocen dos episodios eólicos que los asocian a procesos locales con desarrollo de deflación y lunetas.

La orientación de las lagunas y médanos, así como el desarrollo preferencial de los médanos sobre los taludes con pendiente hacia el Este, indican una dirección de los vientos provenientes del Este o Noreste. En la región, la media anual de la dirección predominante de los vientos es del Oeste; sin embargo, estacionalmente la frecuencia y dirección de los vientos reflejan condiciones climáticas locales (Burgos, 1968). De acuerdo con el análisis de los vientos locales de la estación Hilario Ascasubi la dirección de vientos predominantes en el área durante el verano es del Este (Scian, 2010). Posiblemente durante este período se produjo una intensificación de las condiciones locales. Compagnucci (2011) observa que durante el Holoceno medio, entre los 4500 y 7000 años AP el desplazamiento hacia los polos de los Vientos de los Oestes determinó condiciones de sequía en el norte de la Patagonia y condiciones de verano e invierno muy diferentes. Fernández (2012), en base al análisis polínico de perfiles relevados en la Salada y áreas próximas, reconoce una disminución de los vientos regionales del Noroeste y Sudoeste ca. de los 3000 años AP.

La cubeta de la laguna La Salada se habría generado, entonces, como producto de la deflación de la TARC-III, en el Holoceno medio a tardío, en relación con los vientos dominantes del Este o Noreste. Posteriormente con el retorno de las condiciones de humedad, posterior a los 3300 años cal. AP (Zech et al., 2009), la depresión fue ocupada por la actual laguna La Salada.

CAPITULO V

PALEOLIMNOLOGIA

Los ecosistemas lacustres están sujetos a factores de estrés natural y antrópicos. Entre los factores de estrés natural, el clima es uno de los más importantes, mientras que los factores antrópicos incluyen, entre otros, la incorporación excesiva de nutrientes o sustancias tóxicas, invasión de especies no nativas (Leira y Cantonati, 2008). Uno de los factores que controlan el funcionamiento y estructura de los ecosistemas lacustres de aguas poco profundas son las fluctuaciones del nivel de agua (Coops et al., 2003), en especial en las zonas áridas y semiáridas en donde las comunidades de plantas litorales son particularmente sensibles a las fluctuaciones del agua (Beklioglu et al., 2006). Los cambios en las condiciones ambientales puede afectar la estabilidad de las lagunas y variaciones extremas en el nivel de agua puede ocasionar cambios de condiciones de aguas turbias a claras (Beklioglu et al., 2007). Por ejemplo, los niveles altos de agua pueden ocasionar la pérdida de macrófitas sumergidas, derivando en un estado turbio (Engel y Nichols, 1994), mientras que niveles excesivamente bajos pueden incrementar la erosión, el riesgo de muerte de peces debido a condiciones anóxicas en verano o invierno, lo cual puede derivar en una recolonización de la vegetación con posteriores condiciones de agua clara (van Geest et al., 2003).

El conocimiento de los cambios ecológicos ocurridos en los lagos puede ser reconstruido a través de la paleolimnología. Los sedimentos del fondo de los lagos son el archivo de todo lo ocurrido en los mismos integrando procesos naturales y antrópicos a través de la depositación de materiales bióticos y abióticos (proxies) originados *in situ* en el lago, en su cuenca o en la atmósfera. Cada uno de los proxies permite obtener información de distintos cambios ocurridos en el pasado (Cohen, 2003; Piovano et al., 2014). En este capítulo se realizará la reconstrucción de los cambios ecológicos ocurridos en las lagunas en base al análisis de las diatomeas, gremios ecológicos de diatomeas, estratigrafía y fitolitos. En el siguiente apartado se desarrollará la descripción de las características granulométricas y estratigráficas, dataciones radiocarbónicas, modelo de edad-profundidad y proxies biológicos en cada uno de los testigos extraídos de las lagunas. Posterior a la descripción previamente mencionada se realizará la interpretación paleolimnológica y paleoambiental en cada una de las lagunas en base a los resultados obtenidos. Se remarca que para facilitar la lectura fluida del texto se omitirá la incorporación del nombre de autor de cada una de las especies determinadas la cual podrá ser consultada en el Anexo 1. Además, con el mismo propósito se realizará un redondeo de

las edades en los límites entre las zonas que se definan. Asimismo, se resalta que los intervalos cronológico asignados a los límites de zonas de diatomeas y de unidades, asignadas en base al modelo de edad profundidad, se consideran tentativas dado que las características de estos ecosistemas (frecuentes sequías e inundaciones) no se puede garantizar una sedimentación constante.

LAGUNA PUAN

Ubicación Geográfica

En la laguna de Puan se extrajo un testigo a 3,6 m de profundidad correspondiente a la zona más profunda de la laguna ($37^{\circ} 33' 2,4''$ S, $62^{\circ} 47' 24,6''$ O) (Fig. V-1). La longitud total del testigo extraído es de 1,63 m.

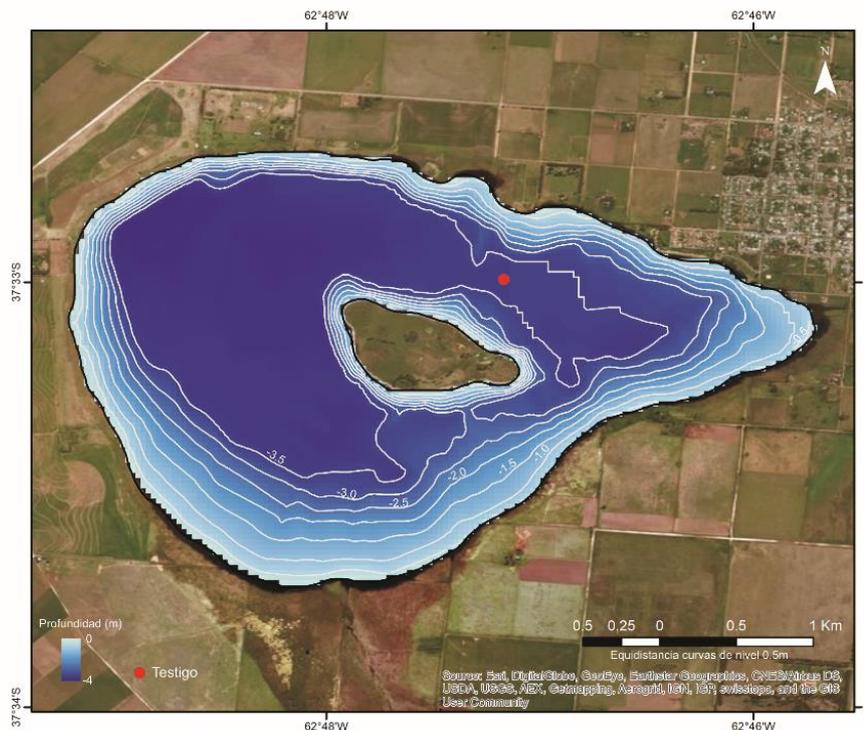


Figura V-1: Batimetría de la laguna de Puan con localización del testigo extraído.

Descripción estratigráfica y sedimentológica

A partir de la interpretación visual, fotografías, imágenes de rayos X y estudios granulométricos del testigo se establecieron 7 unidades sedimentarias las cuales son descritas en la Tabla V-1 (Figura V-2).

Tabla V-1: Descripción de las unidades sedimentarias.

Unidad Sedimentaria	Profundidad (cm)	Descripción
1	0-40	Limo grueso a arenoso muy fino, color pardo grisáceo moderadamente bioturbado, alto contenido de materia organica. Contacto transicional con la unidad posterior.
2	40-50	Limo grueso a arenoso muy fino, color pardo verdoso, más compacto que la unidad suprayacente, ligeramente laminado. La presencia de bandas claras y oscuras en las imágenes de rayos X sugiere alternancia de láminas clásticas y orgánicas respectivamente. Contacto transicional con la unidad posterior.
3	50-90	Limo grueso a arenoso muy fino. Color verdoso a grisáceo oscuro hacia el techo. A lo largo de toda la unidad presenta laminación de 0,3 a 0,5 cm de espesor. Al igual que en la unidad anterior se observa intercalación de láminas clásticas y orgánicas. Estas últimas disminuyen de espesor hacia la base.
4	90-100	Arena muy fina limosa, color pardo verdoso. Compacta a ligeramente laminado, con laminación paralela a cruzada de bajo ángulo. Contacto neto en el techo con la unidad anterior. Unimodal con una moda alrededor de 100 μm .
5	100-130	Limo grueso a arenoso muy fino. Color pardo verdoso. Laminado con intercalación de láminas gruesas y finas que aumentan su espesor hacia el techo. La laminación varia de 0,5 cm de espesor en la base a 2,5 cm hacia el techo. Se observa una grieta vertical que se acuña hacia la base rellena de material disturbado más fino que atraviesa los sedimentos laminados entre los 115 y 130 cm. Además a lo largo de toda la unidad, en particular hacia el techo, hay bioturbación y marcas de raíces. Contacto neto hacia el techo con la unidad anterior.
6	130-150	Arena muy fina limosa, color pardo verdoso. Compacto. Contacto transicional con la unidad anterior.
7	150-163,5	Arena fina limosa con granos redondeados de tosca de manera aislada, color pardo verdoso, compacta con presencia de bioturbación. Contacto neto con la unidad anterior. Bimodales con modas alrededor de los 97 y 450 μm .

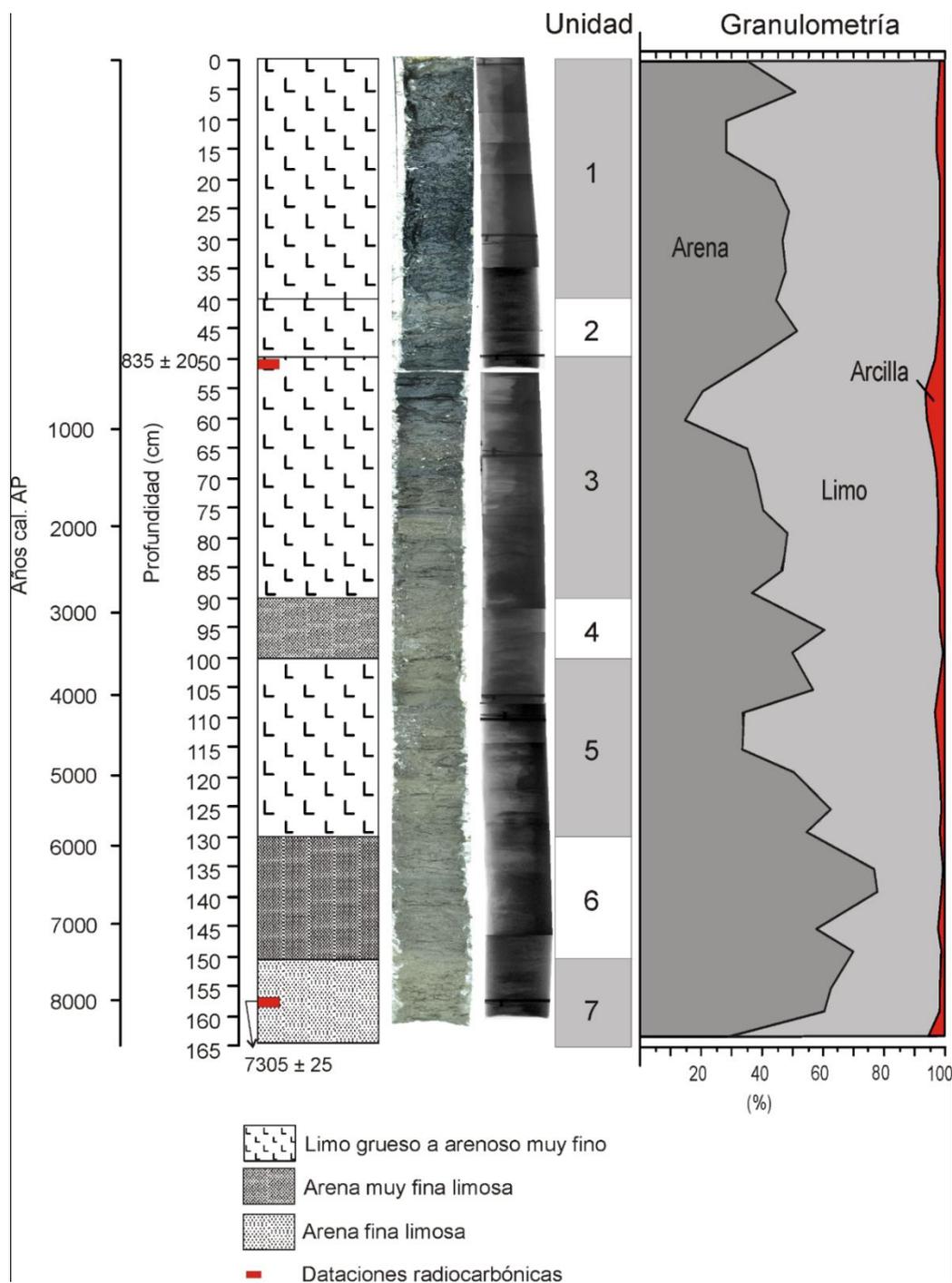


Figura V-2: Perfil litológico del testigo de Puan. Hacia la derecha se presentan las fotografías a color, las imágenes de rayos X, unidades sedimentarias definidas con las variaciones porcentuales de las fracciones de arena, limo y arcilla a lo largo del testigo.

Cronología

La cronología del testigo se obtuvo a partir de fechado de radiocarbono de dos muestras (Tabla V-2). El modelo de edad-profundidad efectuado para las muestras analizadas indica una tendencia polinómica de grado 4 (Figura V-3), mostrando un mayor ajuste para el primer segmento del modelo (0-51 cm), mientras que para el segundo

segmento la dispersión es mayor. Asimismo, en ambos segmentos se evidencia un cambio brusco en la tasa de sedimentación. Sin embargo, la escasa disponibilidad de dataciones impide precisar si este cambio es debido a la existencia de hiatos. La tasa de sedimentación para el primer segmento es de 0,07 cm/año, mientras que para el segundo segmento es aproximadamente 0,014 cm/año. La tasa media acumulada es de 0,02 cm/año.

Tabla V-2: Detalle de las muestras de dataciones radiocarbónicas calibradas y sin calibrar.

Profundidad de la muestra (cm)	Material analizado	Edades Sin Calibrar (14C años AP)	Edad calibrada por Bacon	Probabilidad asociada a la calibración	Curva de Calibración utilizada	Código del laboratorio
Laguna Puan						
51	Sedimento	835 ± 20	692,3 (602,3-779,7)	95	SHCal13	ULA-7149
157	Sedimento	7305 ± 25	7476,4 (5530-8454,5)	95	SHCal13	ULA-7150

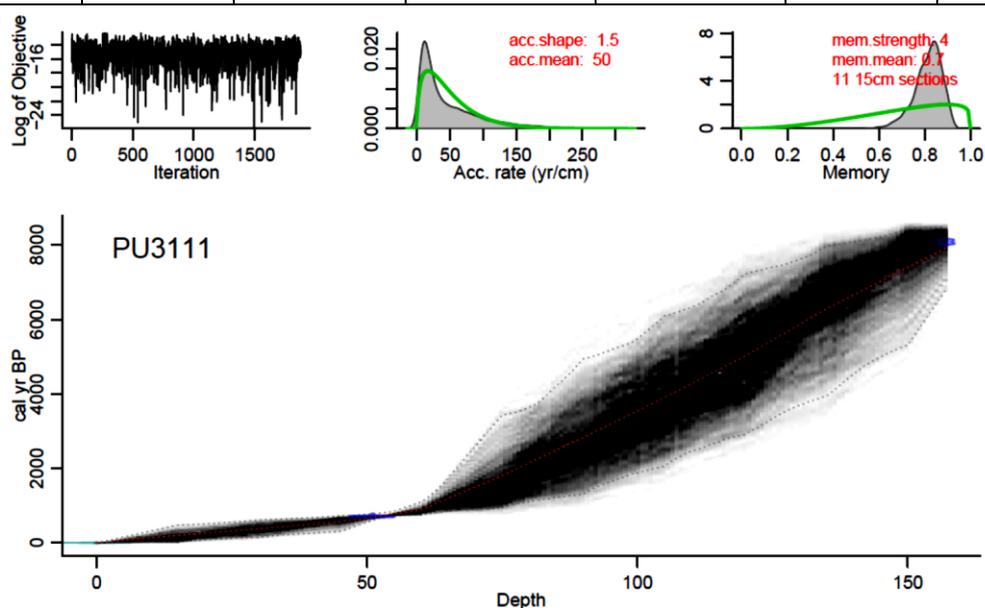


Figura V-3: Modelo de edad- profundidad testigo de Puan.

Identificación e interpretación de Diatomeas

Para el análisis de diatomeas del testigo de Puan se prepararon 34 muestras de las cuales solo 14 presentaron suficiente concentración de valvas (muestras extraídas de 0-65 cm inclusive). Se contaron un mínimo de 400 valvas por muestra. Las muestras restantes presentaron contenidos inferiores a 200 valvas e incluso ausencia total de diatomeas. Se reconocieron un total de 24 géneros y 46 especies. Entre los géneros más representados se destacan *Cyclotella*, *Nitzschia*, *Denticula*, *Navicula*, *Hippodonta*, *Surirella* y *Rophalodia*.

Las diatomeas fueron agrupadas de acuerdo con su hábitat (aerófilas, bentónicas, litorales y plantónicas). El análisis CONISS de todas las muestras analizadas permitió identificar 5 zonas (Fig. V-4). El listado completo de especies y sus preferencias ecológicas se encuentran en el Anexo 1. En la Figura V-4 se presenta el diagrama simplificado con las especies dominantes, la versión completa con todas las especies identificadas en un porcentaje mayor al 2 % puede observarse en el Anexo 2. Entre paréntesis se presentan los rangos mínimos y máximos de presencia relativa.

Zona 1 (67,5~163,5 cm; ~1343-7959 años cal. AP): Se registraron escasas diatomeas (inferior a 200 valvas) entre los 105 y 135 cm, a lo largo de toda la zona se encontraron diatomeas fracturadas y evidencias de disolución de *Cyclotella meneghiniana*. Posiblemente la falta de preservación está asociado a fracturamiento y disolución sumada a la predominancia de sedimento arenoso. Entre las especies registradas en el techo y centro de la zona se destaca *C. meneghiniana*, *Denticula elegans*, *D. valida*, *Rhopalodia gibberula* y *Pseudostaurosira brevistriata*.

Zona 2 (52,5~67,5 cm; ~724-1343 años cal. AP): En esta zona predominan las especies litorales (planctónicas/bentónicas), entre las que se destacan *C. meneghiniana* (12,3-41,1 %), *Nitzschia cf. perminuta* (1,4-2,2 %) y *P. brevistriata* (1,4 y 1,7 %). El bentos está representado por *Hippodonta hungarica* (3,1-13,3 %), *Nitzschia compressa* (7,7-11,0 %), *Nitzschia sp. 1* (6,0-9,8 %), *Navicula phyllepta*, *Navicula capitatoradiata* (1,1-2,9%) y *Surirella striatula* (0,5-2,8 %). Entre las especies aerófilas se encuentran *D. elegans* (5,7-11,0 %), *Achnanthes marginulata* (0,7-8,1 %), *Anomoeoneis sphaerophora cf. costata* (0,5-7,4 %) y *Luticola mutica* (1,4-2,4 %). No se registró ninguna especie exclusivamente planctónica.

Zona 3 (37,5~52,5 cm; ~448-724 años cal. AP): Predominan las especies bentónicas estando representadas por *N. compressa* (28,4- 64,2 %), *S. striatula* (1,7-27,6 %), *Rhopalodia musculus* (0,2-8,9%), *Nitzschia sp.1* (1,0-1,9 %) y *H. hungarica* (0,5-3,9%) y *Nitzschia cf. levidensis* (0,5 %). De las especies litorales se encuentran *C. meneghiniana* (2,2-34,8 %) y *N. cf. perminuta* (1,9-3,4 %). En relación con las especies aerófilas se observa *D. elegans* (1,9-14,4 %), *Pinnularia borealis* (2,1-3,1 %), *A. marginulata* (1,0-4,1 %), *A. sphaerophora cf. costata* (0,5-1,4 %) y *Amphora coffeaformis* (0,2 y 1,0 %).

Zona 4 (27,5~37,5 cm; ~335-448 años cal. AP): Aquí se observa una mayor diversificación de los taxones. *C. Meneghiniana* continúa siendo el taxón dominante (32,7 y 39,8 %). En relación con las especies aerófilas *D. elegans* continúa siendo dominante (5,3 y 9,4 %) junto con *A. sphaerophora cf. costata* (1,6 y 2,5 %) y *A. marginulata* (1,8 y 1,9 %). Entre las especies bentónicas se encuentran *Campylodiscus clypeus* (4,7 y 26,5 %), *S. striatula* (9,7

y 14,2 %), *R. musculus* (1,2 y 8,3 %), *H. hungarica* (2,3 y 5,8 %) y *Mastogloia elliptica* (0,5 y 2,2 %). *Chaetoceros cf. muelleri* (4,0 %), especie planctónica, solo está representada en el techo de la zona.

Zona 5 (0~27,5 cm; ~0-335,2 años cal. AP): Presenta predominio de *C. meneghiniana*, especie litoral- planctónica, representando hasta un 94,3 % del total de especies con una leve disminución hacia la base de la zona llegando a un 76,2 %. Entre las especies aerófilas se destaca *D. elegans* (0,2-6,0 %). El bentos está representado por *S. striatula* (0,5-2,9 %), *C. clypeus* (0,4-2,3 %), *R. musculus* (0,2-2,3 %), *H. hungarica* (0,3-1,4 %) y *N. cf levidensis* (0,7 y 1,6 %). Entre las especies planctónicas, representadas de manera discontinua, se encuentra además *C. cf. muelleri* (0,2 y 1,3 %).

Clasificación de las diatomeas de acuerdo al gremio ecológico

En la Figura V-5 se presenta el diagrama de distribución a lo largo del testigo de cada uno de los gremios de diatomeas clasificadas de acuerdo al apartado determinación, recuento y análisis de diatomeas (Cap. II). Los cambios de distribución más significativos de los cuatro gremios guardan cierta relación con las zonas de diatomeas definidas previamente. En general, entre los 50-75 cm se observa una coexistencia de los cuatro gremios con predominancia del gremio móvil (GM) seguido por el gremio planctónico (GP), mientras que los gremios de perfil bajo (GPB) y alto (GPA) aparecen restringidos, este último solo es apreciable en este nivel coincidente con la zona 2 de diatomeas. Entre los 40-50 cm se observa en general una disminución de base a techo de los GP y GPB, en cambio el GM tiene una tendencia creciente. De 25-40 cm se observa una tendencia decreciente del GM, mientras que el GP es creciente. El GPB permanece constante en toda la zona, con una leve disminución hacia el techo. Finalmente entre los 0-25 cm el GP es el dominante, estando el GM levemente representado, menos del 10 % y el GPB ausente.

Identificación e interpretación de Fitolitos, relación Diatomeas/Fitolitos

En simultáneo con el conteo de diatomeas se llevó a cabo un conteo de fitolitos de pastizales para determinar la relación Fitolitos/Diatomeas a lo largo del testigo (Fig. V-5). En el diagrama se observa que el segmento superior del testigo (0-27 cm aproximadamente), en donde predominan las diatomeas por sobre los fitolitos, relación 70:30, coincide parcialmente con la zona 5 de diatomeas descritas en el apartado posterior, en la cual predominan las especies litorales a planctónicas. Por debajo se distingue un incremento en la proporción de fitolitos en relación a las diatomeas, aproximadamente 80% de fitolitos, el cual coincide con las zonas 4 y 3 de diatomeas en donde se registra un incremento en las diatomeas de hábitat bentónico. Aproximadamente

entre los 55 y 67 cm se observa una disminución en el porcentaje de fitolitos, con el consecuente incremento en el porcentaje de diatomeas, relación ~50:50, esta zona es parcialmente coincidente con la zona 2 de diatomeas en las que nuevamente se registra un incremento en las diatomeas litorales. Finalmente, por debajo de los 67 cm se distingue una dominancia de los fitolitos por sobre las diatomeas, más del 90%, este segmento es equiparable a la zona 1 de diatomeas en donde se registraron escasas diatomeas. Cabe aclarar que las mayores concentraciones absolutas de fitolitos se registraron entre los 30-55 cm (~380-775 años cal. AP) y entre los 65 y 69 cm (~1191-1435 años cal. AP), siendo de igual modo ampliamente superior en el primero que en el segundo.

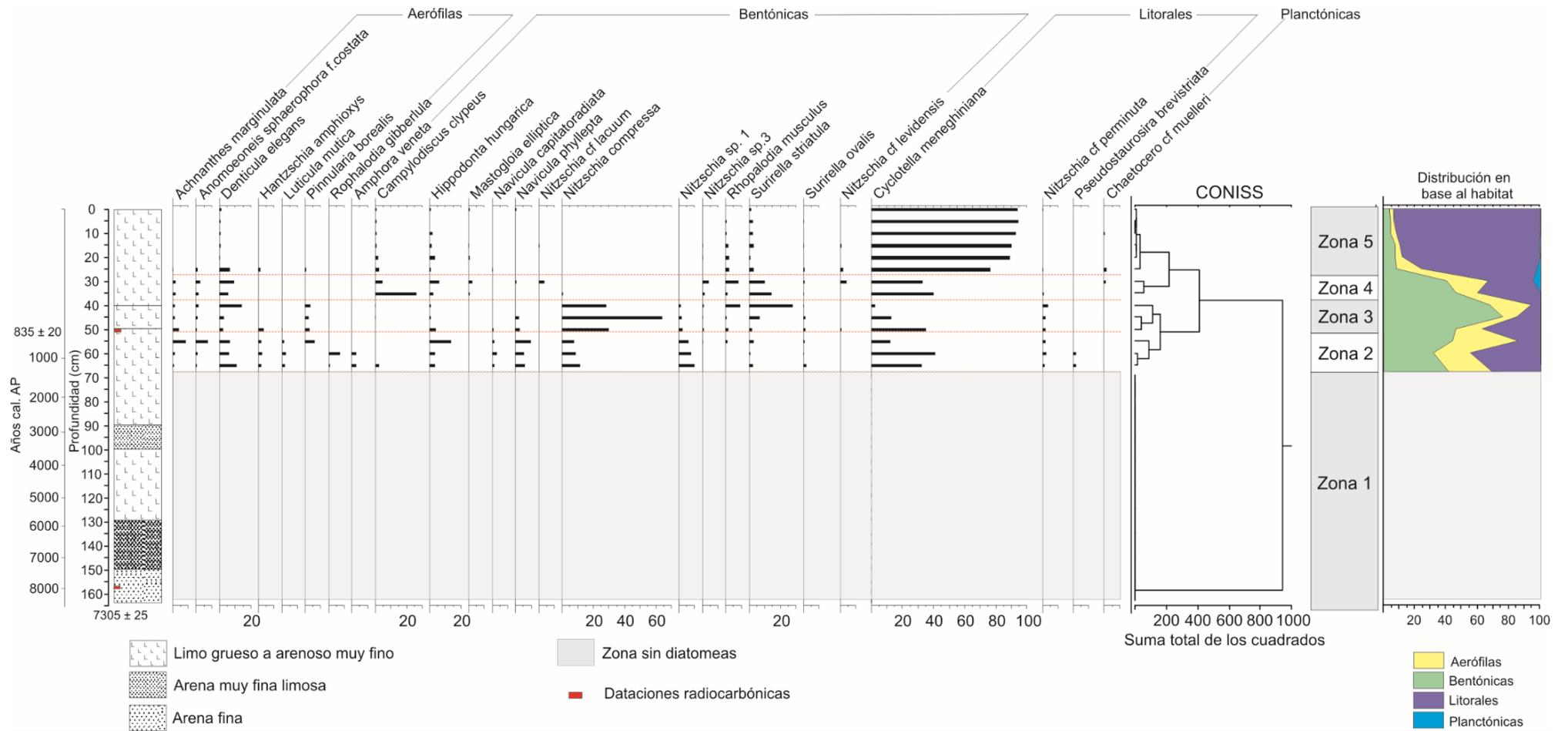


Figura V-4: Diagrama de distribución de diatomeas con análisis CONISS, zonación de diatomeas y distribución relativa de las diatomeas en base al hábitat.

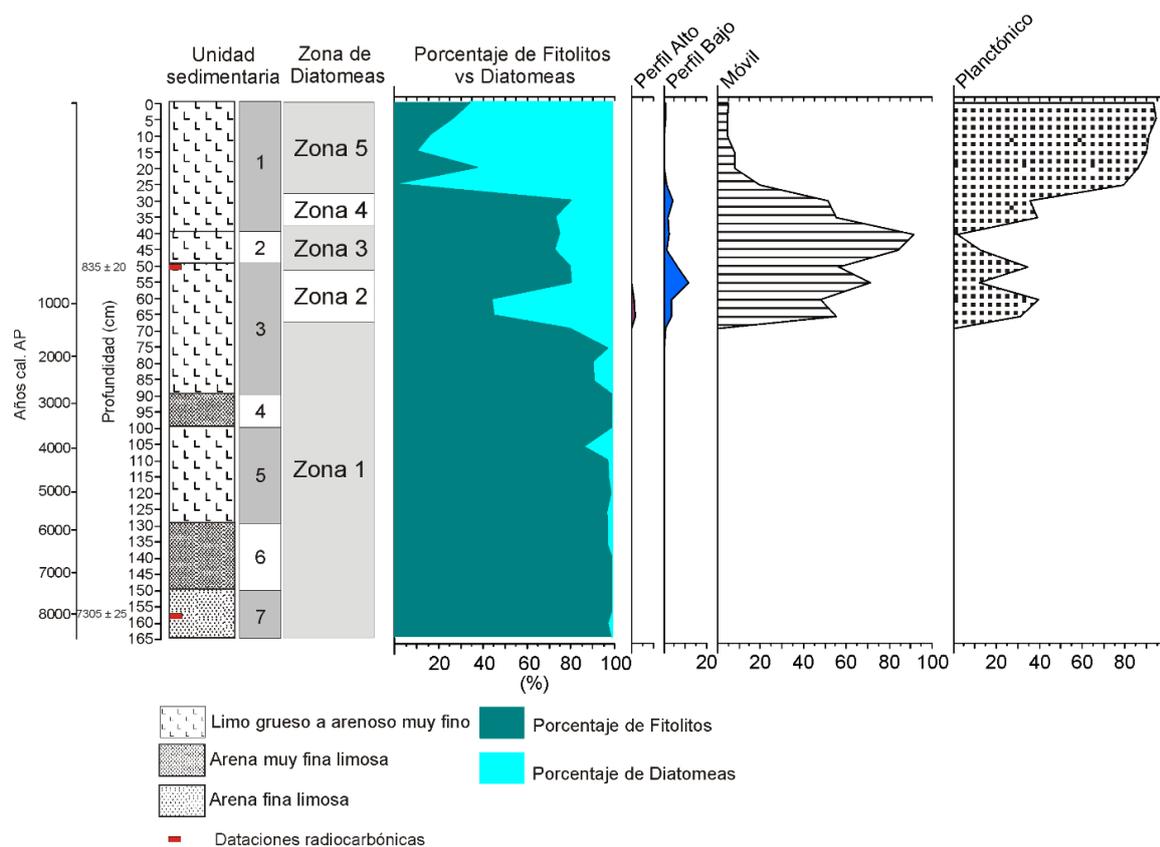


Figura V-5: Diagrama de representación de la litología con las variaciones porcentuales de Fitólitos y diatomeas y representación porcentual de los cuatro gremios ecológicos (Planctónico, perfil alto, bajo y móvil).

Análisis Estadísticos

Se realizó un análisis de Escalamiento Multidimensional No Métrico (NMDS, por sus siglas en inglés Non-metric Multidimensional Scaling) para ordenar las muestras reduciéndolas a un espacio de dimensiones reducidas. Para el análisis se utilizaron los conteos de las muestras que tuviesen más de 20 valvas. Adicionalmente, se incorporaron al análisis los porcentajes de los distintos gremios ecológicos, granulometría y conteo de fitólitos. El análisis realizado presentó un estrés de 0,10 pudiendo resolverse en dos dimensiones. En el estudio de las muestras, las cuales han sido denominadas por la profundidad a la cual fueron extraídas, se pueden reconocer al menos 5 agrupaciones (Fig. V-6). Las ubicadas en el centro que incluyen las muestras de 0-25,5 cm y las muestras 85,5, 105,5 y 129,5 cm constituyen el primer grupo, en el cuarto cuadrante se localizan las muestras de 30,5-40,5 cm que conforman el segundo grupo, el grupo 3 está compuesto por las muestras que se encuentran en el primer cuadrante e incluyen desde la 45,5-55,5 cm, el cuarto grupo está representado por las muestras localizadas en el segundo cuadrante 60,5-65,5 cm y el quinto grupo lo conforma la muestra 69,5 cm. Dichos

agrupamientos coinciden en parte con el análisis CONISS para la zonación de diatomeas (Fig. V-6). Las muestras 85,5, 105,5 y 129,5 cm han sido agrupadas en conjunto con las de 0-25,5 cm por poseer *C. meneghiniana* como dominante.

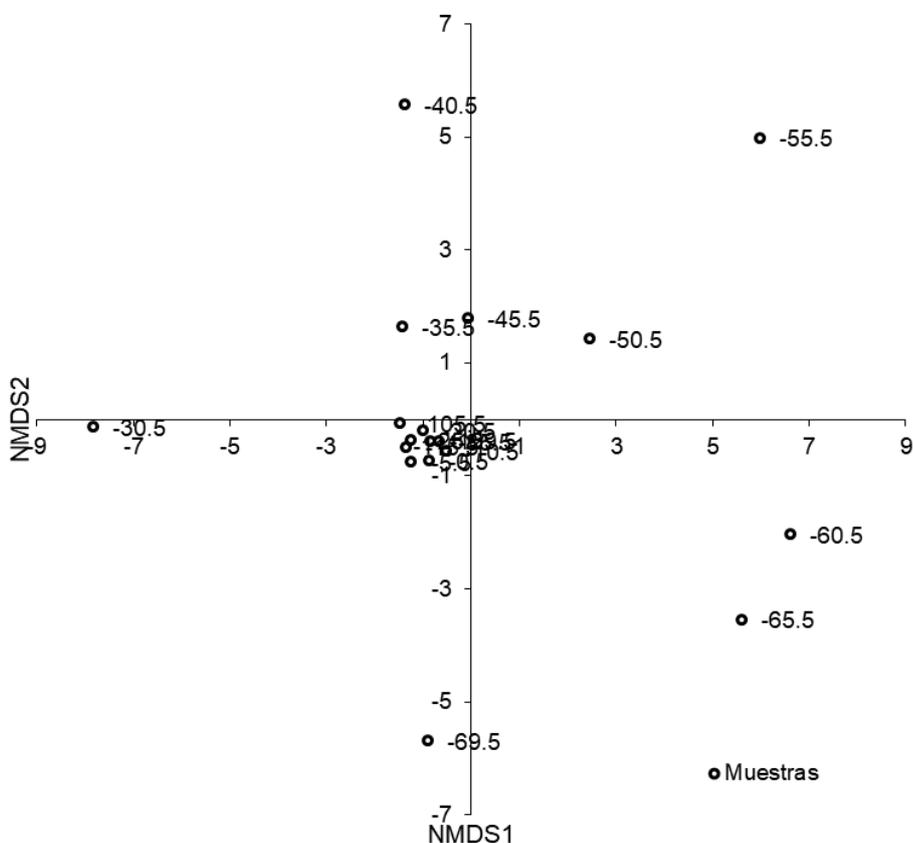


Figura V-6: Diagrama de ordenación NMDS de las muestras del testigo de Puan.

Posteriormente se plotearon las variables representadas en ese espacio bidimensional (Fig. V-7). Se pudo observar un agrupamiento de las especies aerófilas en el primer cuadrante, mientras que las planctónicas se ubicaron en el cuarto cuadrante. Las especies bentónicas y litorales no mostraron un agrupamiento claro. Además, las clases granulométricas (arena, limo y arcilla) se ubicaron en la zona central alineadas en sentido O-E, estando la clase arena próxima al agrupamiento de planctónica, mientras que arcilla se encontró cercana a las aerófilas. La variable fitolitos se localizó cercano al agrupamiento de especies aerófilas. Asimismo, GM se ubicó próximo a las especies aerófilas, mientras que el GP se ubicó próximo a las planctónicas. La distribución de las diatomeas también expresa un gradiente de salinidad estando en el extremo negativo del eje NMDS1 *C. muelleri*, común en ambientes de alta salinidad, mientras que en el extremo positivo del mismo eje se observan especies de preferencia oligohalobia como *P. gibba*.

De la agrupación de las variables, y sus características, se interpreta que el eje NMDS 1 representa un gradiente de salinidad que separa hacia los valores positivos del eje especies con características oligohalobias-indiferentes, en su mayoría. Mientras que hacia la izquierda, valores negativos se ubican especies mesohalobias. El eje MNDS 2 se interpreta como variaciones en el nivel de agua de la laguna, siendo los valores positivos correspondientes a niveles bajos, mientras que los valores negativos se asocian a niveles más altos de la laguna.

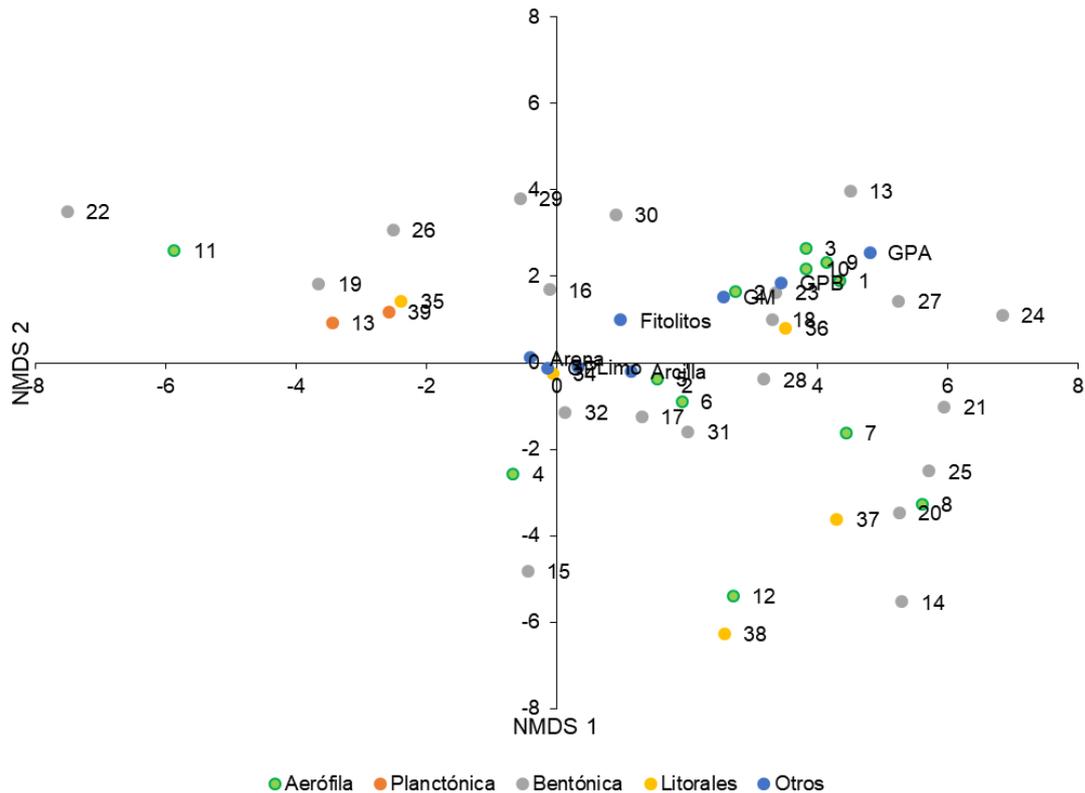


Figura V-7: Diagrama de ordenación NMDS de las variables del testigo de Puan. Las variables fueron discriminadas por colores de acuerdo a su hábitat. Se observan las agrupaciones de especies aerófilas y planctónicas. Los números se corresponden con los asignados en el Anexo I a cada una de las especies.

En base a las interpretaciones realizadas el puntaje de las muestras en los ejes MNDS1 y MNDS 2, representando su variación de salinidad y nivel de agua, fue representado en orden estratigráfico para evaluar la variación a través del tiempo (Fig. V-8). Los gráficos muestran, de base a techo, que entre los 75 y 160 cm los gráficos no muestran variación ubicándose próximo a cero. Alrededor de los 60-75 cm se observa un aumento relativo del nivel de agua y una disminución en la salinidad. Entre los 40 y 60 cm se reconocen dos picos de disminución del nivel de la laguna, con un progresivo aumento de la salinidad. Entre los 0 y 40 cm se produce un aumento progresivo del nivel de agua, mientras que la salinidad responde con un pico de máxima salinidad relativa para luego

comenzar a disminuir progresivamente. En la Figura V-8 se presenta un diagrama de sumas de las distintas categorías en las cuales se agruparon las diatomeas en función de su preferencia por la salinidad. Se definieron 5 categorías (indiferentes, mesohalobio, oligohalobio-mesohalobio, oligohalobio-halobio y oligohalobio-indiferente).

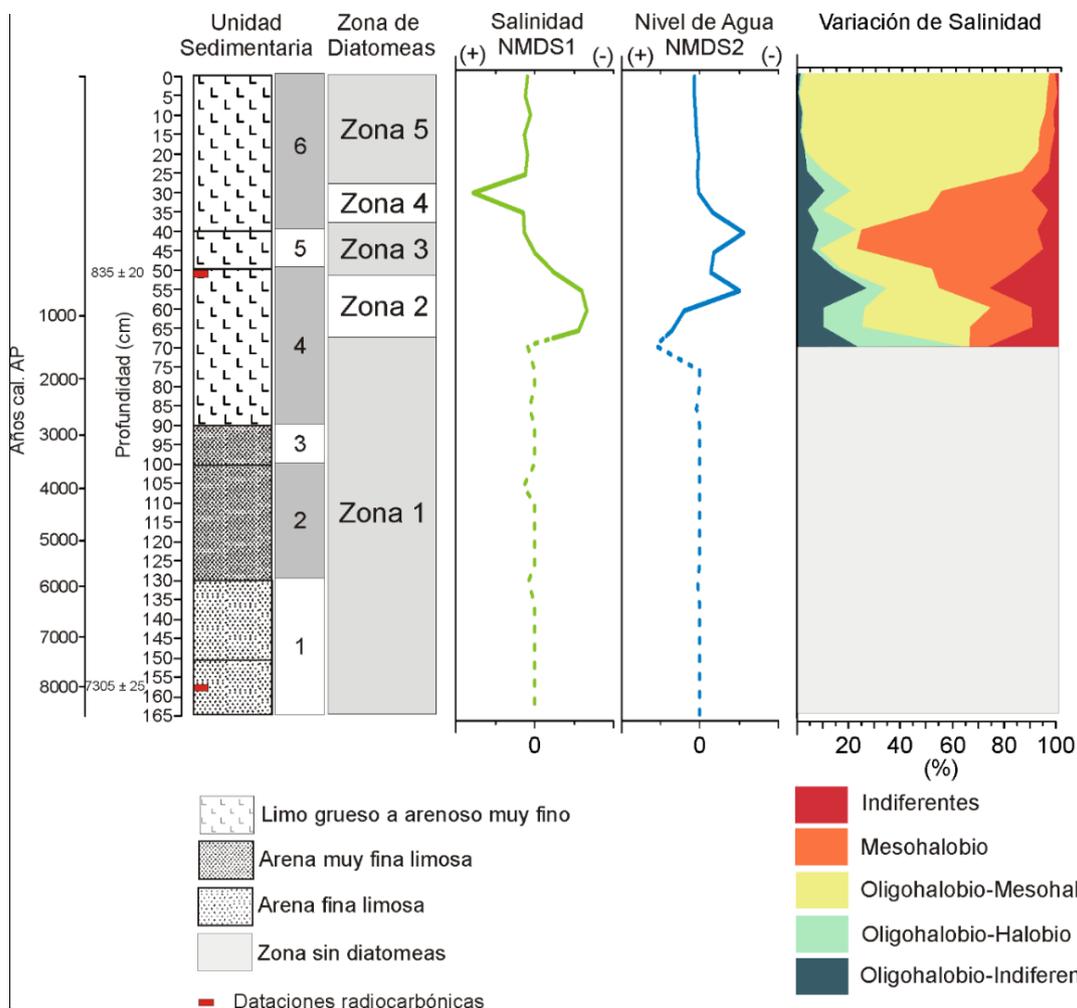


Figura V-8: Variaciones en el nivel de la laguna (NMDS2) y Salinidad (NMDS1) a lo largo del testigo (el segmento punteado esta inferido solo en base a granulometría y fitolitos, a excepción de los 105 y 135 cm que presentaron escasas diatomeas) y variación en la salinidad en base a la sumatoria de las preferencias salinas de las diatomeas en relación con la litología y las zonas de las diatomeas.

En general se muestra un predominio de especies oligohalobias hacia la base (50-75 cm), en la zona central predominan las especies mesohalobias (35-50 cm) y hacia el techo retorna a un ambiente oligohalobio. Si bien los límites entre las zonas definidas por las preferencias salinas de las diatomeas y el eje NMDS1 no se corresponden estrictamente ambos marcan la misma tendencia en las variaciones de la salinidad.

Interpretación paleoambiental

Litología

De acuerdo con la interpretación de las unidades sedimentarias definidas previamente se puede interpretar varios ambientes sedimentarios que reflejan cambios en las condiciones paleolimnológicas. En la Figura 9 se representan los ambientes definidos y la relación con las unidades sedimentarias.

Ambiente sedimentario 1 (130-163,5 cm; ~5870-8600 años cal. AP): Incluye las unidades 6 y 7 caracterizadas por arenas muy finas limosas de color pardo verdoso. Los diagramas de frecuencias de las muestras mostraron distribuciones bimodales con modas de alrededor de 97 y 450 μm . Sun et al. (2002), quienes caracterizaron los sedimentos polimodales en ambientes hidráulicos y eólicos, agrupan dentro de los depósitos mixtos (sedimentos eólicos con retrabajo fluvial) a aquellos bimodales con modas entre 100-200 y 200-400 μm . De acuerdo con lo anterior la Unidad sedimentaria 1 puede corresponderse con un ambiente fluvio-eólico.

Ambiente sedimentario 2 (100-130 cm; ~3542-5870 años cal. AP): Comprende la unidad sedimentaria 5, en base a las características (color, granulometría, etc.) definidas en la Tabla V-1 se infiere un ambiente lagunar somero efímero con influencia fluvial, como lo indican las láminas de granulometría más gruesa, que sugieren pulsos fluviales. La presencia de bioturbación, marcas de raíces y grietas sugiere la superposición de procesos pedogenéticos posterior al desarrollo de la laguna.

Ambiente sedimentario 3 (90- 100 cm; ~2828-3543 años cal. AP): representada por la unidad sedimentaria 4, compuesta por arena muy fina limosa, color pardo verdoso, unimodal con una moda alrededor de las 100 μm , esto es coincidente con un origen eólico las cuales de acuerdo con Sun et al. (2002) poseen una moda entre 100-200 μm , bien seleccionados y con una asimetría ligeramente negativa.

Ambiente sedimentario 4 (50-90 cm; ~671-2828 años cal. AP): incluye la unidad sedimentaria 3 caracterizada por limo grueso a arenoso muy fino cuya variación de color, de verde a gris oscuro, e incremento en la laminación indica un progresivo incremento en los niveles de la laguna.

Ambiente sedimentario 5 (40-50 cm; ~503-671 años cal. AP): involucra la unidad sedimentaria 2 (Tabla V-1), su color pardo verdoso muestra una disminución de los niveles de la laguna.

Ambiente sedimentario 6 (0-40 cm; ~0-503 años cal. AP): La integran las unidades 1 y 2 las cuales representan un progresivo incremento en los niveles de agua de la laguna, evidenciado por su coloración más oscura hacia el techo.

Diatomeas

El análisis de la asociación de diatomeas permitió reconstruir las variaciones de la laguna de Puan desde el Holoceno medio. Los cambios en las asociaciones de diatomeas reflejan cambios de escala milenaria a tiempos históricos.

La Zona 1 (67,5~163,5 cm; ~1343-7959 años cal. AP): Presentó escasas diatomeas, entre los 105 a 135 cm restringidas a los niveles limo arenosos laminados de la unidad 5, las especies registradas son esencialmente bentónicas o aerófilas, a excepción de *C. meneghiniana* y *P. brevistriata* que son litorales, mesohalobias y eutróficas a mesotróficas. Esto indica condiciones de agua poco profunda, con frecuente desecación, alto contenido de sales y nutrientes. Alternado con períodos en los que el aporte clástico fue mayor. Esto último y/o la exposición subaérea habrían impedido la preservación de las diatomeas.

Zona 2 (52,5~67,5 cm; ~724-1343 años cal. AP): El incremento en relación a la anterior en la concentración y tipo de diatomeas de hábitos litorales, bentónicos y aerófilas sugiere condiciones más estables. La asociación de especies predominantes (*C. meneghiniana*, *N. cf. perminuta*, *N. compressa* y *D. elegans*) indica que durante este período se desarrolló un ambiente lagunar somero sometido a eventos de desecación. En base a diatomeas se infieren condiciones de agua dulce a ligeramente salina, eutrófico y alcalino.

Zona 3 (37,5~52,5 cm; ~448-724 años cal. AP): La predominancia de especies bentónicas y aerófilas junto con la reducción de las especies litorales, fundamentalmente hacia el techo de la zona, indican una disminución de los niveles de la laguna con incremento de los eventos de desecación. La dominancia de *N. compressa* acompañada de *S. striatula*, *R. musculus* y *H. hungarica*, entre las especies bentónicas, y *C. meneghiniana*, entre las litorales indican condiciones de nivel bajo de la laguna, mesohalobio a oligohalobio, eutrófico a mesotrofico. La alta proporción de especies aerófilas (*D. elegans*, *P. borealis*, *A. marginulata*, *A. sphaerophora* cf. *costata* y *Amphora coffeaformis*) indica condiciones de ambiente somero con exposición subaérea. El máximo evento de sequía se registra entre las zonas 3 y 2. A partir de esta zona, y continuando la zona 2, *C. meneghiniana* se vuelve más dominante y aparece *M. elliptica* ambas son comunes en ambiente salinos. Además se infiere un ambiente alcalino por la presencia de *A. coffeaformis*.

Zona 4 (27,5~37,5 cm; ~335-448 años cal. AP): El incremento de *C. meneghiniana* (litoral) y su coexistencia con especies aerófilas y bentónicas sugiere una mejora en las condiciones ambientales hacia el techo de la zona predominando un ambiente lagunar somero con frecuentes eventos de desecación. Las preferencias ecológicas de las especies dominantes (*C. meneghiniana*, *C. clypeus*, *D. elegans* y *S. striatula*) indican un ambiente salino, eutrófico a mesotrófico, alcalino.

Zona 5 (0~27,5 cm; ~0-335 años cal. AP): *C. meneghiniana* domina la zona con más de un 90% sugiriendo un progresivo incremento de la profundidad de la laguna desde la base al techo de la zona. Estudios realizados sobre la ecología de *C. meneghiniana* indican que es una especie de amplio rango de salinidad con mayores tasas de crecimiento en ambiente de salinidad alta siendo su umbral mínimo de salinidad de 0,3 en el que se ve limitado su desarrollo. La amplia tolerancia de *C. meneghiniana* a las variaciones de salinidad en ambientes costeros disturbados puede otorgarle una amplia ventaja frente a especies con un rango limitado (Tuchman et al., 1984). Asimismo, floraciones de *C. meneghiniana* fueron reconocidas en ambientes con alta turbidez en áreas costeras (Deseve, 1993). Mitrovic et al. (2008) determinaron que *C. meneghiniana* presenta un desarrollo óptimo con temperaturas entre 23-26 °C, teniendo un máximo en 25 °C.

C. meneghiniana es acompañada por especies mesohalobias bentónicas (*C. clypeus*, *R. musculus* y *S. striatula*), oligohalobias bentónicas/ aerófilas (*D. elegans* y *H. hungarica*) y planctónicas (*C. cf. muelleri* y *N. cf. levidensis*). Las especies dominantes a lo largo de esta zona sugieren condiciones similares a las actuales, de un cuerpo de agua somero, con alta turbidez, de agua dulce a salino, mesotérmico, eutrófico y alcalino.

Evolución paleoambiental y paleoclimática

El testigo extraído en la laguna de Puan representa una secuencia lacustre depositada desde el Holoceno medio hasta la actualidad. De acuerdo a los estudios realizados se pueden reconocer al menos 5 períodos en su evolución que representan cambios ambientales en escalas de centenios a milenios.

Período 1 (130-163,5 cm; ~5870-8600 años cal. AP): Durante este estadio se distinguen facies mixtas eólicas-fluviales lo que indica condiciones de mayor humedad que posibilitan el retrabajo de los materiales eólicos por drenajes superficiales que confluyen a la zona deprimida de la proto-laguna (Fig. V-8).

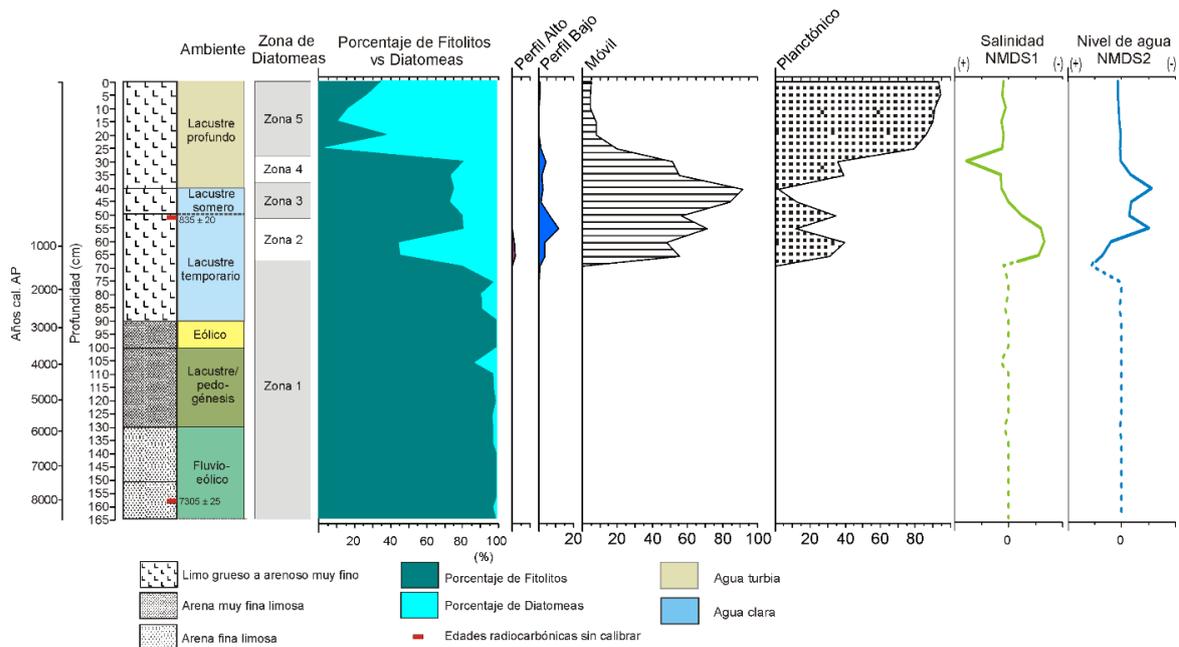


Figura V-9: Diagrama integrado de la laguna de Puan. En él se muestra ambientes sedimentarios, zonación de diatomeas, relación de fitolitos y diatomeas distribución de los gremios ecológicos (perfil alto, perfil bajo y móvil), variaciones en salinidad (NMDS1) y nivel de la laguna (NMDS2).

Período 2 (100-130 cm; ~3542-5870 años cal. AP): Durante este período se desarrolla un ambiente lacustre somero con influencia fluvial, como lo indican las láminas de granulometría más gruesa (Fig. V-8). Las escasas diatomeas presentes en esta zona indican condiciones de agua poco profunda, con frecuente desecación, alto contenido de sales y nutrientes. Los máximos niveles de la laguna, durante este período, se habrían registrado alrededor de los 5023 a 5800 años AP. Posteriormente, se desarrollaron procesos pedogénéticos que indican condiciones más estables con un clima relativamente húmedo.

Período 3 (90- 100 cm; ~2828-3543 años cal. AP): Los sedimentos de origen eólico registrados indican un desmejoramiento de las condiciones climáticas con respecto al período anterior (Fig. V-8). Posiblemente como consecuencia de esta situación más árida se habría producido el retrabajo de los materiales depositados, así como también la erosión de los mismos lo que explicaría el escaso espesor de sedimento representado en esta unidad y el contacto neto con la unidad 3.

Período 4 (50-90 cm; ~724-2828 años cal. AP): Las evidencias sedimentológicas y estratigráficas muestran el desarrollo de un ambiente lagunar con un progresivo incremento en los niveles de la laguna evidenciado por el cambio de color de verde a gris oscuro, con un mayor contenido de materia orgánica. Las diatomeas presentes en la zona 2 indican una laguna temporaria somera, de agua dulce, eutrófica y alcalina. En esta zona se

registraron especies que prefieren ambientes con alta luminosidad como *Diploneis elliptica*, *D. elegans* (Moro y Fürstenberger, 1997) y *Ulnaria ulna* (Lange et al., 2011). Al mismo tiempo se registraron altos valores del GM los cuales suelen encontrarse favorecidos por condiciones de alta luminosidad y alta disponibilidad de nutrientes (Lange et al., 2011) (Fig. V-8). Los gremios GP, GPB y GPA presentaron menores proporciones, sobresaliendo en el GP el cual se encuentra representado por *C. meneghiniana* especie cosmopolita encontrada en ambiente litoral y asociada a alta conductividad. Los ejes del análisis NMDS muestran en la base una tendencia de disminución de la salinidad y aumento de la profundidad en la base, mientras que hacia el techo se invierte la relación.

Período 5 (40-50 cm; ~448-724 años cal. AP): Se desarrolló un ambiente lagunar somero con frecuentes eventos de desecación, salino, eutrófico a mesotrófico, alcalino (Fig. V-8). Durante este período dominan las diatomeas de GM, mientras que GP y GPB se encuentran reducidas respecto del período anterior y el GPA desaparece. De acuerdo con Passy (2007) y Lange et al. (2011) las especies de GM son competidores superiores en condiciones de estrés por su capacidad de movilizarse para buscar hábitat más favorables. La cercanía entre las especies de GM y las especies aerófilas en el análisis MNDS demuestra esta relación. En base a la reconstrucción de los niveles de la laguna y la salinidad inferidas a partir del análisis NMDS se observa que en este período disminuyen los niveles de la laguna al mismo tiempo que empieza a incrementar la salinidad.

Período 6 (0-40 cm; ~0-448 años cal. AP): Durante este período comienzan a incrementarse progresivamente los niveles de la laguna lo que sugiere condiciones similares a las actuales: un cuerpo de agua somero, con alta turbidez, dulce a salino, mesotérmico, eutrófico y alcalino (Figura 8). Entre los 335 y los 448 años cal. AP aún se registraban condiciones de bajo nivel de la laguna con episodios de exposición subaérea tal como lo expresan las asociaciones de diatomeas de la zona 4. Desde los 448 hacia el presente el incremento del GP, representado en su mayoría por *C. meneghiniana* estaría indicando turbidez orgánica y baja penetración de luz (Hassan, 2013). El incremento de diatomeas en relación a fitolitos, la tendencia levemente creciente del nivel de la laguna, sin variaciones significativas en la salinidad también sugiere condiciones más estables. A partir de los 335 años se produce el establecimiento definitivo de una laguna permanente caracterizada por alta turbidez, dulce a salino, mesotérmico, eutrófico y alcalino.

LAGUNA LOS CHILENOS

Ubicación Geográfica

En la laguna Los Chilenos se extrajo un testigo a los 2,6 m de profundidad, dentro de la zona más profunda ($38^{\circ} 1' 43,8''$ S / $62^{\circ} 28' 19,2''$ O) (Fig. V-10). La longitud total del testigo extraído es de 83 cm.

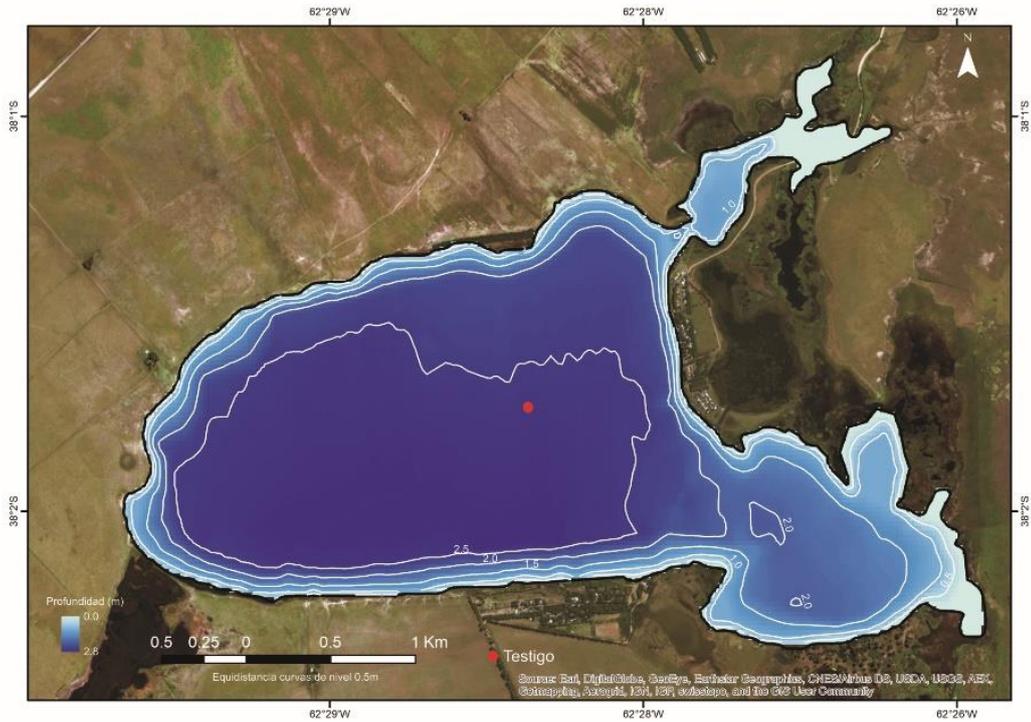


Figura V-10: Batimetría de la laguna de Los Chilenos con localización del testigo extraído

Descripción estratigráfica y sedimentológica

A partir de la interpretación visual, fotografías, imágenes de rayos X y estudios granulométricos del testigo se establecieron 6 unidades sedimentarias las cuales son descritas en la Tabla V-3 (Fig. V-11).

Tabla V-3: Descripción de las unidades sedimentarias.

Unidad Sedimentaria	Profundidad (cm)	Descripción
1	0-17,5	Limo arenoso muy fino, color pardo claro. Escasa bioturbación. Entre la base de esta unidad y el techo de la unidad 2 se observan restos de macrófitas.
2	17,5-30	Limo arenoso muy fino, color pardo claro. Moderadamente bioturbado. Contacto transicional en base y techo de la unidad.
3	30-43	Limo grueso, pardo claro a verdoso. Escasa bioturbación. Más compacto que las unidades anteriores. Presencia escasa de restos de macrófitas. Contacto transicional en la base.
4	43-62	Limo arenoso medio a grueso, color pardo, con moderado contenido de materia orgánica. Fuertemente bioturbado, con galerías subhorizontales de menos de un centímetro de alto por varios centímetros de largo. Dentro de toda la facies se observan restos de macrófitas. Contacto transicional en base y techo de la unidad.
5	62-73	Limo arenoso medio a grueso, color pardo verdoso a grisáceo. Con laminación entre 0,2-0,5 cm. Ligeramente bioturbado. Con presencia de restos macrófitas. Contacto neto en la base con la unidad subsiguiente.
6	73-83	Grava muy fina arenosa, color grisáceo, mal seleccionada. Compacto. Los clastos son redondeados, con diámetro máximo de 0,5 cm, composición cuarzo y líticos. Se observa además una leve tendencia granodecreciente hacia el techo.

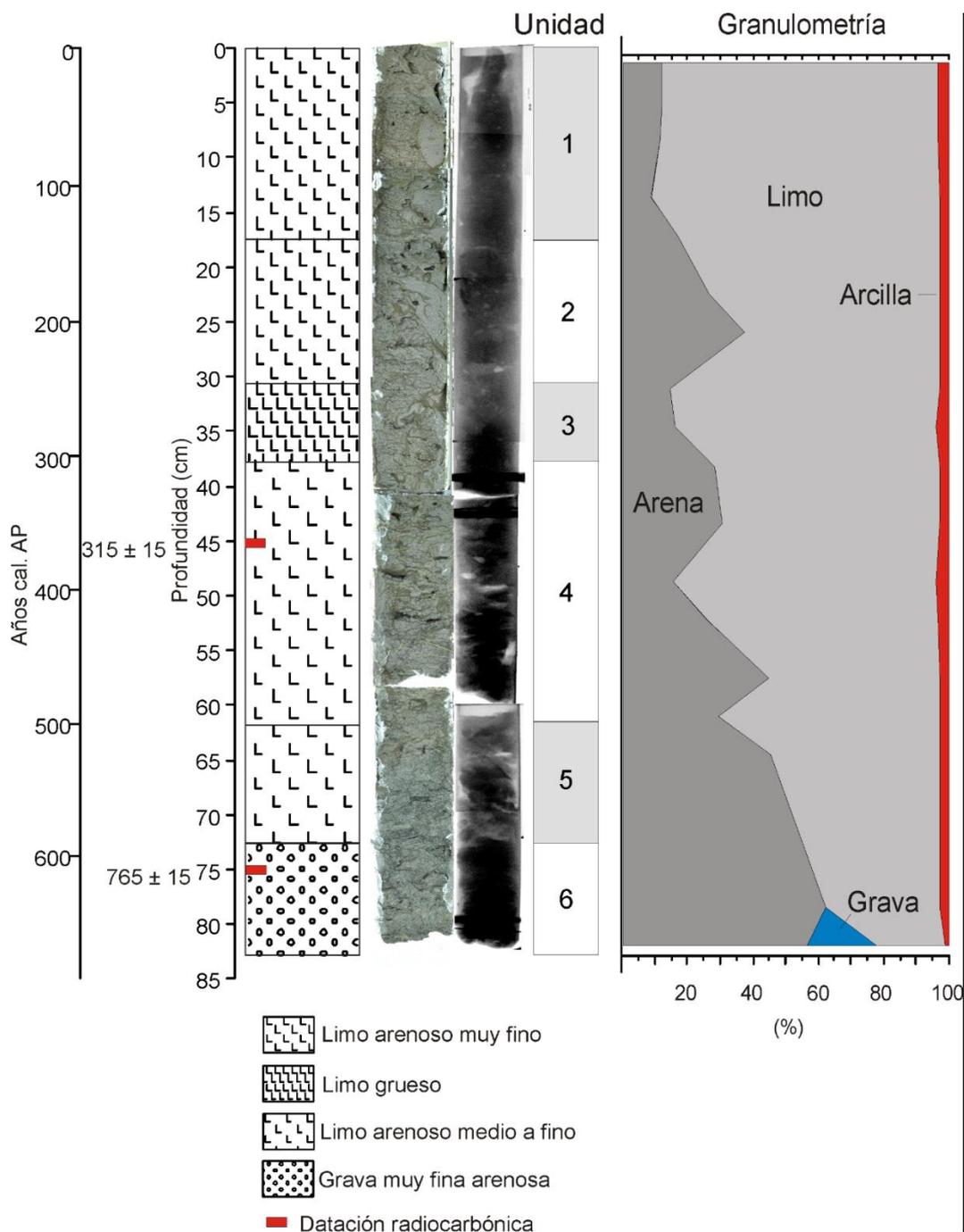


Figura V-11: Perfil litológico del testigo de Los Chilenos. Hacia la derecha se presentan las fotografías a color, las imágenes de rayos X, las unidades sedimentarias definidas y las variaciones porcentuales de las fracciones de grava, arena, limo y arcilla a lo largo del testigo.

Cronología

La cronología del testigo se obtuvo a partir de fechados de radiocarbono de dos muestras (Tabla V-4). El modelo de edad-profundidad efectuado para las muestras analizadas muestra una tendencia lineal (Fig. V-12). La tasa de sedimentación acumulada es de 0,12 cm/año aproximadamente.

Tabla V-4: Detalle de las muestras de dataciones radiocarbónicas calibradas y sin calibrar.

Profundidad de la muestra (cm)	Material analizado	Edades Sin Calibrar (¹⁴ C años AP)	Edad calibrada por Bacon	Probabilidad asociada a la calibración	Curva de Calibración utilizada	Código del laboratorio
Laguna Los Chilenos						
45	Sedimento	315 ± 15	348,6 (115,5-667,7)	95	SHCal13	ULA-7141
75	Sedimento	765 ± 15	575,7 (288,5-936,5)	95	SHCal13	ULA-7142

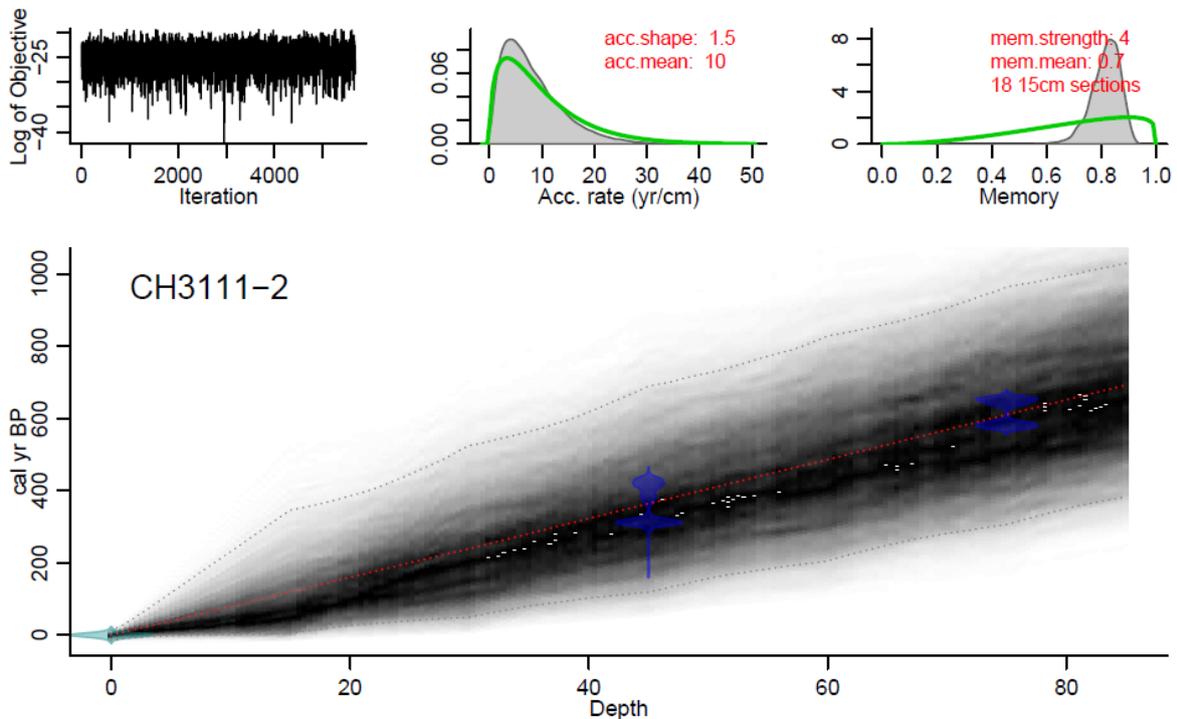


Figura V-12: Modelo de edad- profundidad testigo de Los Chilenos.

Identificación e interpretación de Diatomeas

Para el análisis de diatomeas del testigo de Los Chilenos se prepararon 17 muestras, separadas aproximadamente cada 5 cm, de las cuales 16 presentaron diatomeas (a excepción de la muestra de 79 cm) las que fueron contadas con un mínimo de 500 valvas. Se reconocieron un total de 33 géneros y 67 especies. Entre los géneros más representados se destacan *Aulacoseira*, *Navicula*, *Nitzschia*, *Cyclotella*, *Ephithemia* y *Surirella*. Las diatomeas fueron agrupadas de acuerdo con su hábitat (aerófilas, bentónicas, litorales y plantónicas). El análisis CONISS de todas las muestras analizadas permitió

identificar 3 zonas de diatomeas (Fig. V-13). Es importante remarcar que por debajo de los 75 cm no se encontraron diatomeas posiblemente por problemas de preservación dado la presencia de granulometrías gruesas. El listado completo de especies y sus preferencias ecológicas se encuentra en el Anexo 1. En la Figura V-13 se presenta el diagrama simplificado con las especies dominantes, la versión completa con todas las especies identificadas en un porcentaje mayor al 2 % puede observarse en el Anexo 2. Entre paréntesis se presentan los rangos mínimos y máximos de presencia relativa.

Zona 1 (52,5~75 cm; ~425-610 años cal. AP): En esta zona predominan las especies litorales (planctónicas/bentónicas), entre las que se destaca *Cyclotella meneghiniana* (18,8-47,0 %), *Nitzschia* cf. *perminuta* (0,8-3,8 %) y *Staurosira construens* var. *venter* (0,4 y 3,2 %). También se encontraron proporciones significativas de especies aerófilas tales como *Navicula veneta* (3,5-36,5 %), *Denticula* sp. (0,4-2,5 %) y *Rhopalodia gibba* (0,4-0,9 %). Se registró además una gran diversidad de especies bentónicas entre las más significativas se encuentran *Navicula peregrina* (3,1-15,2 %), *Navicula quechua* (1,2-11,7 %), *Epithemia adnata* (1,2-7 %) y *Nitzschia obtusa* var. *sodalis* (0,2-5,1 %). Con relación a las especies comúnmente encontradas en el plancton se encuentran *Aulacoseira granulata* var. *granulata* (0,9-16,6 %) y *Aulacoseira granulata* var. *angustissima* (0,2-13,7 %) como las más significativas.

Zona 2 (12,5~52,5 cm; ~100-425 años cal. AP): Se encuentra mayormente representada por *C. meneghiniana* (37,9-69,8 %), especie litoral/planctónica. Las especies planctónicas se vuelven más abundantes que en la zona anterior siendo *Stephanodiscus agassizensis* (0,9-20,9 %), *A. granulata* var. *granulata* (5,5-16,5 %), *A. granulata* var. *angustissima* (4,9-16,4 %), *Aulacoseira granulata* var. *australiensis* (0,8-10,2 %), y *Actinocyclus curvatulus* (4,3-7,2 %) las más relevantes. Las especies bentónicas y aerófilas se encuentran representadas en menor proporción que en la zona anterior, siendo entre las especies bentónicas *Surirella brightwellii* (0,3-2,4 %), *Cocconeis placentula* (0,2-2,1 %), *E. adnata* (0,2-1,4 %), *N. peregrina* (0,2-1,4 %) y *Navicula phyllepta* (0,5-1,5 %) las más abundantes, mientras que las aerófilas *Hantzschia amphioxys* (0,2-0,5 %) y *Denticula* sp. (0,2-0,4 %) presentaron mayores porcentajes.

Zona 3 (0~12,5 cm; ~0-100 años cal. AP): En esta zona predominan las especies planctónicas entre las que se encuentran *S. agassizensis* (23,9-25,6 %), *A. granulata* var. *granulata* (27,9-33,6 %), *A. granulata* var. *australiensis* (10,5-15,7 %), *A. granulata* var. *angustissima* (5,2-9,4 %) y *A. curvatulus* (1,1-2,6 %). Entre las especies litorales registradas se encuentran *C. meneghiniana* (9,9-12,2 %) y *Pseudostaurosira brevistriata*

(1,8-4,3 %). Las especies bentónicas están escasamente representadas encontrándose *N. peregrina* (1,4-1,8%) y *E. adnata* (0,4-1,0%). No se registraron especies aerófilas.

Clasificación de las diatomeas de acuerdo al gremio ecológico

En la Figura V-14 se presenta el diagrama de distribución a lo largo del testigo de cada uno de los gremios de diatomeas clasificadas de acuerdo a lo indicado en el apartado determinación, recuento y análisis de diatomeas (Cap. III), las cuales se detallan en el Anexo I. Se diferenciaron cuatro gremios ecológicos GPA, GPB, GM y GP. El análisis de la distribución de los gremios permite reconocer dos grandes zonas, entre los 0-55 (~0-445 años cal. AP) cm y 50-83 cm (~445-593 años cal. AP), en la primera se observa un predominio del GP (< 80 %) por sobre los restantes, mientras que la segunda domina el GM (entre 35-56 %). En general los GPA y GPB presentan escasa representación fundamentalmente en la zona dominada por el gremio planctónico, sin embargo puede reconocerse un incremento del GPA entre los 0-15 cm (0-119 años cal. AP). El GPB a lo largo de la zona de predominio planctónico, entre los 15-55 cm, posee una variación en apariencia cíclica incrementando y disminuyendo su porcentaje, teniendo una respuesta opuesta al GPA, la cual se hace más notoria entre los 0-15 cm donde el GPB prácticamente desaparece. El GM también se ve afectado por el incremento del GPA en este segmento.

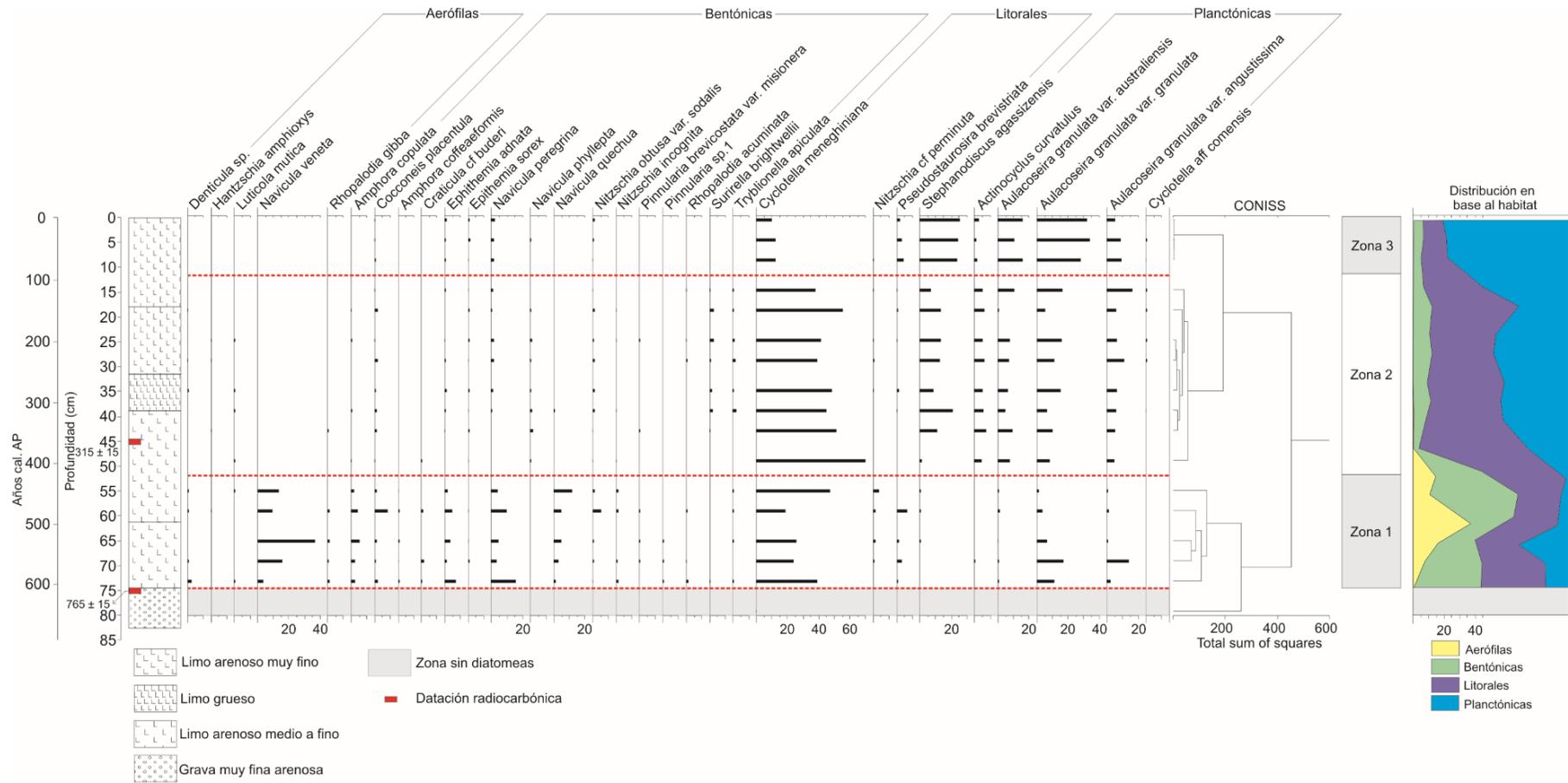


Figura V-13: Diagrama de distribución de diatomeas con análisis CONISS, zonación de diatomeas y distribución en base al habitat.

Identificación e interpretación de Fitolitos, relación Diatomeas/ Fitolitos

En simultáneo con el conteo de diatomeas se llevó a cabo un conteo de fitolitos de pastizales. En la Figura V-14 se representa la relación Fitolitos/Diatomeas a lo largo del testigo. En general las concentraciones de fitolitos fueron bajas a excepción de los niveles inferiores a los 70 cm, distinguiéndose dos zonas. La primera de 0~70 cm (0~568 años cal. AP) donde predominan las diatomeas por sobre los fitolitos, estando estos últimos representados en menos del 10 %. La segunda incluye desde los 70~79 cm (568~643 años cal. AP) aquí el porcentaje de fitolitos asciende a más del 40 % alcanzando el 75 %. Por debajo de los 79 cm no se registraron fitolitos y diatomeas, probablemente por problemas de preservación debido a la existencia de gravas y arena.

La relación entre diatomeas planctónicas y bentónicas muestra una tendencia creciente desde la base hacia el techo del testigo estando los cambios más significativos situados a los 52,5 cm (~425 años cal. AP) y 17,5 (~139 años cal. AP). Dichos cambios guardan relación con los límites de zonas de diatomeas.

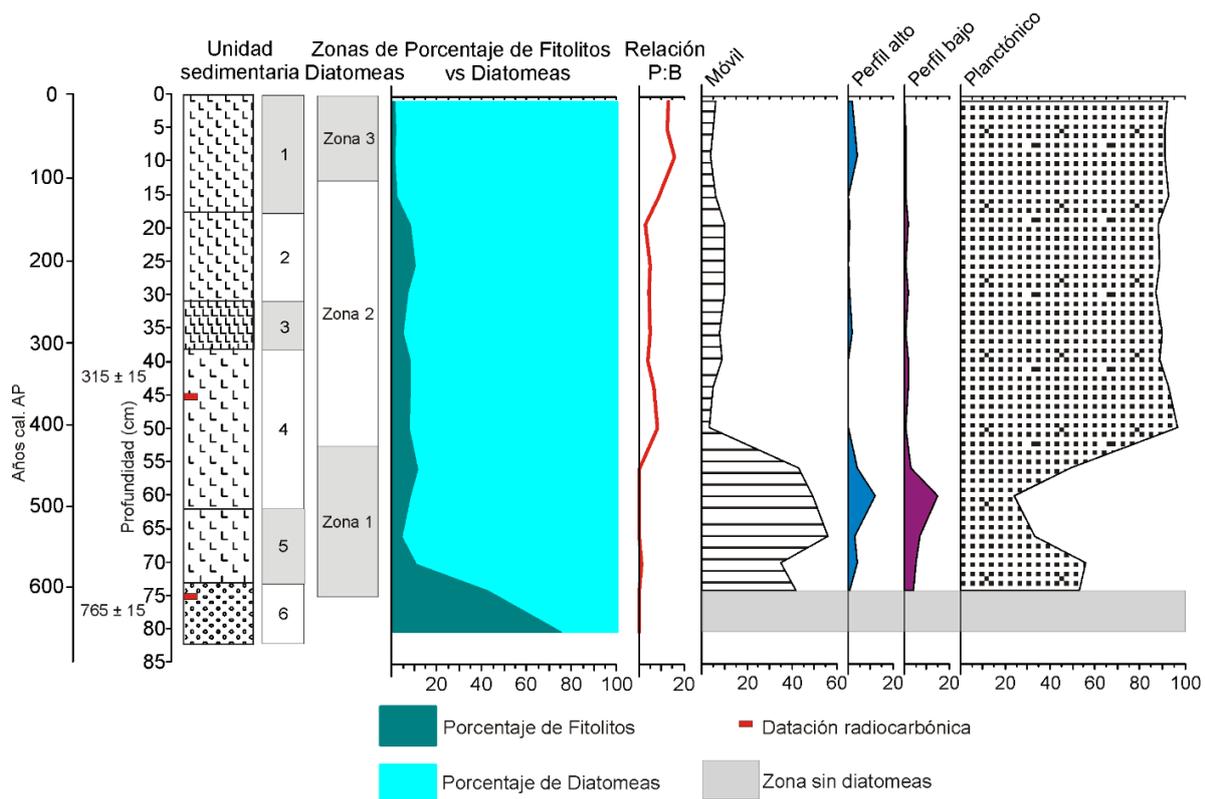


Figura V-14: Diagrama de representación de la litología con las variaciones porcentuales de Fitolitos y diatomeas, relación entre diatomeas planctónicas y bentónicas y representación porcentual de los cuatro gremios ecológicos (Perfil alto, perfil bajo, móvil y planctónico).

Análisis Estadísticos

Para evaluar la varianza y covarianza de los datos se realizó un Análisis de Componentes Principales (PCA). La matriz de datos a analizar incluyó especies de diatomeas encontradas en porcentaje superior al 2 %, fitolitos, fracciones de arena, limo y arcilla y gremios ecológicos (GPA, GPB, GM y GP). Del análisis realizado se consideraron los primeros tres componentes las cuales explicaron el 54% de la varianza, en donde, el PCA1 explica el 21 %, el PCA2 el 12 % y el PCA3 el 11 %. La distribución de las muestras en las componentes 1 y 2 muestra dos grupos diferenciados (Fig. V-15), el primero incluye las muestras entre 0-49,5 cm y el segundo de 55,5 a 69,5 cm, exceptuando la muestra 59,5 cm, las restantes muestras (59,5, 73,5 y 79,5 cm) se encontraron dispersas. El primer grupo se corresponde con la Zona 3 y 2 de diatomeas, el segundo con la Zona 1, mientras que el tercero incluye en parte la Zona sin diatomeas.

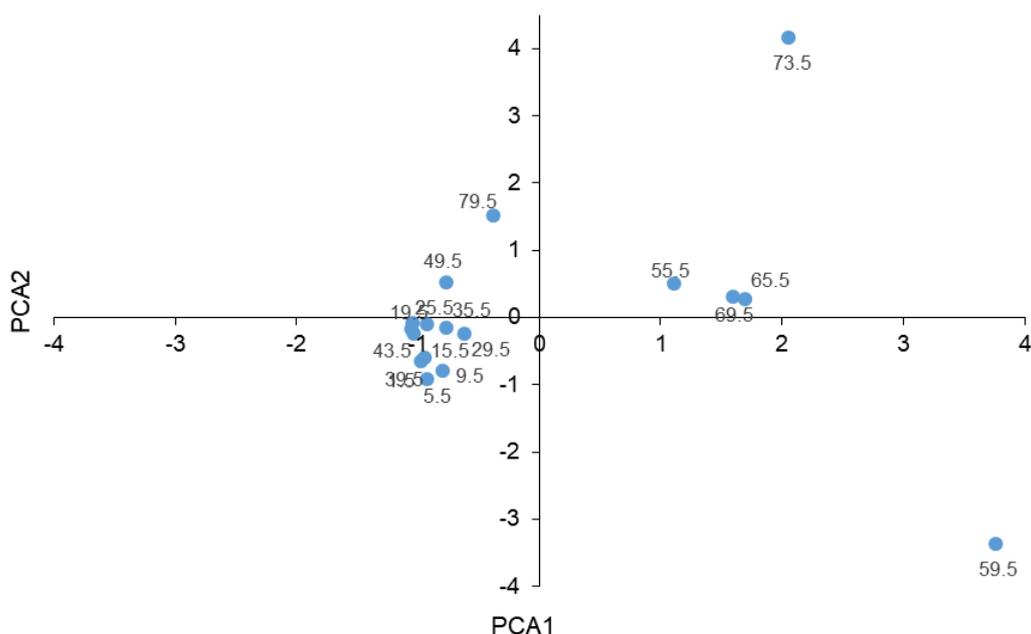


Figura V-15: Diagrama de variabilidad de las muestras en los ejes 1 y 2 del análisis de PCA del testigo de Los Chilenos

La asociación ambiental de los ejes de ordenadas definidos para las variables se realizó evaluando la dirección de los vectores asociados con cada variable (Fig. V-16). En la componente 1 se reconoció una asociación de especies de preferencia mesotrófica a eutrófica al segmento positivo del eje, a su vez los GM, GPB y GPA mostraron una relación directa con este eje. En el segmento negativo del eje se distinguieron especies de preferencia eutrófica y una relación indirecta del GP con el PCA1. En base a lo analizado se interpreta un gradiente trófico de mesotrófico-eutrófico que incrementa hacia el

segmento negativo. En relación al PCA2 se reconoció una separación de especies de hábitat aerófilo, arena y fitolitos, indicando condiciones de terrenalización, en el segmento positivo del PCA2, mientras que el extremo opuesto se encontró una agrupación de las especies de hábitat planctónico, limos y arcilla lo que permite interpretar este eje como variaciones en el nivel de la laguna. Asimismo se distinguió una diferenciación de las especies a lo largo del eje 3 que se correspondía con un gradiente de salinidad, encontrándose especies de preferencia mesohalobio en relación con los valores negativos y oligohalobio con los valores positivos.

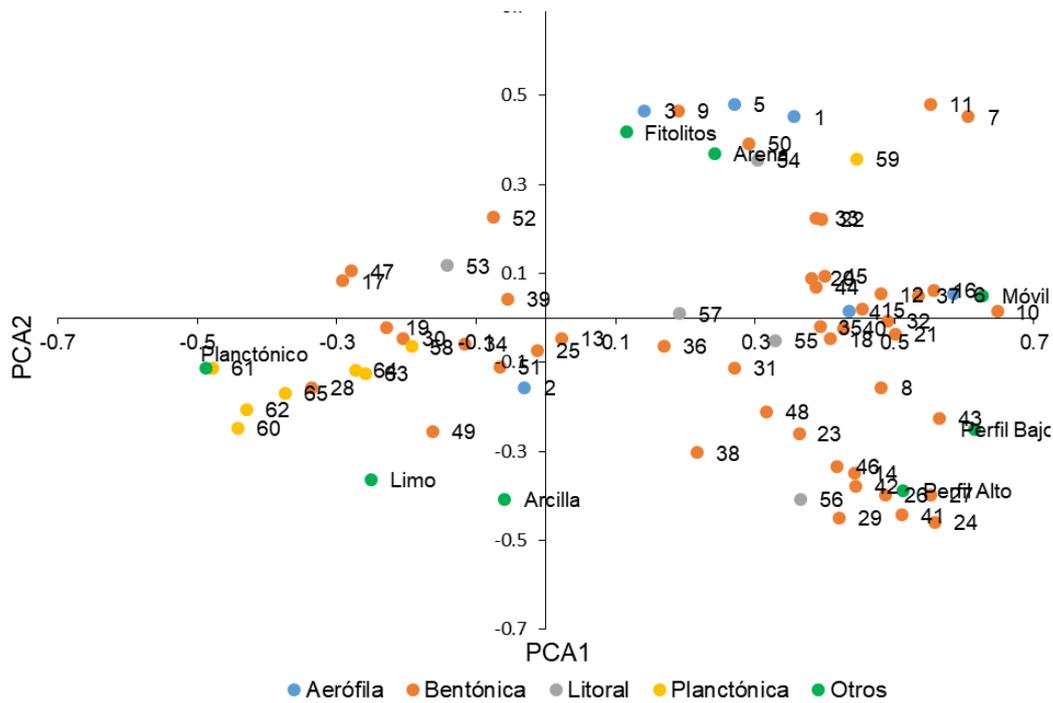


Figura V-16: Distribución de las variables en los ejes PCA1 y PCA2. Se puede observar el agrupamiento de las especies planctónicas y aerófilas, como así también la relación opuesta entre el GM y los GPA y GPB. Los números se corresponden con los asignados en el apéndice 1 a cada una de las especies.

Posteriormente, los puntajes de las muestras para cada uno de los ejes fueron trazados en orden estratigráfico para observar como las variables ambientales representadas cambian a través del tiempo (Fig. V-17). En base a lo representado se distinguen dos zonas, entre los 0-55 cm y entre los 55-73 cm. La primera está caracterizada por condiciones estables sin variaciones significativas en las características tróficas, nivel de la laguna y salinidad, esta se corresponde con la zona 3 y 2 de diatomeas. Por el contrario, la segunda zona presenta alta variabilidad con una tendencia a aumentar el

estado trófico y disminuir la salinidad a medida que el nivel de la laguna aumenta, este sector se asocia a la zona 1 de diatomeas.

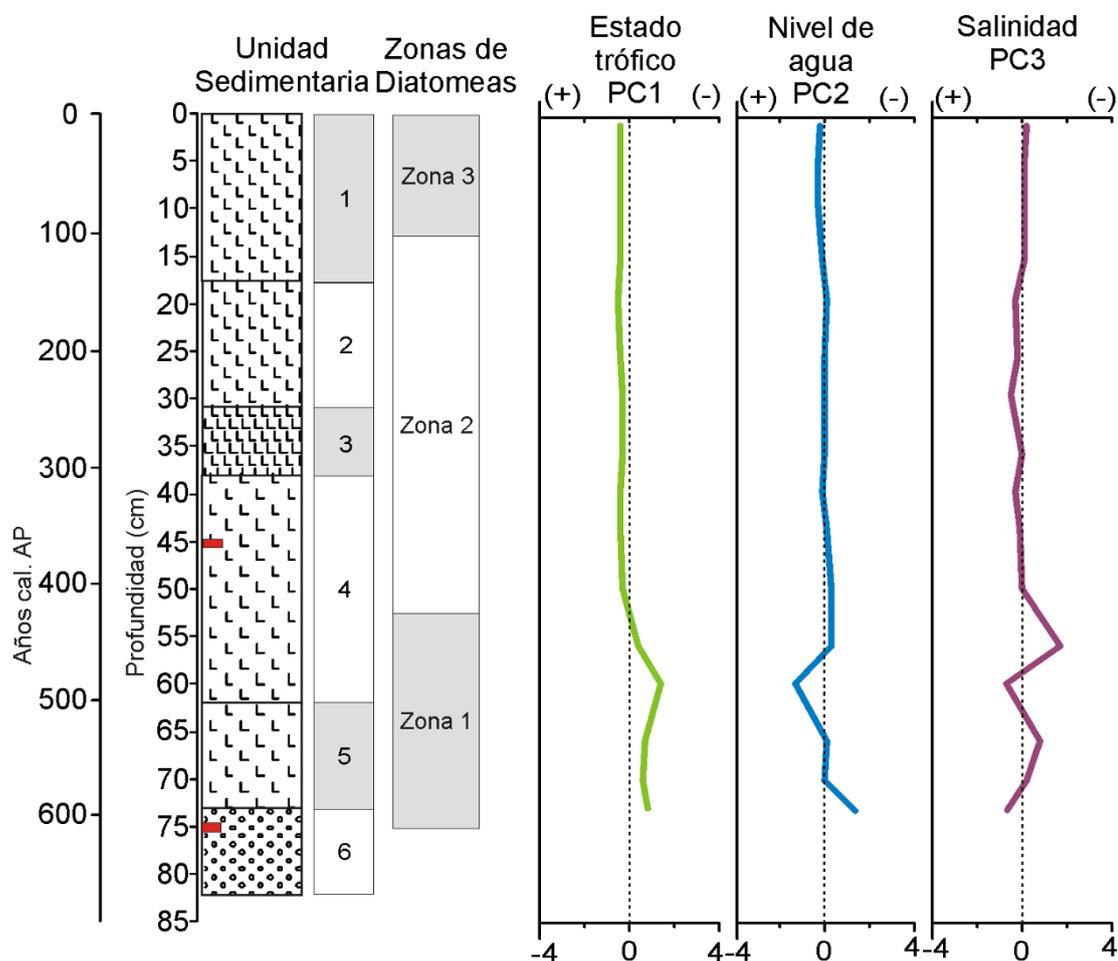


Figura V-17: Variaciones en el estado trófico (PCA1), Nivel de la laguna (PCA2) y Salinidad (PCA3) a lo largo del testigo.

Interpretación paleoambiental

Litología

De acuerdo con la interpretación de las unidades sedimentarias definidas previamente se pueden interpretar varios ambientes sedimentarios que reflejan cambios en las condiciones paleolimnológicas. En la Figura V-18 se representan los ambientes definidos correspondiente a cada una de las unidades sedimentarias identificadas.

Ambiente sedimentario 1 (73-83 cm; ~593-676 años cal. AP): Integra la unidad 6 compuesta por grava arenosa con clastos redondeados, mal seleccionado lo cual permiten asignarlo a un ambiente fluvial. La composición y tamaños de los clastos indican que la procedencia podría estar asociada a las Sierras Australes localizadas al Este de la laguna.

Ambiente sedimentario 2 (62-73 cm; ~502-593 años cal. AP): Incluye la unidad 5 caracterizada por sedimento color pardo-verdoso a grisáceo, la existencia de laminación sugiere un ambiente tranquilo en el que se favoreció la decantación, la presencia de macrorestos y escasa bioturbación indicaría ambiente vegetado somero. De acuerdo con Fregenal y Meléndez (2010) entre las condiciones necesarias para la preservación de laminación se incluye la ausencia de bioturbación, condiciones de anoxia, alta tasa de sedimentación. Por lo anteriormente expuesto, se infiere un ambiente pantanoso a lacustre somero que recibió aportes episódicos de sedimentos finos los cuales sedimentaron en un ambiente tranquilo.

Ambiente sedimentario 3 (30-62 cm; ~239-502 años cal. AP): Esta incluye las unidades 3 y 4. Las mismas están caracterizadas por limos arenosos con presencia de bioturbación y macrorestos que disminuyen en la unidad 3. Al mismo tiempo se observa un cambio de coloración desde pardo en la unidad 4 a verdoso en la unidad 3, indicando un incremento en las condiciones reductoras y que puede asociarse a un aumento en los niveles de la laguna. De acuerdo con ello se sugiere un ambiente lacustre somero, en donde el desarrollo de macrófitas y actividad de fauna bentónica indican altos niveles de oxígeno y luz. El cambio hacia menor bioturbación y macrorestos y coloración verdosa indican una progresiva profundización del sistema lacustre.

Ambiente sedimentario 4 (0-30 cm; ~0-239 años cal. AP): incluye a las unidades 1 y 2, caracterizado por limo arenoso muy fino color pardo claro, con escasa bioturbación y presencia de macrorestos en la zona inferior. Sus características sugieren un ambiente lacustre con niveles relativamente estables.

Diatomeas

El análisis de la asociación de diatomeas permitió reconstruir las variaciones de la laguna Los Chilenos desde el Holoceno tardío. Los cambios en las asociaciones de diatomeas reflejan cambios centenarios.

Zona 1 (52,5~75 cm; ~425-610 años cal. AP): Se encontró un predominio de especies litorales, aerófilas y bentónicas. Se infiere para este período una laguna efímera, con frecuentes variaciones del nivel de agua llegando incluso a la exposición subaérea lo cual es manifiesto por la alta proporción de especies aerófilas. Además, se interpretan características mesohalobias, mesotrófica-eutrófica y alcalina dado por las especies predominantes *C. menenghiniana*, *N. veneta*, *N. peregrina* y *E. adnata*.

Zona 2 (12,5~52,5 cm; ~100-425 años cal. AP): Se observa un incremento en el porcentaje de especies planctónicas, mientras que disminuyen notablemente las especies bentónicas y aerófilas. *C. meneghiniana* continúa siendo abundante acompañado por *S. agassizensis*, *A. granulata* var. *australensis*, *A. granulata* var. *granulata* y *A. granulata* var. *angustissima*. *C. meneghiniana* y *S. agassizensis* han sido reconocidos en ambientes con luz limitada y ricos en nutrientes (Håkanson y Kling, 1989; Hassan, 2013). Por lo que la ecología de las especies dominantes junto con el incremento en la proporción de especies planctónica permite reconstruir condiciones más estables para la laguna con una disminución de la salinidad, predominando especies de preferencia oligohalobia, y un incremento en el estado trófico, encontrándose condiciones eutróficas.

En la Zona 3 (0-12,5 cm; ~0-100 años cal. AP): Presenta un incremento de las especies planctónicas predominando las especies de *Aulacoseira* y *S. agassizensis*. La predominancia de estas especies sugiere condiciones estables de la laguna y un incremento de las condiciones tróficas en relación a la anterior. *S. agassizensis* se ha encontrado favorecida en condiciones de sub-saturación de oxígeno en el sedimento cercano al agua que contribuye a un incremento de la tasa de flujo bentónico aportando Nitrógeno y Fósforo a la columna de agua (Lelands y Berkas, 1998). Quirós et al. (2006) reconocieron que las lagunas turbias de la región pampeana se encuentran enriquecidas en Fósforo. Condiciones de anoxia en la interfase agua-sedimento favorece el retorno de parte del mismo a la columna de agua haciéndolo biodisponible. Es posible entonces que el incremento *S. agassizensis* este asociado a un aumento de los nutrientes en la laguna.

Evolución paleoambiental y paleoclimática

El testigo extraído en la laguna de Los Chilenos involucra las variaciones de la laguna en el último milenio. De acuerdo a los estudios realizados se pueden reconocer al menos 4 períodos en su evolución que representan cambios centenarios (Fig. V-18).

Período 1 (73- 83 cm; ~593-676 años cal. AP): En este período se interpretó un ambiente fluvial sin presencia de diatomeas posiblemente por problemas de preservación. Estos sugieren condiciones hídricas de mayor energía que las actuales. Esta unidad podría corresponderse con drenajes desde las Sierras Australes cuya sedimentación se encuentra favorecida por la baja pendiente en la zona del valle antecedente y depresión de Los Chilenos. A lo largo de esta zona la relación decreciente de la granulometría muestra una disminución progresiva en la energía del ambiente. Por otro lado, a pesar de que no se registraron diatomeas si se encontraron fitolitos indicando un predominio de pastizales por sobre el ambiente lacustre.

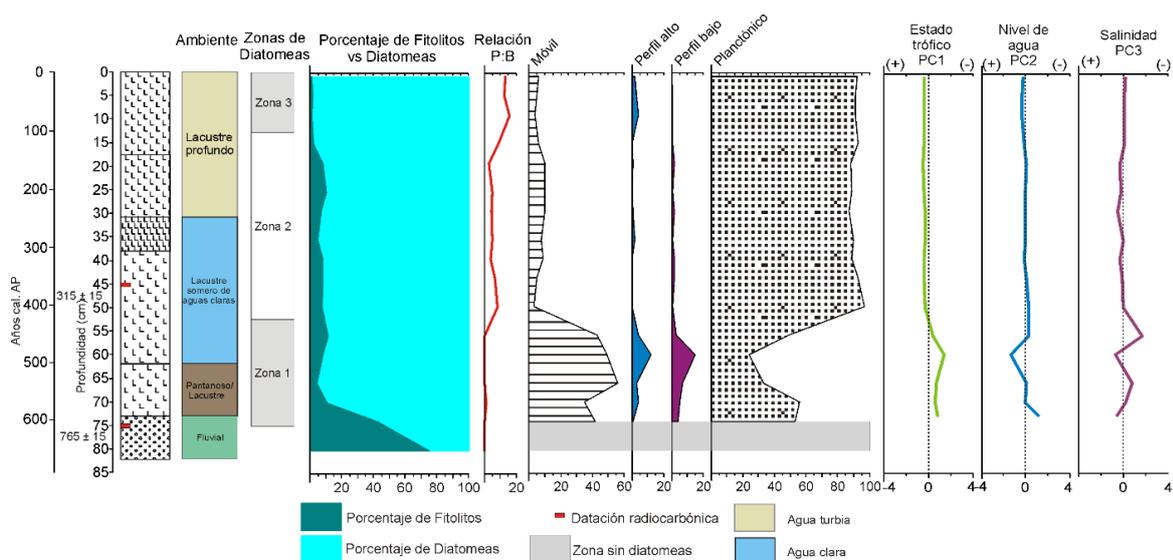


Figura V-18: Diagrama integrado de la laguna Los Chilenos en el que se muestran ambientes sedimentarios, zonación de diatomeas, Relación diatomeas Planctónicas vs Bentónicas, distribución de los gremios ecológicos (perfil alto, perfil bajo y móvil), Estado trófico (PCA1), variaciones en nivel de la laguna (PCA2) y salinidad (PCA3)

Período 2 (62-73 cm; ~502-593 años cal. AP): Se caracteriza por un ambiente pantanoso a lacustre somero sometido a eventos de inundación-deseccación. La agrupación de diatomeas evidencia las variaciones del nivel de agua y exposición subaérea. Además se interpretan características salinas, mesotrófica-eutróficas y alcalinas. La predominancia del GM durante este estadio es consistente con el establecimiento del sistema lacustre. La forma y movilidad de las especies de GM les otorga la habilidad de explorar hábitats limosos (Leira et al., 2015), y tienen la capacidad de adaptarse de manera eficiente al estrés ambiental (Padisák, 1993). Los ejes del PCA muestran un ascenso escalonado en los niveles relativos de agua con una tendencia general creciente con una disminución brusca hacia los 450 años AP, mientras que la relación entre diatomeas planctónicas y bentónicas indica condiciones de nivel bajo, con un leve incremento alrededor de los 550 años AP volviendo a disminuir hacia el techo. Con relación a la salinidad se presenta variable en el tiempo siendo la amplitud de las variaciones mayor en el inicio y fin del estadio y relativamente menor en la zona central, en tanto que el estado trófico mostró una respuesta opuesta con menos amplitud de cambio.

Período 3 (30-62cm; ~239-502 años cal. AP): Durante este estadio se desarrolló un ambiente lacustre somero de aguas claras que progresivamente se va profundizando. A partir de los 400 años AP aproximadamente se produce el pasaje de un régimen efímero a permanente con un incremento del estado trófico y una disminución de la salinidad de acuerdo con la agrupación de las diatomeas. Durante este estadio, cambios significativos en los gremios ecológicos dominantes y los parámetros inferidos por el análisis del PCA

ocurren previo y posterior a los 400 años AP aproximadamente. A partir de los 500 años hasta los 400 años el GP muestra una tendencia creciente en detrimento de los restantes gremios, los cuales se reducen a proporciones inferiores al 20 %. El predominio del GP estaría reflejando el establecimiento de un régimen permanente a partir de los 400 años cal. AP, el mismo patrón es mostrado a través de la relación de diatomeas planctónicas y bentónicas. El GPB tiene un pico máximo al inicio del estadio que disminuye rápidamente hacia los 400 años cal. AP, en correspondencia con el incremento del GP, posteriormente a lo largo del estadio muestra dos picos de aumento de menor magnitud que el anterior alrededor de los 250 y 350 años cal. AP. Las especies de GPB son resistentes a altas velocidades de flujo e inundaciones (Passy, 2007; Berthon et al., 2011; Stenger-Kovács et al., 2013) por lo que estos períodos se asocian con mayores descargas en la laguna. Los incrementos en el GPB están acompañadas por incrementos en *Aulacoseira spp.* y *S. agassizensis* resistentes en condiciones de alta turbulencia. Con relación a los ejes del PCA en este período se registra un incremento de los niveles de la laguna desde los 500 años cal. AP en relación al estadio anterior, la misma tendencia es mostrada con mayor claridad por la relación entre diatomeas planctónicas y bentónicas. En cuanto a la salinidad se observa una tendencia decreciente desde la base hasta los 450 años cal. AP a partir del cual comienza a incrementarse nuevamente. El estado trófico muestra una tendencia creciente durante este período encontrándose condiciones eutróficas.

A partir de los 400 años la relación de diatomeas planctónicas y bentónicas tiene una leve tendencia decreciente que pasa a un nivel constante entre los 150 y 300 años cal. AP. Hacia finales del período entre los 239 y los 300 años se observa una disminución en la granulometría, bioturbación y restos de macrófitas, al tiempo que se produce un incremento en el GPA. En condiciones de caída del nivel de agua este gremio se ha encontrado favorecido por condiciones de poca luz provocada por la resuspensión de sedimento (Leira et al., 2015). El GM también muestra un incremento durante este período indicando condiciones de estrés. La variación del nivel de la laguna, PCA 2, muestra una tendencia creciente de los niveles hasta los 300 años desde donde se observa una leve tendencia decreciente hasta aproximadamente los 150 años. La disminución de los niveles de agua es acompañada por un incremento en la salinidad, según el eje PCA3, en tanto que el estado trófico muestra una leve tendencia creciente. Posiblemente, un incremento en la aridez con la reducción de sus niveles habría favorecido la reducción de las carófitas con un incremento en la turbidez de la laguna.

Período 4 (0-30 cm; ~0-239 años AP): Durante este estadio se reconoce un incremento de los niveles de la laguna evidenciado por la relación diatomeas planctónicas y bentónicas, el cual es también representado por una tendencia levemente creciente del

PCA2. En relación a los ejes PCA1 y PCA2, de estado trófico y salinidad, se observa un incremento del nivel trófico y una disminución de la salinidad hacia el presente. En relación a los gremios ecológicos durante este período continúa siendo predominante el GP, asimismo se observa el mismo patrón cíclico de incremento del GPB, los cuales como se mencionó previamente se asocian con un incremento de las perturbación física en el ambiente. Un incremento en el GPA se observa entre 0-100 años AP, además prácticamente desaparece el GPB. A pesar de que el GPB suele ser beneficiado por condiciones de alta turbulencia el GPA suele verse favorecido en condiciones de baja luminosidad y alta turbulencia como resultado de la sombra dentro del biofilm (Leira et al, 2015), así como también en ambientes ricos en nutrientes (Passy, 2007). Las especies de *Aulacoseira* spp. son comunes en condiciones de incremento en la turbulencia, sílice y bajas condiciones de luz (Kilhan et al., 1996; Reynolds 2006), además son frecuentemente asociadas con un cambio hacia más disponibilidad de nutrientes (Leira et al., 2015). Asimismo, se ha visto que las condiciones de mezcla son esenciales para el crecimiento de grandes diatomeas céntricas (Reynolds, 1988). Las especies de *Stephanodiscus* son indicadores de lagos altamente eutróficos (Anderson, 1990, 1997; Anderson et al., 1993; Håkansson y Regnell, 1993; Bradshaw, 2005). En particular *Stephanodiscus agassizensis* ha sido reconocido en ambientes con alto nivel trófico como el río Rojo en Estados Unidos, lugar en donde se describió por primera vez. Por lo anterior, el incremento de las especies de *Aulacoseira* y *Stephanodiscus*, junto con lo anteriormente expuesto parece indicar un incremento en los nutrientes, registrándose un ambiente hipertrófico, y condiciones de mezcla desde los 100 años AP.

LAGUNA SAUCE GRANDE

Ubicación Geográfica

En la laguna Sauce Grande se extrajo un testigo a 1,8 m de profundidad dentro de la zona más profunda ($38^{\circ} 56' 10,2''$ S, $61^{\circ} 22' 34,8''$ O) (Fig. V-19). La longitud total del testigo extraído es de 0,98 m.

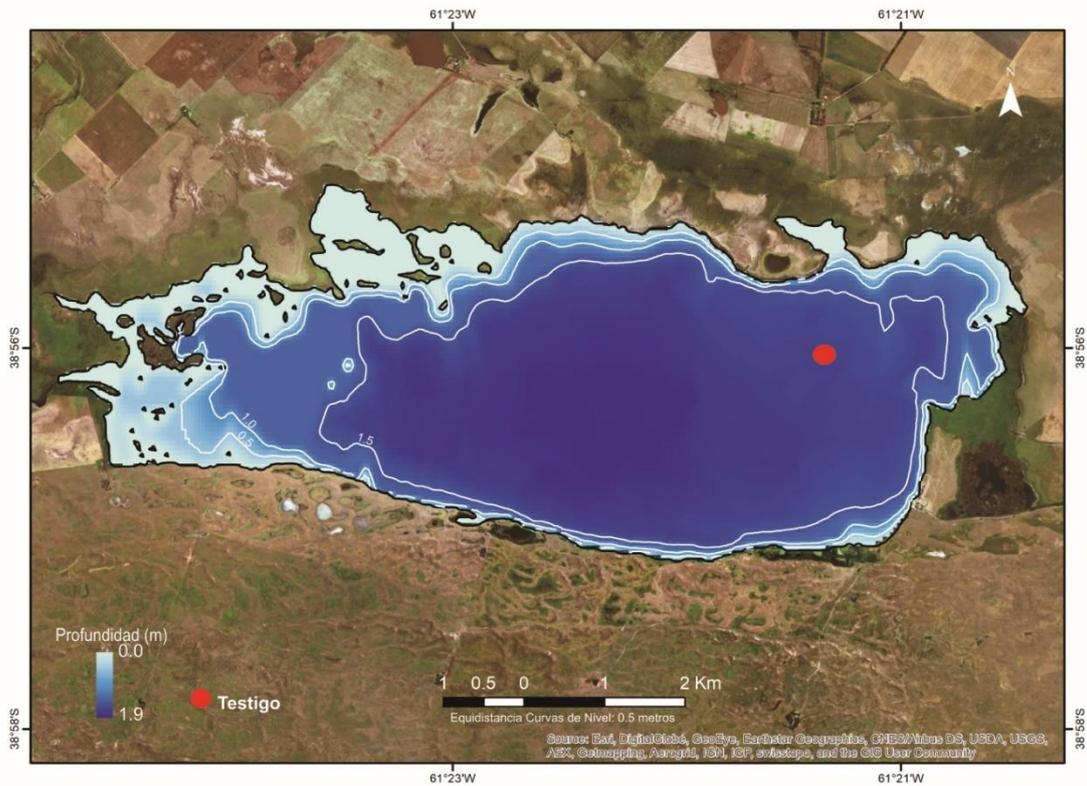


Figura V-19: Batimetría de la laguna Sauce Grande con localización del testigo extraído

Descripción estratigráfica y sedimentológica

El testigo extraído en la laguna de Sauce Grande se describió en base a sus características macroscópicas. A partir de la interpretación visual, fotografías, imágenes de rayos X y estudios granulométricos del testigo se establecieron 9 unidades sedimentarias las cuales son descritas en la Tabla V-5 (Fig. V-20).

Tabla V-5: Descripción de las unidades sedimentarias.

Unidad Sedimentaria	Profundidad (cm)	Descripción
1	0-27	Limo grueso a arenoso muy fino, color pardo verdoso. A lo largo de toda la unidad se observan gastrópodos aislados clasificados como <i>Heleobia</i> cf. <i>parchappii</i> . Contacto neto-irregular con la unidad infrayacente.
2	27-36	Limo arenoso fino a limo grueso ligeramente arenoso hacia el techo, color pardo claro a verdoso hacia el techo. En el techo de la unidad se observa concentración gastrópodos (<i>Heleobia</i> cf. <i>parchappii</i>). Contacto neto en la base.
3	36-56	Limo arenoso muy fino, color pardo a pardo verdoso, con presencia de gastrópodos dispersos y restos de macrófitas dispersos. Se observa bandeamiento con capas de color pardo alternantes con otras verdosas, las mismas disminuyen de espesor hacia la base. Contacto transicional en la base.
4	56-67	Limo arenoso fino, color pardo, homogéneo con presencia de gastrópodos de manera aislada, mayormente concentrados hacia el techo. Contacto neto con la unidad subyacente.
5	67-74	Limo grueso a arenoso muy fino. Color verdoso con intercalaciones de láminas que se acuñan lateralmente de aprox. 1 mm de espesor, color negro, presencia de restos de macrófitas. Contacto transicional con la unidad subyacente.
6	74-80	Arena media limosa. Parda verdosa en el techo a grisácea hacia a la base. En la base, asociada a la coloración negruzca, se observa concentración de gastrópodos y laminación. Con restos de macrófitas aisladas.
7	80-90	Arena fina limosa, color pardo verdoso con moteados de color pardo a pardo amarillento, ligera laminación muy fina. Presencia de gastrópodos aislados (<i>Heleobia</i> cf. <i>parchappii</i>) y restos de macrófitas. Contacto neto en base y techo
8	90-95	Arena fina limosa, color negro, con abundantes restos de macrófitas y gastrópodos. Contacto neto con la unidad subyacente.
9	95-98	Arena fina limosa, color verdoso, con moderado contenido de restos de macrófitas.

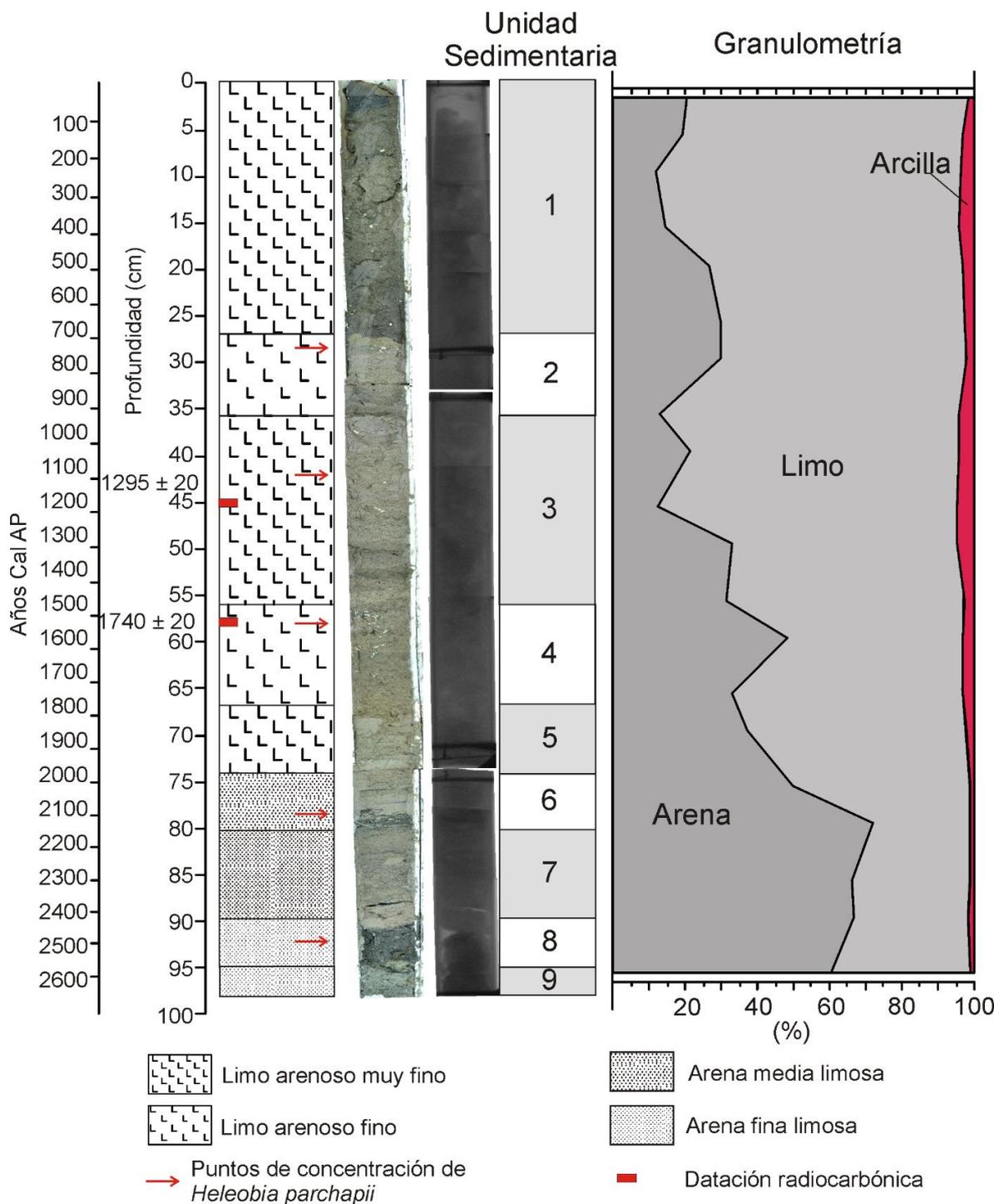


Figura V-20: Perfil litológico del testigo de Sauce Grande. A la derecha se presentan las fotografías a color, las imágenes de rayos X, las unidades sedimentarias definidas y las variaciones porcentuales de las fracciones de arena, limo y arcilla a lo largo del testigo.

Cronología

La cronología del testigo se obtuvo a partir de fechado de radiocarbono de dos muestras (Tabla 6). El modelo de edad-profundidad efectuado para las muestras analizadas tiene una tendencia lineal (Fig. V-21). La tasa de sedimentación media

acumulada es de 0,04 cm/año. El modelo de edad-profundidad realizado por Bacon involucró 57 cm, hacia profundidades mayores la estimación de la edad se realizó de acuerdo a lo especificado en la metodología.

Tabla V-6: Detalle de las muestras de dataciones radiocarbónicas calibradas y sin calibrar.

Profundidad de la muestra (cm)	Material analizado	Edades Sin Calibrar (¹⁴ C años AP)	Edad calibrada por promedio ponderado	Probabilidad asociada a la calibración	Curva de Calibración utilizada	Código del laboratorio
Laguna Sauce Grande						
45	Sedimento	1295 ± 20	1541 (1227-1284)	61,4	SHCal13	ULA-7146
57	Sedimento	1740 ± 20	3039 (1599-1708)	91,9	SHCal13	ULA-7147

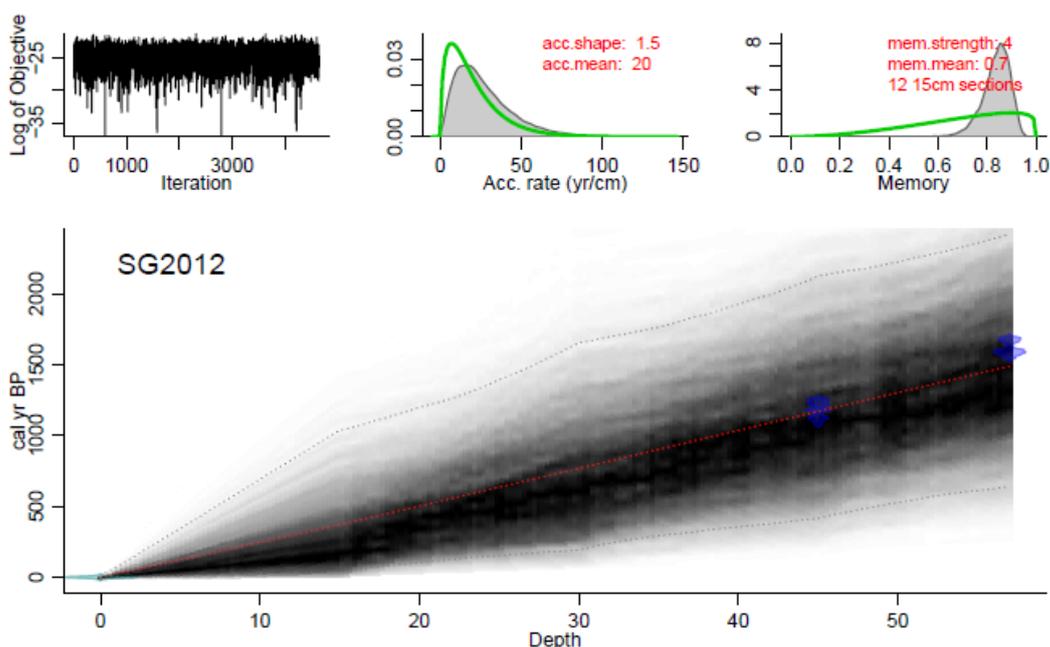


Figura V-21: Modelo de edad- profundidad testigo de Sauce Grande.

Identificación e interpretación de Diatomeas

Para el análisis de diatomeas del testigo de Sauce Grande se prepararon 20 muestras de las cuales 19 presentaron diatomeas las que fueron contadas hasta un mínimo de 500 valvas. Se reconocieron un total de 27 géneros y 47 especies. Entre los géneros más representados se destacan *Pseudostaurosira*, *Staurosira*, *Aulacoseira*, *Cyclotella*, *Hippodonta* y *Navicula*. Las diatomeas fueron agrupadas de acuerdo con su hábitat

(aerófilas, bentónicas, litorales y plantónicas). El análisis CONISS de todas las muestras analizadas permitió identificar 2 zonas de diatomeas (Fig. V-22). Por debajo de los 90 cm no se encontraron diatomeas posiblemente por problemas de preservación dado la presencia de granulometrías gruesas. El listado completo de especies y sus preferencias ecológicas se encuentra en el Anexo 1. En la Figura V-22 se presenta el diagrama simplificado con las especies dominantes, la versión completa con todas las especies identificadas en un porcentaje mayor al 2 % puede observarse en el Anexo 2. Entre paréntesis se presentan los rangos mínimos y máximos de presencia relativa.

Zona 1 (30-91 cm; ~768,5-2458 años cal. AP): En esta zona predominan las especies litorales (incluye planctónicas y bentónicas), entre las que se destaca *P. brevistriata* (26,0-64,4 %), *Stausosirella pinnata* (6,3-35,4 %), *C. meneghiniana* (0,6-9,7 %) y *Navicula cryptotenella* (0,4-9,4 %). Las especies bentónicas también fueron dominantes siendo *Stausosira construens* var. *venter* (1,6-14,6 %), *Hippodonta hungarica* (1,9-10,4 %) y *Navicula* (0,2-5,6 %) las más representativas. Las especies planctónicas estuvieron representadas solo por *Aulacoseira granulata* var. *granulata* (0,2-4,5 %).

Zona 2 (0-30 cm; ~0-768,5 años cal. AP): En esta zona dominan las especies litorales y bentónicas, estando integradas por *P. brevistriata* (18,8-49,4 %), *C. meneghiniana* (1,2-35,5 %) y *S. pinnata* (2,1-14,0 %) dentro de las especies litorales y *Stausosira* cf. *longirostris* (2,3-33,9 %) e *H. hungarica* (0,2-7,6 %) entre las bentónicas. Entre las especies planctónicas dominan *A. granulata* var. *granulata* (1,3-12,6 %), *A. granulata* var. *australiensis* (1,5-10,4 %) y *A. granulata* var. *angustissima* (0,2-2,4 %).

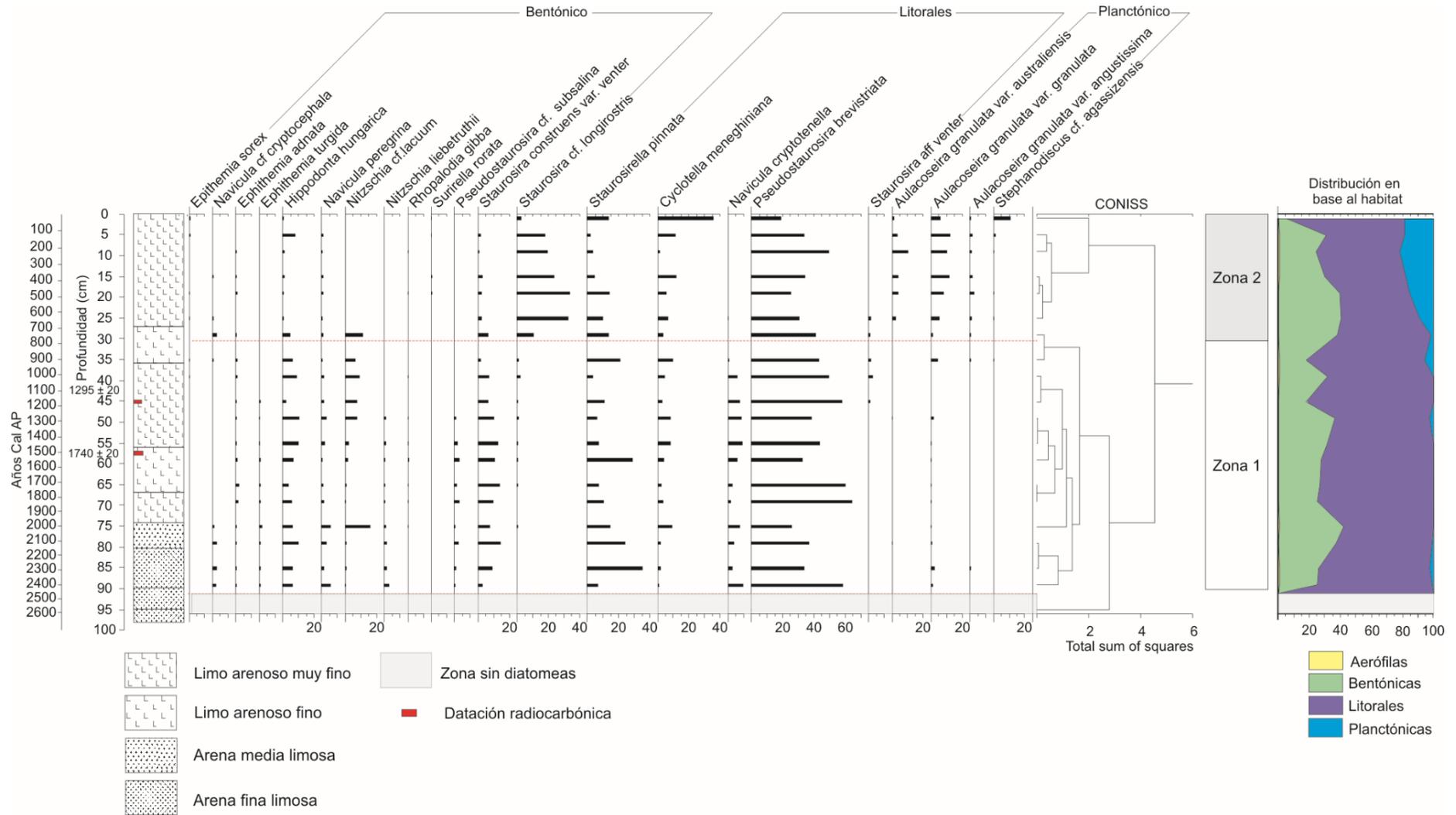


Figura V-22: Diagrama de distribución de diatomeas con análisis CONISS y zonación de diatomeas

Clasificación de las diatomeas de acuerdo al gremio ecológico

Del agrupamiento en los distintos gremios ecológicos se distingue que el gremio de PA es el dominante a lo largo de todo el testigo, superior al 60 %, hacia el tope, aproximadamente desde los 10 cm, presenta una tendencia decreciente encontrándose en el techo del testigo un 35 % (Fig. V-23). El GPB, en tanto, se encontró por debajo del 5 % a lo largo de todo el testigo. Una relación opuesta se observa entre el GM y el GP, siendo dominante el primero desde la base hasta los 30 cm, aproximadamente, en donde el GP comienza a incrementar a expensas de la disminución en el GM. Este cambio coincide con el límite entre las dos zonas de diatomeas identificadas.

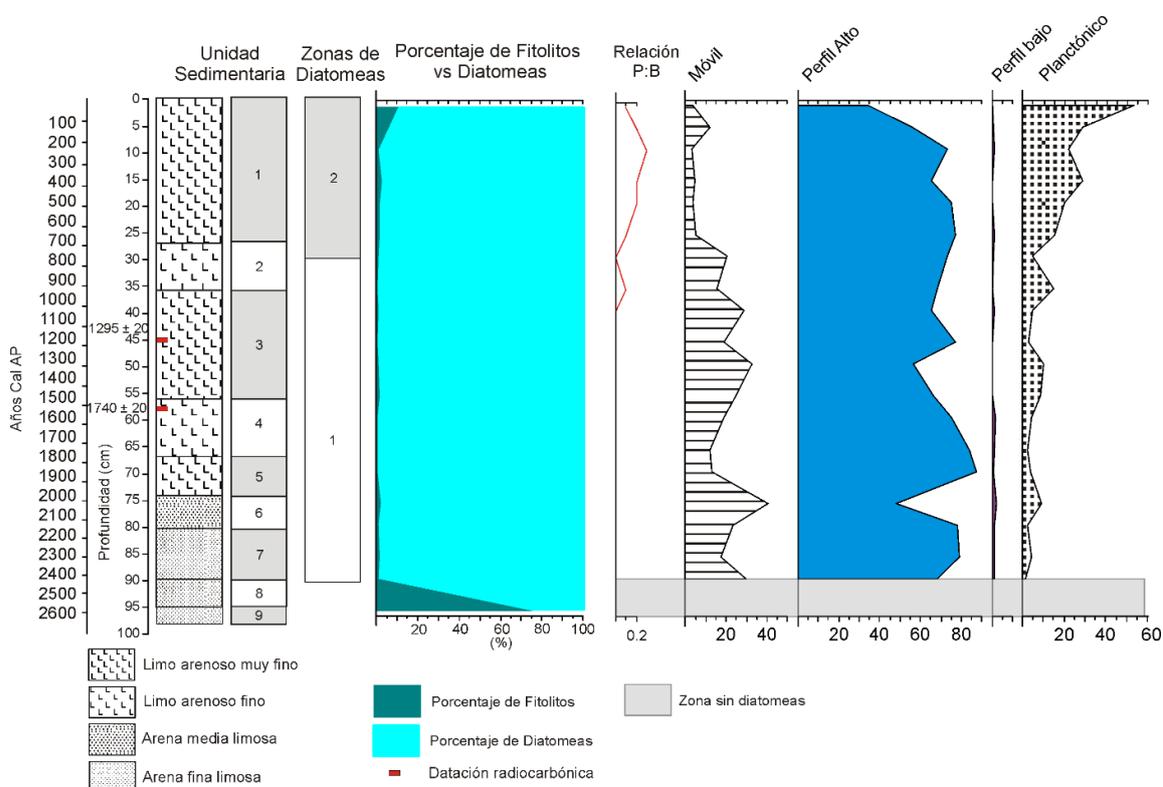


Figura V-23: Diagrama de representación de la litología con las variaciones porcentuales de Fitolitos y diatomeas, relación entre diatomeas planctónicas y bentónicas y representación porcentual de los cuatro gremios ecológicos (Perfil alto, bajo, móvil y planctónico).

Identificación e interpretación de Fitolitos y Relación Diatomeas/ Fitolitos

En general las concentraciones de fitolitos fueron bajas a excepción de los últimos centímetros, por debajo de los 90 cm, en donde no se registraron diatomeas. Además se observa una tendencia creciente desde los 20 cm aproximadamente hacia el tope del testigo estando en proporciones inferiores al 10 % de fitolitos (Fig. V-23).

La relación diatomeas planctónicas vs bentónicas muestra valores próximos a cero por debajo de los 40 cm, aproximadamente (1036 años cal. AP). Por encima de los 40 cm presenta una tendencia creciente hacia el techo del testigo hasta los 10 cm en donde comienza a disminuir nuevamente.

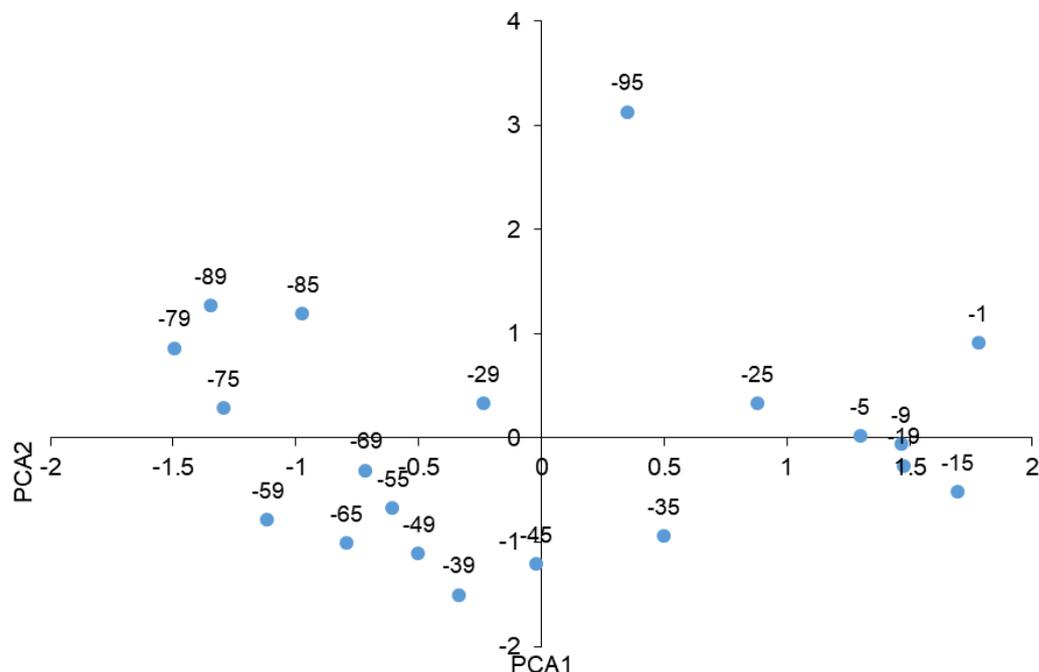


Figura V-24: Diagrama de variabilidad de las muestras en los ejes 1 y 2 del análisis de PCA del testigo de Sauce Grande

Análisis Estadísticos

Para evaluar la varianza y covarianza de los datos se realizó un Análisis de Componentes Principales (PCA). La matriz de datos a analizar incluyeron especies de diatomeas con mayores proporciones de hábitat planctónico, bentónico y litoral, fitolitos, fracciones de arena, limo y arcilla y gremios ecológicos (GPA, GPB, GM y GP). Del análisis realizado se consideraron los primeros tres componentes las cuales explicaron el 56 % de la varianza, en donde, el PCA1 explica el 31 % de la varianza, el PCA2 el 13 % y el PCA3 el 12 %. La distribución de las muestras en las componentes 1 y 2 ordena las muestras entre 0-25 cm hacia los valores positivos del PCA1 (Fig. V-24), las muestras desde 29-90 cm las agrupa desde la zona central hacia los valores negativos de PCA1, en tanto que la muestra de 95 cm se ubicó aislada en el extremo positivo del eje PCA2. Se observa una cierta correspondencia con los límites de las zonas de diatomeas identificadas, mientras que la muestra 95 cm incluye en parte la zona sin diatomeas.

La asociación ambiental de los ejes de ordenadas definidos para las variables se realizó evaluando la distribución de cada variable (Fig. V-25). En relación al PCA1 se reconoció una separación de la fracción arena y GM con valores altos negativos en la componente 1, y valores altos positivos de limo, arcilla y GP en la misma componente, esto permite interpretar este eje como variaciones en el nivel de la laguna con valores negativos asociado a disminución del nivel de la laguna y valores positivos a incrementos. En la componente 2 se reconoció una asociación de especies de preferencia mesotrófico-eutrófica con los mayores puntajes negativos mientras que el valor próximo a cero o puntajes positivos se asoció con especies de preferencia eutrófica-hipertrófica. En base a lo analizado se interpreta un gradiente trófico de mesotrófico- eutrófico a eutrófico-hipertrófico que incrementa hacia el segmento positivo. Existe también una diferenciación de las especies a lo largo del eje 3 que se corresponde con un gradiente de salinidad, encontrándose especies de preferencia mesohalobia en relación con los valores negativos y oligohalobia con los valores positivos.

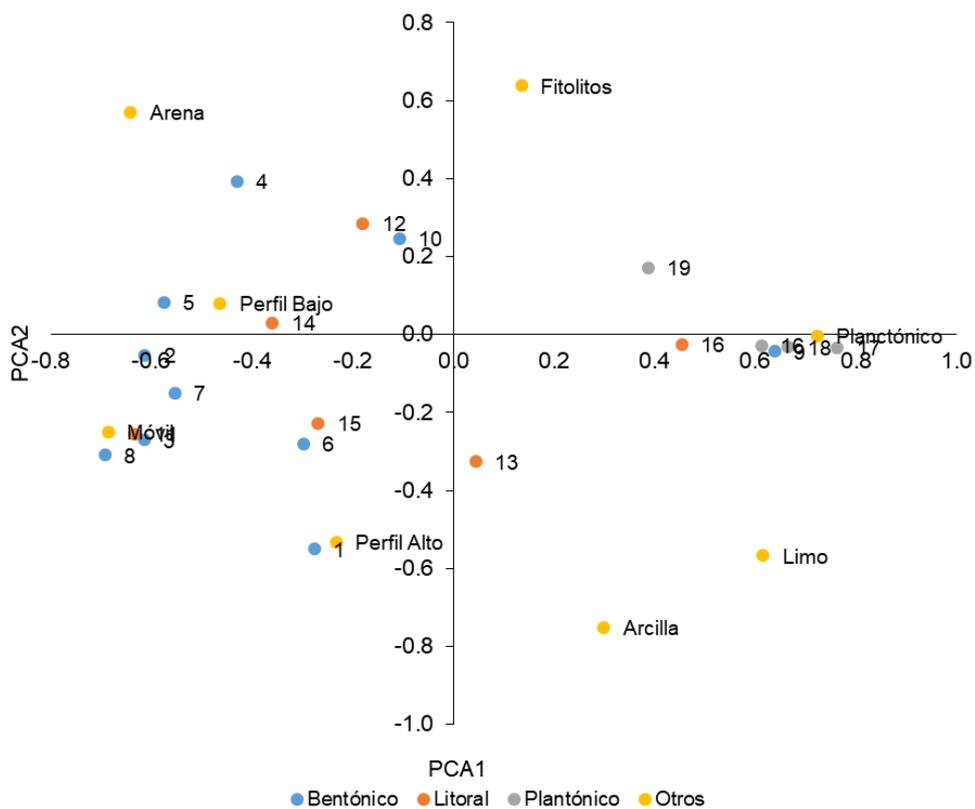


Figura V-25: Distribución de las variables en los ejes PCA1 y PCA2.

Posteriormente, los puntajes de las muestras para los PCA 1, PCA2 y PCA3 fueron trazados en orden estratigráfico para observar como las variables ambientales representadas cambian a través del tiempo (Fig. V-26). En la distribución de los puntajes a lo largo del testigo, en cada eje, se distinguen al menos dos zonas, de 30 a 95 cm y de 0-

30 cm. En la primera zona se observa una tendencia creciente en el nivel de agua (PCA1) y una tendencia decreciente en el nivel trófico y salinidad. En la segunda zona se distingue una tendencia creciente en el nivel de agua y estado trófico y decreciente en salinidad. Es de destacar que en la zona de transición, entre 25-35 cm, se observa un pico de disminución brusca en el nivel de agua, que se corresponde con un incremento en el estado trófico y salinidad.

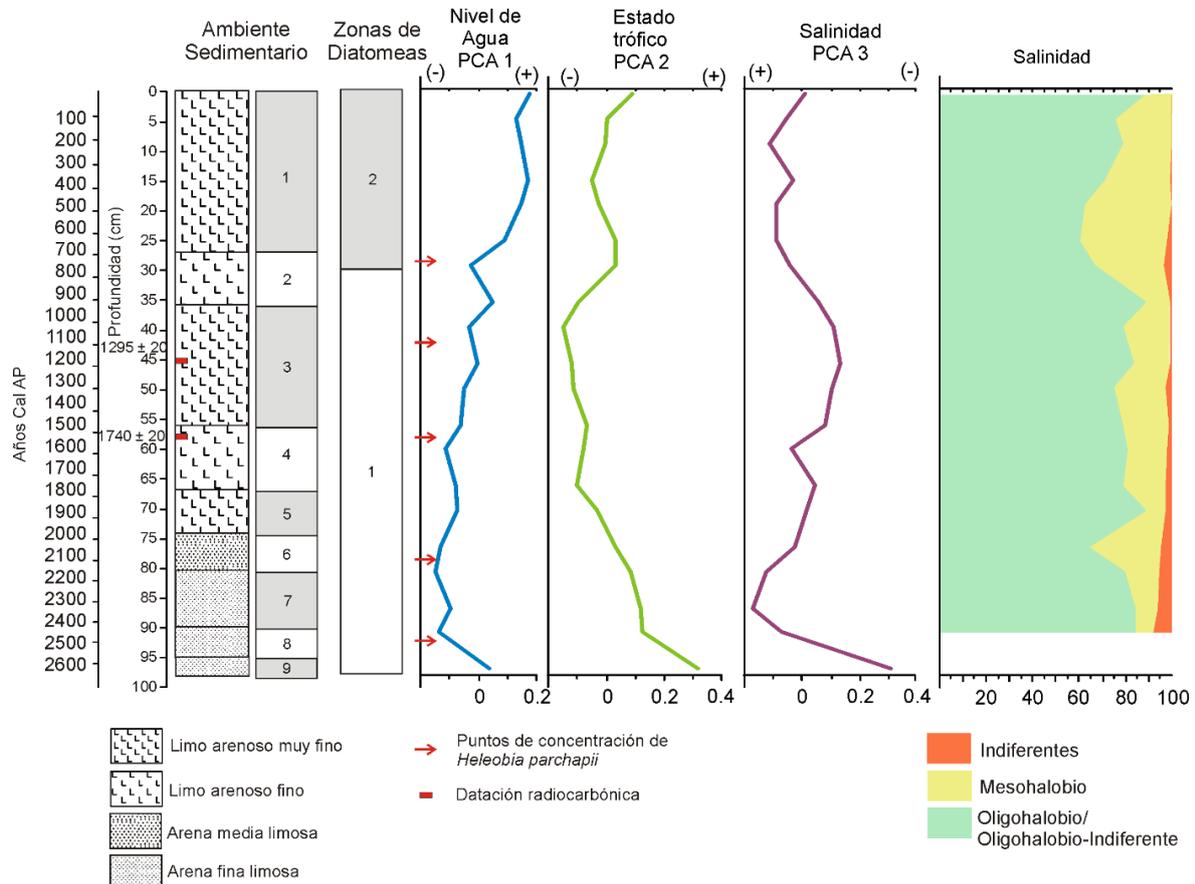


Figura V-26: Variaciones en el Nivel de la laguna (PCA1), estado trófico (PCA2) y Salinidad (PCA3) a lo largo del testigo. Distribución de salinidad en base a diatomeas.

Interpretación paleoambiental

Litología

De acuerdo con la interpretación de las unidades sedimentarias definidas previamente se puede interpretar varios ambientes sedimentarios que reflejan cambios en las condiciones paleolimnológicas. En la Figura V-27 se representan los ambientes definidos correspondiente a cada una de las unidades sedimentarias identificadas.

Ambiente sedimentario 1 (90-98 cm; ~2430-2661 años cal. AP): Integra a las unidades 8 y 9, compuesta por arena fina limosa de color verde a negro hacia el techo de la unidad, con abundante presencia de macrófitas y ostrácodos y alto contenido en materia orgánica, estructura masiva. La ausencia de laminación o laminación gruesa, sugiere importante bioturbación, esto junto con la presencia de restos macrófitas que sugiere condiciones de buena penetración de la luz que posibilita realizar fotosíntesis, asimismo, la presencia de gastrópodos que sugieren condiciones de un ambiente litoral (Håkanson y Jansson, 1983) y alto contenido de materia orgánica. Se infiere un ambiente pantanoso o lacustre somero con alto aporte de materia orgánica.

Ambiente sedimentario 2 (35-90 cm; ~903-2430 años cal. AP): Incluye a las unidades 3 a 7 (Tabla V-5), caracterizadas por arena fina limosa que pasa hacia el techo a limo arenoso muy fino de color pardo a pardo verdoso. Presenta una laminación grosera con cambios en la coloración entre láminas pardo claras a pardo oscuras verdosas, en forma aislada y con menor espesor se observan láminas con abundante concentración de materia orgánica y/o concentración de gastrópodos determinados por Fontana (2005) como *Heleobia cf. parchappii*. Los gastrópodos de este testigo se encuentran ampliamente distribuidos en la región pampeana y son capaces de mantener poblaciones estables en aguas salobres con salinidades promedio entre 17 y 23 (Gaillard y Castellanos, 1976; Castellanos y Landoni, 1995; De Francesco e Isla, 2004). Tanto la coloración como la presencia de gastrópodos sugieren la existencia de un ambiente somero, rico en carbonatos (Håkanson y Jansson, 1983; Li et al., 2017). La laminación grosera está asociada con períodos de mayor aporte de sedimento, mientras que la laminación fina y con abundante materia orgánica se relaciona con condiciones tranquilas o de menor aporte (Håkanson y Jansson, 1983). El predominio de diatomeas de hábito bentónico en la base y el incremento hacia el techo de la zona refuerzan la hipótesis de un ambiente lagunar somero, salino, de menor extensión que el actual con un progresivo incremento en la profundidad y extensión favorecido por significativos aportes hídricos.

Ambiente sedimentario 3 (0-35 cm; ~0-903 años cal. AP): Incluye a las unidades 1 y 2, (Tabla V-5) con escasa presencia de gastrópodos y ausencia de macrófitas. Lo anterior permite identificar un ambiente lacustre más estable dominado por la sedimentación pelágica. La desaparición de las macrófitas sugiere una mayor turbidez. El incremento en diatomeas planctónicas dominadas por *Aulacoseira* spp. y *C. meneghiniana* resistentes a condiciones de baja iluminación (Hassan, 2013) también refuerza la interpretación de un ambiente lagunar con significativa turbidez.

Diatomeas

El análisis de la asociación de diatomeas permitió reconstruir las variaciones de la laguna Sauce Grande desde el Holoceno tardío. Los cambios en las asociaciones de diatomeas reflejan cambios milenarios a centenarios.

Zona 1 (30-91 cm; ~768,5-2458 años cal. AP): En esta zona predominan las especies litorales y bentónicas. La predominancia de pequeñas fragilarioides (*P. brevistriata*, *S. pinnata* y *S. construens* var. *venter*) acompañada de *C. meneghiniana*, *H. hungarica* y *N. peregrina* sugiere un ambiente somero con importante desarrollo litoral, en donde la penetración de la luz favorece el desarrollo de las mismas. Se observaron escasos ejemplares planctónicos representada por *A. granulata* var. *granulata*. A su vez el ensamble de diatomeas con *H. hungarica*, *N. peregrina* y *C. meneghiniana* sugiere condiciones mesotróficas a eutróficas. En cuanto a la salinidad se caracteriza como dulce-salina, la disminución desde la base hacia el techo de la zona de *N. peregrina* y *N. cryptocephala* y un incremento en el mismo sentido de *H. hungarica* y *N. cf lacuum* sugiere un cambio de condiciones más salina- dulce a dulce-salina hacia el techo (van Dam, 1994). En la zona de transición entre la Zona 1 y 2 se reconoce la aparición de *Staurosira* aff. *venter* la misma es característica de ambientes salobres-dulceacuícolas, con un óptimo de salinidad de 10 y un rango de tolerancia de 0–17 (Hassan et al., 2010) por lo tanto se interpreta como un leve aumento de la salinidad.

Zona 2 (0-30 cm; ~0-768,5 años cal. AP): En esta zona a pesar de la predominancia de las especies litorales y bentónicas (*P. brevistriata*, *C. meneghiniana*, *S. pinnata* S. cf. *longirostris*) se observa un notable incremento de las especies planctónicas dominadas por Aulacoseiras spp. (*A. granulata* var. *granulata*, *A. granulata* var. *australiensis* y *A. granulata* var. *angustissima*; hacia el techo de la zona aparece *S. agassizensis*). La especie *S. longirostris* está presente en altas proporciones. Esta especie está identificada como halófila (Sar et al., 2009) y ha sido reconocida por Frenguelli (1935) en la laguna costera Mar Chiquita localizada en la región pampeana, la cual presenta un patrón de variabilidad entre dulce y salina (Reta et al., 2001). Hacia el techo de la zona el incrementa *S. agassizensis*; la cual es dominante en aguas ricas en nutrientes con limitación de luz (Häkansson y Kling, 1989) y en agua salobre, superior a 5 (Genkal, 1993). En Chile ha sido reconocida en el lago Chungara el cual es moderadamente salino, meso-eutrófico con fuerte inhibición a la actividad fotosintética producida por la luz (Rivera et al., 2002). Por lo tanto, la dominancia de *S. longirostris* en esta zona la cual disminuye hacia el techo con la aparición de *S. agassizensis* puede indicar condiciones de mayor turbidez, mayor mezcla e incremento de nutrientes. Asimismo, *Staurosirella pinnata* y *S. construens* var. *venter* han

sido asociadas a ambientes con fluctuaciones bajas de la salinidad (0-9) (Espinosa, 1994). A su vez, *S. pinnata* tiene su óptimo desarrollo en condiciones de salinidad alrededor de 5 con variaciones de 0-15 (Hassan, 2010), similar a lo reconocido para *S. agassizensis*.

Por otro lado, la aparición de *Aulacoseira* spp, en particular *A. granulata* var. *granulata*, junto con *C. meneghiniana* indica un incremento en la turbidez, nutrientes y condiciones de mezcla no solo en la región pampeana sino globalmente en lagunas poco profundas (Kilham y Kilham, 1975; Anderson, 2000; Fritz et al., 2012; Hassan, 2013). En resumen, un incremento en las condiciones de mezcla, nutrientes, salinidad y nivel de agua respecto de la zona anterior permiten caracterizarla como una laguna somera turbia, eutrófica a hipertrófica y salobre.

Reconstrucción Paleoambiental y Paleoclimática

El testigo extraído en la laguna de Sauce Grande incluye las variaciones de la laguna desde el Holoceno tardío hasta la actualidad. De acuerdo a los estudios realizados se pueden reconocer al menos 3 períodos en su evolución que representan cambios centenarios a milenarios (Fig. V-27).

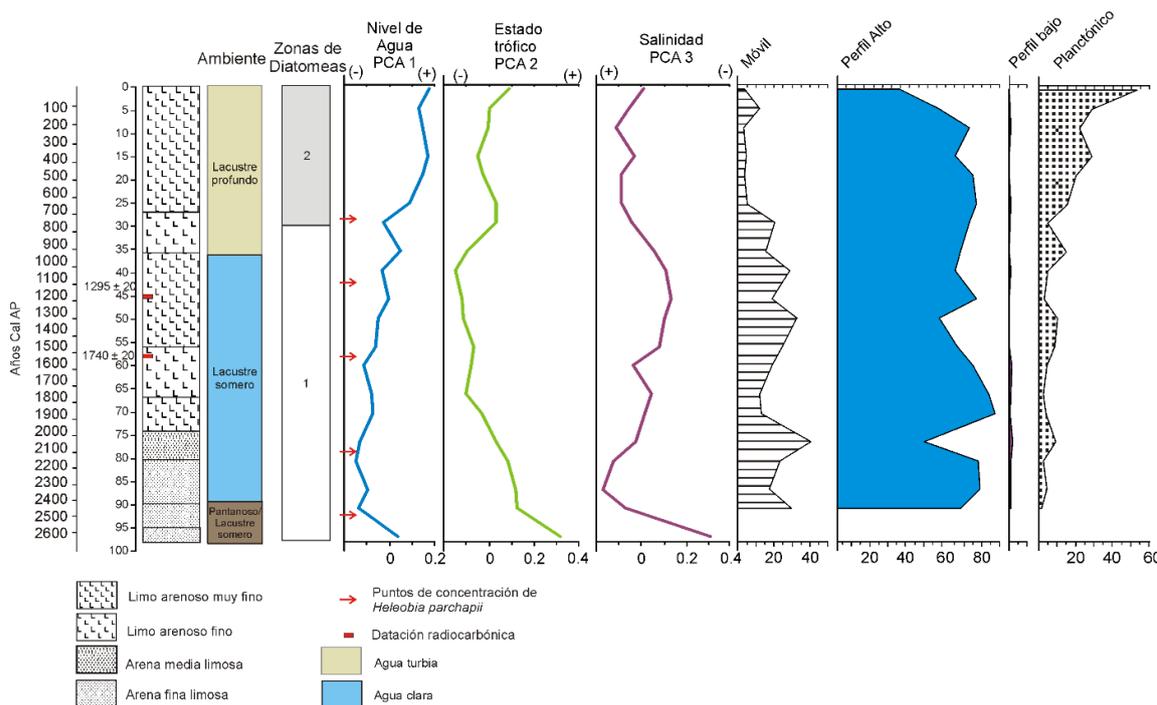


Figura V-27: Diagrama integrado de la laguna Sauce Grande. En él se muestra litología, Ambientes sedimentarios, zonación de diatomeas, Nivel del agua (PCA1), Estado trófico (PCA2), salinidad (PCA3) y Gremios ecológicos (GPA, GPB, GM y GP)

Período 1 (90-98 cm; ~2430-2661 años cal. AP): Durante este período se reconoció un ambiente de pantano a laguna somera con ausencia de diatomeas posiblemente por problemas de preservación. El ambiente pantanoso/ lacustre somero con gran producción

de materia orgánica sugiere condiciones de clima húmedo. Hacia el techo de la zona se observa una mayor concentración de *H. cf. parchappii*, esta concentración se corresponde con una disminución del nivel de la laguna e incremento de la salinidad.

Período 2 (35-90 cm; ~903-2430 años cal. AP): Se registró un ambiente lagunar somero de menor extensión que el actual con un progresivo incremento en la profundidad y extensión favorecido por significativos aportes hídricos. Las diatomeas sugieren un ambiente somero con importante desarrollo litoral, en donde la penetración de la luz favorece a los organismos bentónicos y macrófitas. En esta zona, de acuerdo con el eje del PCA3, la salinidad muestra una progresiva disminución de oligohalobio a mesohalobio. En cuanto a las condiciones tróficas las especies encontradas pertenecen en su mayoría al GPA e indican un ambiente rico en nutrientes, en tanto que el eje del PCA2 indica un progresivo incremento en el nivel trófico predominando condiciones mesoeutróficas-eutróficas. *Pseudostarosira* es un género pionero indicador de aguas someras que tiende a colonizar los sedimentos del fondo de aguas abiertas con fluctuaciones físicas y químicas. Esto, junto con la predominancia de diatomeas perifíticas, las cuales también resisten cambios de nivel del lago (Leira et al., 2015), sugiere que durante este período las variaciones en profundidad (PCA1; Fig. V-27) y características físico-químicas fueron comunes. En condiciones estables con alta iluminación y contenido de nutrientes, el gremio móvil (Fig. V-27) compite mejor por nutrientes con respecto a los otros gremios (Fairchild et al., 1985; van der Grinten et al., 2004; Passy 2007; Lange et al., 2011; Leira et al 2015). Con lo anteriormente dicho se puede interpretar un ambiente variable consistente de frecuentes y prolongados períodos de disturbación y escasos y cortos períodos de calma hasta los 1400-1500 años cal. AP en donde se invierte la relación y comienzan a ser más dominantes los períodos de calma. Este cambio es consistente con la disminución en la granulometría lo que podría reflejar la progresiva expansión de la laguna con el consecuente alejamiento del área de aporte de la misma.

Período 3 (0-35 cm; ~0-903 años cal. AP): Se interpreta como un ambiente lagunar más profundo y más rico en nutrientes que el anterior, indicado por la dominancia de *Aulacoseira* spp y la asociación de *Aulacoseira* spp y *C. meneghiniana* común en ambientes turbios y de alta energía (Kilhan et al., 1996; Reynolds, 2006) y con disponibilidad de nutrientes (Hassan, 2013; Leira et al., 2015). *S. brevistriata* y *S. pinnata* también sugieren condiciones similares ya que las mismas son favorecidas por ligeramente altas condiciones tróficas y relativamente tolerantes a escasa luz (Leira et al., 2015). En cuanto a los gremios ecológicos el GM mostro una fuerte reducción en esta zona posiblemente asociado a un incremento en la turbidez que perjudica su desarrollo a pesar del alto contenido de nutrientes (Passy, 2007; Lange et al., 2011). En tanto que el GPA se

ve favorecido por la alta concentración de nutrientes y turbidez, y si bien no se ve beneficiado por el incremento en la velocidad del flujo, como es el caso del GPB. Las interacciones interespecíficas en condiciones de altos nutrientes y turbidez favorecen el desarrollo del GPA en lugar del GPB (Passy, 2007). El incremento del GP hacia el techo de la zona, dominado por *Aulacoseira* y *C. meneghiniana* resistentes a condiciones de turbulencia, y la progresiva disminución del GPA pueden interpretarse como un incremento en las velocidades de flujo que produce un estrés en el GPA y favorece el desarrollo del GP. El eje de PCA1 asociado con el nivel de agua en la laguna muestra un progresivo incremento, lo mismo es reflejado por la relación entre diatomeas planctónicas y bentónicas y el GP. Acompañando el incremento de la laguna se observa una disminución de la salinidad y un incremento en el estado trófico. Es importante destacar un incremento brusco en la tendencia observada desde los 100 años cal AP. Esto se ve reflejado además por un incremento en las especies céntricas hacia el techo de la zona, en particular *S. agassizensis*, la cual es indicadora de lagos altamente eutróficos (Anderson, 1990, 1997; Anderson et al., 1993; Håkansson y Regnell, 1993; Bradshaw, 2005), sugieren un incremento en el contenido de nutrientes desde ca. 100 años cal. AP.

LAGUNA LA SALADA

Ubicación Geográfica

En la laguna La Salada se extrajo un testigo 3,0 m de profundidad dentro de la zona más profunda (29° 27' 0,0" S, 62° 42' 0,0" O) (Fig. V-28). La longitud total del testigo extraído es de 1,53 m.

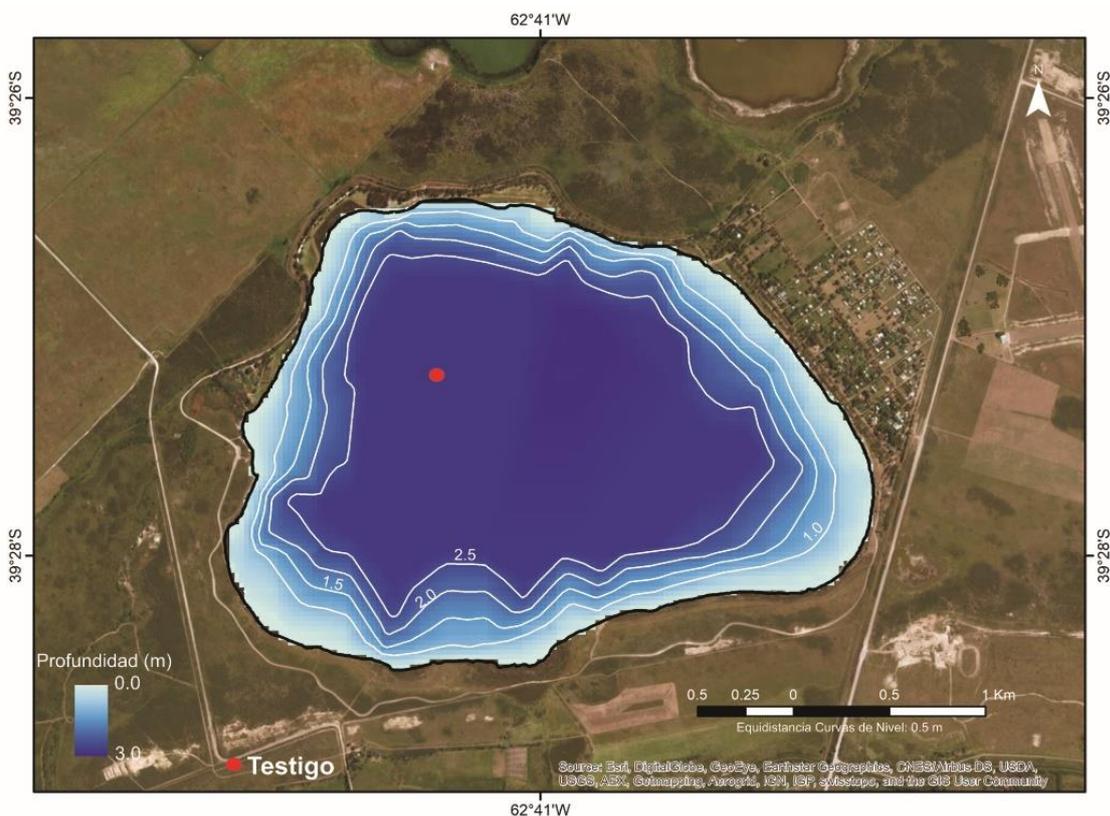


Figura V-28: Batimetría de la laguna de La Salada con localización del testigo extraído

Descripción Estratigráfica y Sedimentológica

El testigo extraído en la laguna La Salada se describió en base a sus características macroscópicas. A partir de la interpretación visual, fotografías, imágenes de rayos X y estudios granulométricos del testigo se establecieron 8 unidades sedimentarias las cuales son descritas en la Tabla 7 (Fig. V-29).

Tabla V-7: Descripción de las unidades sedimentarias.

Unidad Sedimentaria	Profundidad (cm)	Descripción
1	0-6,0	Limo grueso, color gris oscuro, alto contenido de humedad, bioturbado, con alto contenido en materia orgánica. Contacto neto con la unidad subyacente.
2	6,0- 7,0	Restos de macrófitas.
3	7,0- 22,0	Limo medio a grueso, color verde grisáceo, con intercalación de láminas de restos de macrófitas y gastrópodos cada 3 cm aproximadamente. Contacto neto en base y techo.
4	22,0 -34,5	Limo medio a grueso, color pardo verdoso, con escasa bioturbación.
5	34,5- 65,5	Limo medio a grueso, color pardo grisáceo, medianamente compacto sin bioturbación, saturado en agua, con intercalaciones de láminas claras, de aproximadamente 1,1 cm de espesor, color gris claro a blanquecino. También se observan cristales de yeso tamaño arena en forma de nódulos y láminas. Contacto neto en el techo y transicional hacia la base.
6	65,5- 111,5	Limo medio, color pardo claro, fuertemente bioturbado con moteados de pardo amarillento a verdoso, posiblemente de hierro. Con alto contenido de agua, en especial hacia el techo de la zona. Hacia la base entre 95-110 cm se observan nódulos formados por cristales de yeso.
7	111,5 -136,0	Limo grueso a medio, color gris oscuro, con bioturbación de pequeños túneles y galerías, hacia el techo. Se reconocen láminas con mayor contenido de materia orgánica a lo largo del testigo. Contacto neto en el techo y transicional hacia la base.
8	136,0- 153,0	Limo medio a grueso, color pardo grisáceo con moderada bioturbación.

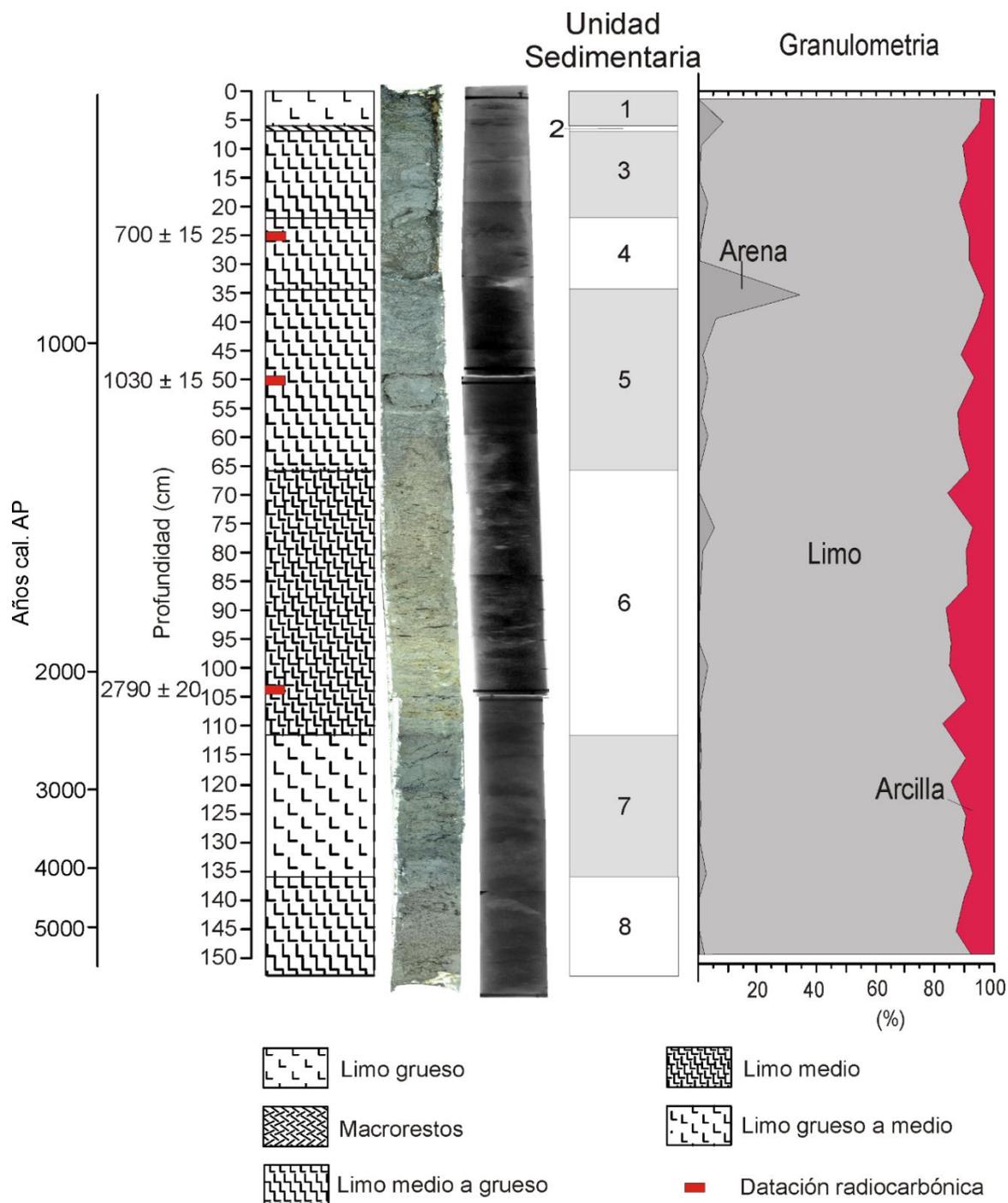


Figura V-29: Perfil litológico del testigo de La Salada. De izquierda a la derecha se presentan las fotografías a color, las imágenes de rayos X, las unidades litológicas definidas y las variaciones porcentuales de las fracciones de arena, limo y arcilla a lo largo del testigo.

Cronología

La cronología del testigo se obtuvo a partir de fechado de radiocarbono de tres muestras (Tabla V-8). El modelo de edad-profundidad efectuado para las muestras analizadas muestra una tendencia polinómica de grado 3 (Fig. V-30). Se obtuvo una tasa

de sedimentación de 0,038 cm/año para el tramo entre 0-25 cm, 0,057 cm/año en el tramo entre 25-50 cm y de 0,049 cm/año para el tramo entre 50-104 cm, con una tasa promedio a lo largo de todo el testigo de 0,05 cm/año. El modelo de edad-profundidad realizado por Bacon involucró 104 cm, hacia profundidades mayores la estimación de la edad se realizó de acuerdo a lo especificado en la metodología.

Tabla V-8: Detalle de las muestras de dataciones radiocarbónicas calibradas y sin calibrar.

Profundidad de la muestra (cm)	Material analizado	Edades Sin Calibrar (¹⁴ C años AP)	Edad calibrada por promedio ponderado	Probabilidad asociada a la calibración	Curva de Calibración utilizada	Código del laboratorio
Laguna La Salada						
25	Sedimento	700 ± 15	657 (412-871)	95	SHCal13	ULA-7148
50	Sedimento	1030± 15	1088(966-1232)	95	SHCal13	ULA-7621
104	Sedimento	2790± 20	2172 (1577-2999)	95	SHCal13	ULA-7622

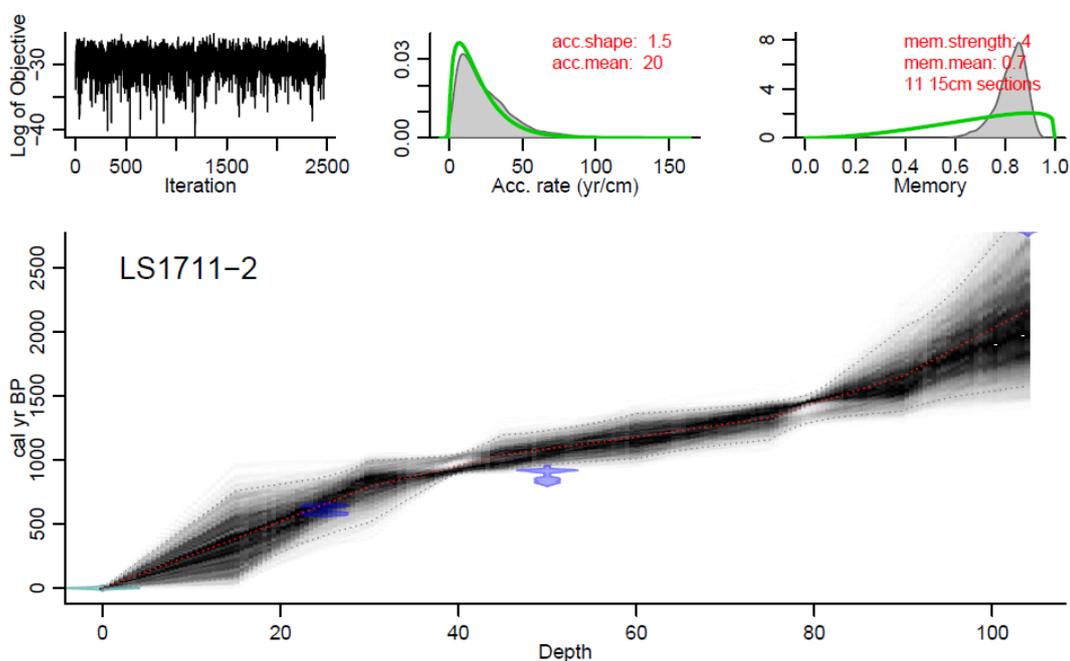


Figura V-30: Modelo de edad- profundidad testigo de La Salada.

Identificación e interpretación de Diatomeas

Para el análisis de diatomeas del testigo de La Salada se prepararon 31 muestras de las cuales 19 (ver en diagrama de la Fig. V-31 localización de zonas sin diatomeas) presentaron diatomeas las que fueron contadas con un mínimo de 400 valvas. Se reconocieron un total de 30 géneros y 48 especies. Entre los géneros más representados se destacan *Cyclotella*, *Amphora*, *Mastogloia*, *Cocconeis*, *Pseudostaurosira* y *Surirella*. Las diatomeas fueron agrupadas de acuerdo con su hábitat (aerófilas, bentónicas, litorales y plantónicas). El análisis CONISS de todas las muestras analizadas permitió identificar 6 zonas de diatomeas (Fig. V-31). Se identificaron dos zonas sin diatomeas, posiblemente debido a problemas de preservación, entre los 50-65 cm y los 112-132 cm. El listado completo de especies y sus preferencias ecológicas se encuentra en el Anexo 1. En la Figura V-31 se presenta el diagrama simplificado con las especies dominantes, la versión completa con todas las especies identificadas en una proporción mayor al 2 % puede observarse en el Anexo 2.

Zona 1 (132,5-150 cm; ~3956-5750 años cal. AP): En esta zona los recuentos no alcanzaron las 400 valvas, siendo de 229 y 140 valvas las localizadas próximas al techo de la zona, mientras que las cercanas al piso no superaron las 40 valvas. En las muestras con mayor abundancia de diatomeas el ensamble estuvo dominado por las especies planctónicas que incluyen *Cyclotella choctawhatcheana* (9,9-29,9 %), *Cyclotella sp.* (11,3-16,7 %), Las especies litorales estuvieron representadas por *Cyclotella meneghiniana* (13,5-20,1 %), *Pseudostaurosira brevistriata* (0,9-1,4 %), *Melosira varians* (0,7-2,1 %). En tanto que entre las especies bentónicas se encontraron *Amphora copulata* (2,1-29,8 %), *Cocconeis placentula* (1,4-4,7 %), *Craticula pampeana* (0,4-3,5 %), *Nitzschia compressa* (1,4-3,4 %). Las aerófilas incluyen a *Luticola mutica* (2,6-5,0 %) y *Hantzschia amphioxys* (0,9-4,3 %).

Zona 2 (112,5-132,5 cm; ~2594-3956 años cal. AP): El registro de diatomeas fue escaso. Las especies registradas incluyen *A. copulata*, *Surirella striatula*, *Navicula cryptotenella* y *C. meneghiniana*.

Zona 3 (67,5-112,5 cm; ~1256-2594 años cal. AP): Las diatomeas bentónicas fueron predominantes en esta zona. Es importante destacar que a los 109,5 cm solo se registraron 199 valvas no alcanzando los 400 conteos. Las especies bentónicas fueron dominantes entre ellas se encuentran *A. copulata* (6,4-88 %), *C. placentula* (0,0-19,5 %), *Campylodiscus clypeus* (0-16,3 %), *Mastogloia elliptica* (0,0-9,8 %), *S. striatula* (0,0-11,9 %), *N. compressa* (0,0-24%), *Tabularia fasciculata* (0-7,7 %). Las especies litorales estuvieron representadas por *C. meneghiniana* (0,7-65,4 %), *Navicula vulpina* (0,2-14,6 %),

Nitzschia cf. communis (0,0-1,8 %) y *P. brevistriata* (0,0-1,8%). En tanto que entre las especies aerófilas se encontró a *L. mutica* (0,0-7,0 %) y *H. amphioxys* (0,0 -4,3 %). Las especies planctónicas estuvieron escasamente representadas, principalmente por *C. cf. muelleri* (0,0-8,8 %) y *Fragilaria nanana* (0,0-1,4 %).

Zona 4 (52,5-67,5 cm; ~1111-1256 años cal. AP): El registro de diatomeas fue escaso, con conteos que no superaron las 30 valvas. Las especies registradas incluyen *C. meneghiniana*, *P. brevistriata*, *M. varians*, *C. choctawhatcheeana*, *P. borealis*, *A. copulata*, *Luticula mutica* y *H. amphioxys*.

Zona 5 (27,5-52,5 cm; ~725-1111 años cal. AP): En esta zona las especies planctónicas y litorales son predominantes. Las planctónicas están representadas por *C. choctawhatcheeana* (23,6-50,6 %), *Cyclotella sp.* (0,5-15,2 %) y *Chaetoceros cf. muelleri* (0,7-2,0 %). En tanto que las especies litorales incluyen a *C. meneghiniana* (9,8-30,4 %), *M. varians* (0,9-12,0 %) y *P. brevistriata* (1,6-2,4 %). Las especies bentónicas están representadas por *A. copulata* (0,0-4,8 %), *C. placentula* (3,7-7,9 %) y *Achnanthes brevipes* (0-5,8 %). Entre las especies aerófilas se reconoció *H. amphioxys* (0- 4,3 %)

Zona 6 (0-27,5 cm; ~0-725 años cal. AP): En esta zona se diferencian dos subzonas, la subzona 6a (0-7,5 cm; 0-193 años cal. AP) y la subzona 6b (7,5-27,5 cm; 193-725 años AP).

En la subzona 6a predominan las especies planctónicas y litorales. Entre las primeras se destacan *C. choctawhatcheeana* (17,5-46,8 %) y *C. cf. muelleri* (2,1-3,3 %), mientras que las especies litorales está representada por *M. varians* (2,6-3,7 %). Las especies bentónicas registradas incluyen *Mastogloia pumila* (23,7-39,0 %), *Gyrosigma acuminatum* (3,1-4,7 %), *A. brevipes* (6,8-12,5 %) y *C. placentula* (6,4-7,7 %). Las especies aerófilas estuvieron escasamente representadas por *Achnanthes cf. exigua* (0,2-0,9 %).

En la subzona 6b predominan *C. choctawhatcheeana* (21,7-74,8 %) y *C. cf. muelleri* (0,7-1,7 %) entre las especies planctónicas, mientras que las especies litorales incluyen *M. varians* (0,2-16,9 %) y *P. brevistriata* (0,0-11,9 %). Las especies bentónicas estuvieron representadas por *C. placentula* (3,9-9,2 %), *G. acuminatum* (0,2-7,2 %), *N.compressa* (0,7-7,8 %), *Opephora cf. pacífica* (0,5-7,2 %), *Rhopalodia musculus* (0,2-8,3 %) y *S. striatula* (0,2-0,6 %). Además, se observaron especies de hábitat aerófilas como *A. cf. exigua* (0-1,2 %), *H. amphioxys* (0,0-0,8 %).

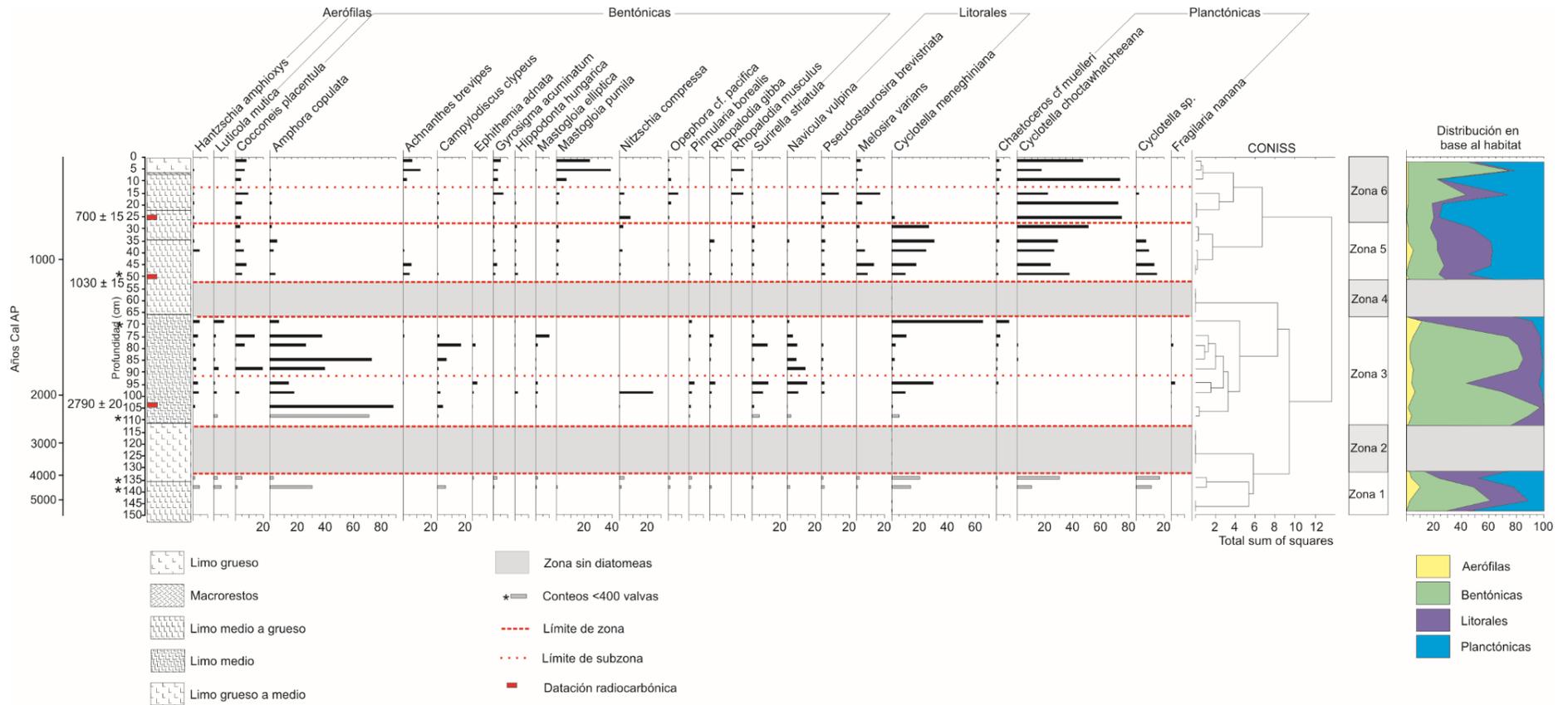


Figura V-31: Diagrama de distribución de diatomeas con análisis CONISS, zonación de diatomeas y diagrama de distribución en base al habitat.

Clasificación de las diatomeas de acuerdo al gremio ecológico

En cuanto a los gremios ecológicos se observa que entre los 130-140 cm predomina el GP en un 60 % seguido por el GM y GPB los cuales se encuentran en proporciones próximas al 20 %, el GPA, estuvo escasamente representado con menos del 5 % (Fig. V-32). Entre los 65-110 cm, predominan el GM y GPB, los mismo presentan fluctuación a lo largo del registro con una relación opuesta, cuando uno de los miembros disminuye el otro aumenta. El GP muestra una tendencia general creciente hacia el techo de la zona con dos picos máximos a los 70 y 95 cm, que se corresponden con una importante disminución en el GPB. En esta zona el GPA continúa escasamente representado teniendo dos picos, en un porcentaje menor al 10 %, que se asocian con incrementos en el GM. Entre los 20-50 cm se distingue una predominancia del GP en un 80 %, mientras que los restantes gremios muestran una fuerte reducción. Es de destacar un pico a los 45 cm del GPA que alcanza un porcentaje del 20 %, uno de los mayores registrados por este gremio a lo largo del testigo. Finalmente, entre los 0 y 20 cm la relación entre los gremios se vuelve fluctuante siendo los más representativos los GP, GPA y GM. Se observa en general que los picos del GP coinciden con los menores porcentajes de los GPA y GM, lo mismo se da a la inversa. El GPB, en tanto, no presentó variación respecto de la zona anterior encontrándose por debajo del 10 %.

Identificación e interpretación de Fitólitos y Relación Diatomeas/ Fitólitos.

La distribución de los porcentajes de fitólitos en relación con diatomeas mostró una alta variabilidad. Desde la base a techo se reconoce entre los 110 a 150 cm una predominancia de fitólitos por sobre diatomeas, siendo el porcentaje de fitólitos superior al 80 % (Fig. V-32). El alto porcentaje en la zona sin diatomeas está asociado también con una importante disminución de los conteos absolutos de fitólitos; sin embargo, desde los 135 cm hasta la base del testigo se registran valores absolutos altos de fitólitos (entre 209-378 individuos). Entre los 65-70 cm el porcentaje de diatomeas incrementa en relación al de fitólitos, estando en una proporción de 60:40. Los valores de fitólitos incrementan hacia el techo y la base de la zona, limitado en ambos por zonas sin diatomeas. Entre los 39-65 cm nuevamente incrementa la proporción de fitólitos, si bien esta favorecida por la escasa representación de diatomeas, en esta zona se registró los mayores conteos absolutos de fitólitos. Finalmente, entre los 0-39 cm incrementa nuevamente el porcentaje de diatomeas y disminuye notablemente el porcentaje de fitólitos.

En cuanto a la relación entre diatomeas planctónicas y bentónicas (P: B) se observa que entre los 50- 150 cm la relación es baja con algunos picos de escasa magnitud. Mientras que entre los 20-50 cm la relación tiene una tendencia creciente hacia los 20 cm

alcanzando su valor máximo a esta profundidad. Finalmente entre los 0-20 cm la relación P:B muestra un patrón oscilante entre baja y alta relación.

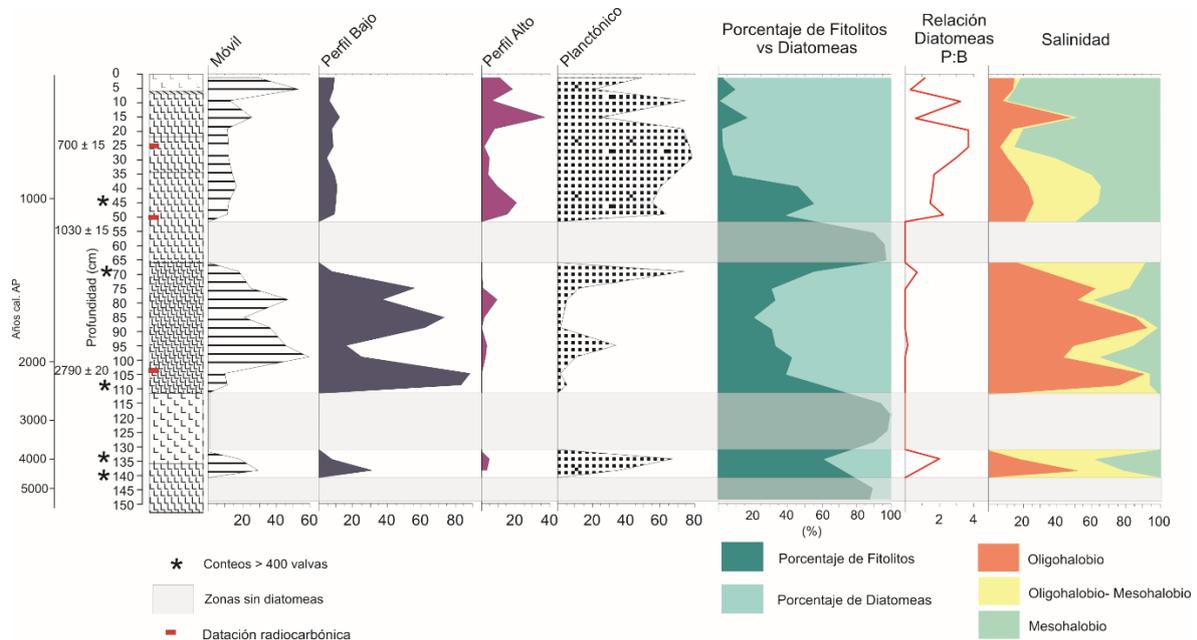


Figura V-32: Diagrama de representación de la litología con las variaciones porcentuales de fitolitos y diatomeas, relación entre diatomeas planctónicas y bentónicas, representación porcentual de los cuatro gremios ecológicos (Perfil alto, perfil bajo, móvil y planctónico) y variación en salinidad en base a diatomeas.

Durante la determinación de diatomeas se detectaron de quistes de crisófitas y espículas de esponjas. Se encontraron concentraciones de quistes entre los 65-110 cm con una tendencia general creciente desde la base al techo del intervalo. Además se observó una disminución a conteos próximos a cero en las zonas sin diatomeas. Entre los 35-55 cm se aparecen nuevamente incrementando hacia el techo en donde disminuye bruscamente. Entre los 20-35 cm los conteos permanecen bajos y constantes, mientras que a partir de los 20 hacia el tope del testigo se observa un patrón creciente. En cuanto a las espículas de esponjas mostraron bajas concentraciones estando localizados los máximos conteos entre los 75 y 120 cm incrementando de base a techo con una brusca disminución a los 75 cm. Por encima, entre los 35 y 75 cm vuelve a incrementar el conteo de espículas pero en menor proporción que en el segmento anterior y con menores variaciones. Por encima de los 35 cm y hasta el tope del testigo los conteos fueron nulos.

En base a la preferencia de salinidad de los ensamble de diatomeas se identificaron tres zonas. La primera localizada entre los 130 y 140 cm se caracteriza por una

predominancia de diatomeas de preferencia Oligohalobia a Oligohalobia- Mesohalobia. En la segunda, de 70 a 110 cm, predominan las de preferencia Oligohalobia. Mientras que en la tercera, de 0-50 cm, se observa un prevalecen las diatomeas mesohalobia, en especial, hacia el techo de la zona.

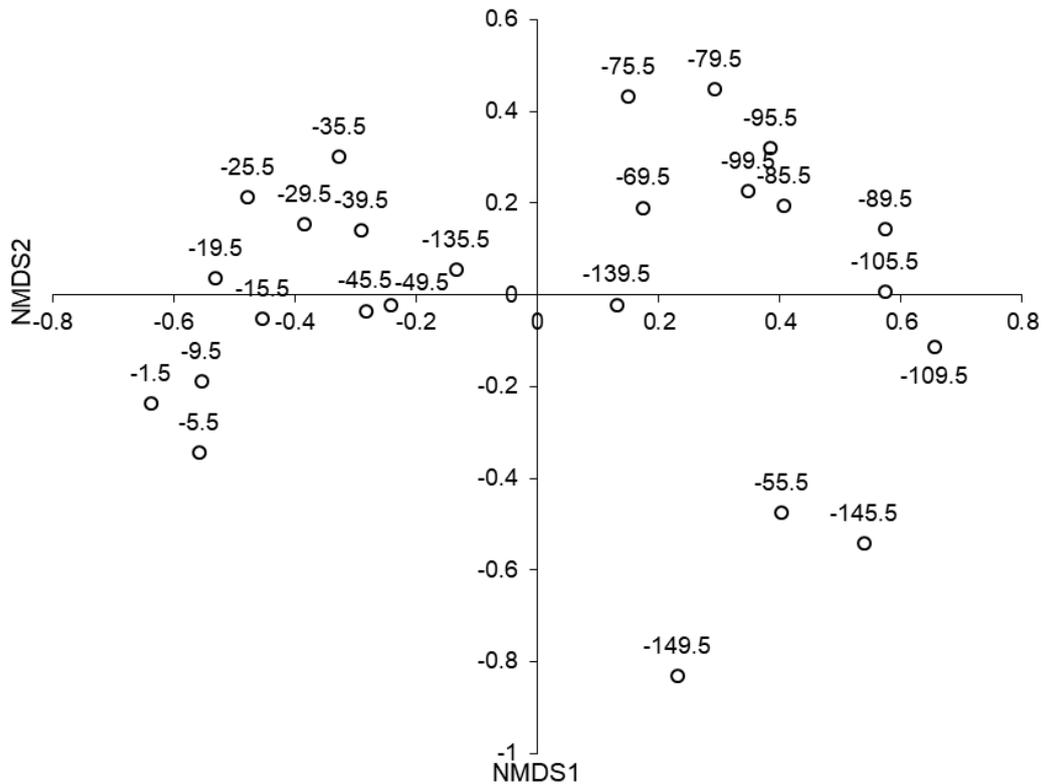


Figura V-33: Diagrama de variabilidad de las muestras en los ejes 1 y 2 del análisis de NMDS del testigo de La Salada.

Análisis Estadísticos

Se realizó un análisis de Escalamiento Multidimensional No Métrico para ordenar las muestras reduciéndolas a un espacio de dimensiones reducidas. Para el análisis se utilizaron los conteos de las muestras que tuviesen más de 20 valvas. Adicionalmente se incorporaron al análisis los porcentajes de los distintos gremios ecológicos, la granulometría, conteo de fitolitos, conteo de quistes de crisófito y espículas de esponjas. El análisis realizado presentó un estrés de 0,12 pudiendo resolverse en dos dimensiones. De acuerdo con la distribución de las muestras se distinguen tres agrupamientos de las muestras (Fig.V-33), las muestras entre 0-50cm se agruparon en el cuarto cuadrante (negativos de NMDS1 y positivos de NMDS2), la muestra de los 135,5 cm presentó similitud con las características de las muestras de esta zona. Una segunda agrupación

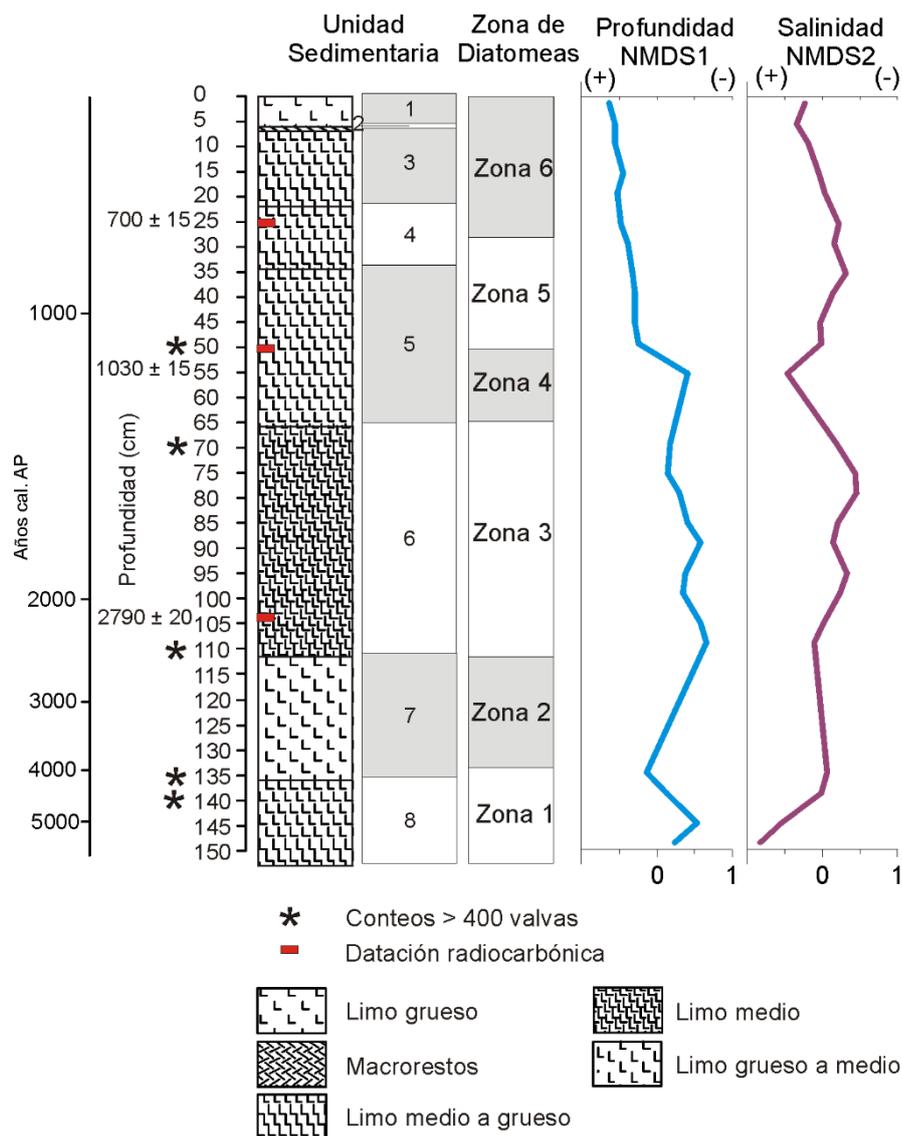


Figura V-35: Variaciones en el Nivel de la laguna (NMDS1) y Salinidad (NMDS3) a lo largo del testigo.

De la representación de los puntajes de las muestras en cada uno de los ejes, se obtuvo la variación de la profundidad y salinidad a lo largo del testigo (Fig.V-35). Se reconoce entre los 110-150 cm un incremento en los niveles de la laguna y disminución de la salinidad desde los 150 a los 135 cm, posteriormente desde los 135 cm hasta los 110 cm un quiebre en las curvas indica disminución de los niveles e incremento en la salinidad. Entre los 75 y 110 cm ambos parámetros presentan patrón oscilante con una tendencia general a incremento de los niveles y disminución de la salinidad. Posteriormente, por encima de los 75 cm y hasta los 55 cm se observa una caída de los niveles de la laguna con incremento en la salinidad. Finalmente, entre los 0-55 cm, hay una tendencia a

profundización de la laguna con un estadio inicial en el que la salinidad disminuye hasta los 35 cm aproximadamente y posteriormente comienza a incrementar.

Interpretación paleoambiental

Litología

De acuerdo con la interpretación de las unidades sedimentarias definidas previamente se puede interpretar varios ambientes sedimentarios que reflejan cambios en las condiciones paleolimnológicas. En la Figura V-36 se representan los ambientes definidos correspondiente a cada una de las unidades sedimentarias identificadas.

Ambiente sedimentario 1 (111,5-150 cm; ~2542-5750 años cal. AP): Incluye a las unidades 7 y 8 (Tabla V-7). El alto contenido de materia orgánica, la significativa bioturbación y su coloración se interpretan como un ambiente de pantano.

Ambiente sedimentario 2 (65-111,5 cm; ~1240-2542 años cal. AP): Incluye la unidad 6 (Tabla V-7). Los moteados sugieren un ambiente que ha estado sometido a fluctuaciones de agua provocando oxidación y reducción de hierro (Freytet y Verrecchia, 2002). En base a ello se interpreta una laguna somera efímera.

Ambiente sedimentario 3 (35-65 cm; ~875-1240 años cal. AP): Incluye a la unidad 5 (Tabla V-7). El color oscuro del sedimento sumado al mayor contenido de materia orgánica y ausencia de bioturbación sugieren un mayor nivel de la laguna. La presencia de yeso sugiere supersaturación en sales. La existencia de granos de yeso prismático son indicadores de formación *in situ* y en fase de agua profunda (Valero-Garcés y Moreno, 2014). Pequeños cristales prismáticos de yeso pueden precipitar dentro de la columna de agua en soluciones supersaturadas (Cohen, 2003). Dangavs y Blasi (1992) indican que en la precipitación intrasedimentaria de yeso, a partir de agua subterránea puede ocurrir sin altas concentraciones salinas, siempre que exista fuerte evaporación y aguas ricas en SO_4^- y Ca y relativamente pobres en ClNa y HCO_3^- . La presencia de yeso intrasedimentario en sedimento lacustre ha sido reconocido en otras lagunas de la región pampeana, el origen lo asignan a la interacción de aguas superficiales y subterráneas, esta última de tipo sulfatada, en cuencas cerradas sometidas a intensa evaporación durante las etapas de aridez durante el Holoceno (Dangavs y Blasi, 1992, 2002). Es posible que el incremento de los niveles de la laguna este asociado con un aporte freático, el cual podría estar enriquecido en sulfatos. La mayor concentración de sulfatos dentro de la laguna por procesos de evaporación daría lugar a la supersaturación y precipitación de yeso. Por lo tanto se infiere un ambiente lagunar permanente con aporte freático altamente salino.

Ambiente sedimentario 4 (0-35 cm; ~0-875 años cal. AP): Incluye las unidades 1, 2, 3 y 4. Limo medio a grueso color pardo verdoso a gris oscuro con abundante presencia de macrófitas concentradas en láminas y gastrópodos, posiblemente *H. cf. parchapii*, alto contenido en materia orgánica y estructura masiva con evidencias de bioturbación en especial hacia la base. La presencia de restos macrófitas y gastrópodos sugiere condiciones de buena penetración de la luz que posibilita realizar fotosíntesis. El color verdoso a gris oscuro sugiere un ambiente relativamente profundo. Por lo tanto, se infiere un ambiente lagunar estable de aguas claras.

Diatomeas

El análisis de la asociación de diatomeas permitió reconstruir las variaciones de la laguna La Salada desde el Holoceno medio. Los cambios en las asociaciones de diatomeas reflejan cambios milenarios a centenarios.

Zona 1 (132,5-150 cm; ~3956-5750 años cal. AP): Las dos muestras con mayor contenido de diatomeas en esta zona posee características intermedias de dos de las zonas más significativas, zona 2 y zona 4, caracterizada por una dominancia de *C. meneghiniana*, *C. choctawhatcheeana* y *A. copulata*, las especies dominantes en dichas zonas. Debido a los escasos conteos de diatomeas, con una importante proporción de fitolitos y la gran variabilidad entre las dos muestras analizadas hacen que las mismas no sean consideradas en la interpretación ya que poseen fuertes indicios de haber sido afectada su distribución por bioturbación.

Zona 2 (112,5-132,5 cm; ~2594- 3956 años cal. AP): En esta zona los conteos de diatomeas fueron escasos o nulos. Las muestras analizadas en estos intervalos presentaron diatomeas fracturadas y alta proporción de clásticos. Posiblemente la fracturación de las valvas producto de una mayor turbulencia puede haber favorecido la disolución de las valvas (Ryves, 2006). Otra posible causa de la falta de diatomeas puede estar asociada con el pastoreo por organismos bentónicos, esto es consistente con la existencia de bioturbación en esta unidad.

Zona 3 (67,5-112,5 cm; ~1256-2594 años cal. AP): Las especies dominantes en esta zona *A. copulata*, *C. placentula*, *C. clypeus* y *N. vulpina*. *A. copulata* y *C. placentula* han sido reconocidas en ambientes acuáticos generalmente asociadas al perifiton con tolerancia en ambientes temporarios y subaéreos húmedos. Mientras que *N. vulpina* y *C. clypeus* son exclusivamente acuáticos (Denys 1991; Moro y Fürstenberger, 1997). A lo largo de esta zona también se registraron diatomeas de preferencia aerófilas como *H. amphyoxis* y *L. mutica*. Esta composición sugiere ambientes de laguna temporaria, con períodos de desecación y fases húmedas con niveles de agua bajos, como lo sugiere la

mayor presencia de diatomeas bentónicas. De acuerdo a la ecología de las diatomeas dominantes se infiere además un ambiente de laguna temporaria, alcalina, dulce a salina y nivel trófico de mesoeutrófico a eutrófico.

Zona 4 (52,5-67,5 cm; ~1111- 1256 años cal. AP): En esta zona las diatomeas estuvieron escasamente representada con conteos inferiores a 32 valvas. La ausencia de diatomeas posiblemente responda a problemas de preservación. La unidad 5 dentro de la cual se extrajeron las muestras (45,5 y 55,5 cm) presentó láminas claras con granulometría de arena muy fina y presencia de yeso además presentaron abundante material detrítico muy fino. Ryves et al. (2006) considera que los perfiles de disolución pueden utilizarse para interpretar los cambios limnológicos en el proceso de sedimentación y considera que en sistemas salinos la disolución de las diatomeas se ve favorecida por el aumento de la salinidad (y la alcalinidad), a su vez el fracturamiento de las diatomeas en tales condiciones favorece la disolución.

Zona 5 (27,5-52,5 cm; ~725-1111 años cal. AP): En esta zona representada en su mayoría por especies planctónicas y litorales. *C. choctawhatcheeana* continúa siendo dominante, no obstante, la aparición de *C. meneghiniana*, ausente en la zona anterior marca un cambio ecológico significativo. Las especies bentónicas se encuentran reducidas siendo *C. placentula* la más abundante. *P. brevistriata* y *M. varians* son comunes en ambientes con baja salinidad, además estas especies junto con *C. meneghiniana* habitan en condiciones medias a altas de nutrientes (van Dam, 1994). Por otro lado *C. meneghiniana* y *P. brevistriata* son favorecidas por condiciones de alta turbidez (van Dam, 1994). *C. choctawhatcheeana* se ha registrado en altas concentraciones en zonas de metalimneon con alto contenido de nutrientes y baja luminosidad (Oliva et al., 2008). La baja proporción de diatomeas bentónicas también sugieren una limitación de luz. En base a lo anterior se infiere una laguna permanente con niveles altos, agua dulce a salina, mesotrófico-eutrófico con bajas condiciones de iluminación.

Zona 6 (0-27,5 cm; ~0-725 años cal. AP): En esta zona predominan las especies planctónicas representadas en su mayoría por *C. choctawhatcheeana* y *C. cf. muelleri* y especies bentónicas como *C. placentula*, *G. acumdatum*, *O. pacífica* entre otras. En base a las diatomeas dominantes se observa un cambio dentro de esta zona a los 10 cm, el cual por las diatomeas presentes se asocia a variación en la salinidad. En la subzona 6b (193-725 años AP) predominan especies comunes en agua dulce como *M. varians* (óptimo de salinidad >1) y *P. brevistriata* (óptimo 7) (Hassan, 2010). Mientras que la zona 6a (0-193 años cal. AP) predominan especies de preferencia salobre como *M. pumila* (óptimo 12), *A. brevipes* (9-38) y *G. acumdatum* (Hassan, 2010; Stenger-Kovács et al., 2013). La alta

proporción de especies bentónicas con altos niveles de la laguna sugieren buena penetración de la luz, en particular el desarrollo de especies comunes en el perifiton como *C. placentula*, *M. pumila* y *G. acummatum* (Moro y Fürstenberger, 1997; Hassan, 2010; Sabanci, 2013; Rojas y Hassan, 2017) sugieren la presencia de macrófitas en el fondo. En cuanto a los nutrientes *C. choctawhatcheeana* se encuentra comúnmente tanto en lagos oligotróficos como con altos contenidos de nutrientes (Prasad y Nienow, 2006; Oliva et al., 2008). *M. pumila* ha sido encontrada en ambientes con alta salinidad y bajo contenido en nutrientes, en tanto que *A. brevipes* ha sido registrado en ambientes mesotróficos y con bajo contenido de nutrientes (Moro y Fürstenberger, 1997; Blinn y Bailey 2001; Della Bella et al., 2007).). En base a las preferencias de las especies dominantes se infiere una laguna permanente de agua clara, alcalina, con bajo contenido de nutrientes, posible desarrollo de macrófitas en el fondo. Dentro de este ambiente se diferencia una condición dulce a salina en la subzona 6b (193-725 años AP) que pasa a salina a hipersalina en la subzona 6a (0-193 años cal. AP).

Reconstrucción Paleoambiental y Paleoclimática

El testigo extraído en la laguna La Salada incluye las variaciones de la laguna desde el Holoceno medio-tardío hasta la actualidad. De acuerdo a los estudios realizados se pueden reconocer al menos 4 períodos en su evolución que representan cambios centenarios a milenarios (Fig. V-36).

Período 1 (111,5-150 cm; ~2542-4000 años cal. AP): Se interpretó un ambiente pantanoso caracterizado por un alto contenido de materia orgánica e importante bioturbación. La preservación de diatomeas en las dos zonas involucradas fue mala. La gran proporción de fitolitos refuerza un ambiente de escasa extensión con importante desarrollo de gramíneas en los alrededores.

Período 2 (65-111,5 cm; ~1240-2542 años cal. AP): Se interpretó en base a litología y diatomeas un ambiente lagunar efímero alcalino, de agua dulce a salino y nivel trófico de mesoeutrófico a eutrófico. Las estimaciones de salinidad son coincidentes además con el registro de espículas de esponjas y quistes de crisófitas ya que de acuerdo con Cumming et al. (1993) las esponjas pueden ser usadas para diferenciar el límite entre agua dulce y subsalina (0,5- 3 g/l); altas proporciones de ambos indicadores en relación con diatomeas son comúnmente encontradas en agua dulce. En esta zona los gremios ecológicos mostraron una amplia variación estando dominado por el GPB y el GM. El GPB conformado por especies fuertemente adheridas a las plantas o sedimento son resistentes a altas velocidades de flujo, disturbancia física y resistencia al pastoreo (Passy, 2007; Gottschalk y Kahlert, 2012), por lo que indicarían condiciones temporarias de mayor perturbación. De

acuerdo con Tapolczai et al. (2016), el GPB es más resistente a la perturbación definida como un evento estocástico, impredecible que interfiere con el desarrollo de la comunidad hacia un clímax ecológico (Reynolds et al., 1993). La disminución del GPB se contrapone, en esta zona, con el incremento del GM. Este último ha sido asociado a condiciones de estrés extrema (alto pH, alta salinidad, turbidez inorgánica, fluctuaciones de agua, alta variación de la temperatura diaria) por su habilidad para movilizarse hacia condiciones más favorables (Stenger-Kovács et al., 2014). Una condición de estrés implica, entonces, una presión actuando continuamente en el ambiente físico limitando la tasa de crecimiento, la utilización de recursos o la reproducción de los organismos (Grime, 1989). La relación de los picos del GM con mayor proporción de *S. striatula*, *M. elliptica* y *N. compressa* sugiere que el factor de estrés podría ser la salinidad. El GP está mayormente representado por *C. meneghiniana* mostrando dos picos a los 95 y 75 cm; sin embargo, por su escaso desarrollo a lo largo de la zona se consideran como eventos puntuales. Asimismo, como se mencionó previamente el alto porcentaje de *C. meneghiniana* a los 95 cm se sospecha que posee una sobrerrepresentación asociado a la disolución. En cuanto a los ejes del PCA muestran un patrón variable en la salinidad y nivel de la laguna, estando los picos de menor nivel de la laguna asociado con picos de GPB, mayor disturbancia, y los picos de menor salinidad y mayor nivel de la laguna con los de GM.

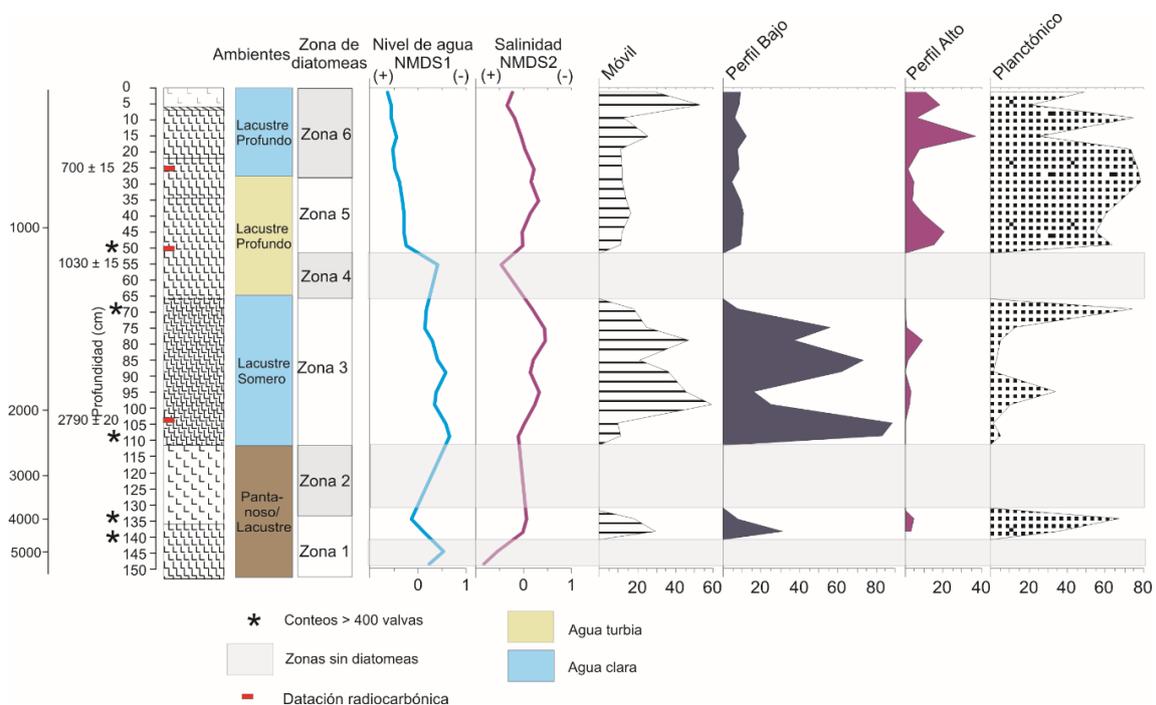


Figura V-36: Diagrama integrado de la laguna de Puan. En él se muestra litología, Ambientes, zonación de diatomeas, variaciones en salinidad (NMDS1) y nivel de la laguna (NMDS2) y distribución de los gremios ecológicos (GPA, GPB, GM y GP)

Período 3 (27,5-65 cm; ~725-1240 años cal. AP): Se reconoció un ambiente lagunar permanente con aporte freático sulfatado. En los inicios de este estadio no se registraron diatomeas lo cual se asocia a problemas de preservación. Se ha reconocido que en lagos poco profundos y salinos de zonas semiáridas, sometidos a eventos de desecación, puede producirse la destrucción de las diatomeas durante la precipitación de las sales (Flower, 1993; Reed, 1998; Ryves et al., 2006). En ambientes similares la precipitación de yeso a partir de una solución supersaturada puede estar asociada con la generación de minerales autigénicos ya que los altos pH junto con la disponibilidad de sílice provenientes de vidrio volcánicos, arcillas y diatomeas de pequeño tamaño propician su desarrollo (Hay, 1966; Sheppard y Gude, 1968; Cohen, 2003). Esto último podría estar relacionado con la mayor proporción de finos registrada en las muestras analizadas a microscopio de la zona 4. Además de la ausencia de registro de diatomeas en la zona 4 y al inicio de la zona 5 se reconoce, en esta última, un cambio significativo en la ecología de las diatomeas mostrando una predominancia de las especies planctónicas. Los gremios ecológicos muestran claramente este cambio ya que predomina el GP, en tanto que los restantes gremios se encuentran en menores proporciones. El GPA, que en las unidades anteriores presentaba escasa representación esta mejor expresado en esta zona. Este gremio suele asociarse a condiciones de baja iluminación y alto contenido de nutrientes (Passy, 2007; Leira et al., 2013). Esto fue sugerido previamente para la zona 5 de diatomeas de acuerdo con la ecología de las especies dominantes. Los ejes que representan salinidad y nivel de la laguna muestran una caída del nivel e incremento en la salinidad en la base, si bien podría estar forzado por la ausencia de registro de diatomeas, guarda relación con la existencia de yeso intrasedimentario originado por una fuerte evaporación en cuencas cerradas en donde se produce la interacción de aguas subterráneas y superficiales (Dangavs y Blasi, 1992, 2002). Por encima de esta zona la tendencia es a un incremento de los niveles con disminución de la salinidad. Se infiere entonces una laguna permanente con niveles altos, favorecida por el aporte de agua subterránea, sometida a intensa evaporación en sus estadios iniciales que determinaron condiciones de agua dulce a salina, mesotrófico- eutrófico con bajas condiciones de iluminación. Las condiciones de baja a moderada salinidad también son sugeridas por la presencia de espículas de esponjas y quistes

Período 4 (0-27,5 cm; ~0-725 años cal. AP): Durante este período primó un ambiente lagunar estable de aguas claras caracterizado por abundante presencia de macrófitas, concentradas en láminas, y gastrópodos, posiblemente *H. parchapii*, y alto contenido en materia orgánica. Se reconoce un cambio importante alrededor de los 193 años cal. AP en donde las diatomeas dominantes indican bajo contenido de nutrientes y

separan una zona con salinidad de oligo-mesohalobia (193-725 años AP) a mesohalobia a hiperhalobia (0-193 años cal. AP). Los gremios ecológicos muestran una predominancia del GP por sobre los restantes hasta los ca. 500 años cal. AP, dominado por *C. choctawhatcheeana* comúnmente encontrada tanto en lagos oligotróficos como con altos contenidos de nutrientes (Oliva et al., 2008; Prasad y Nienow, 2006) y en ambiente con variada salinidad, con un rango de tolerancia entre 5,14 a 79,8 (Oliva et al., 2008). Después de los 500 años cal. AP los gremios ecológicos presentan una importante variación estando conformado por proporciones variables de los GPA, GM y GP. La presencia del GPA y GM con tendencia creciente desde los 500 años AP en contraposición a la disminución del gremio planctónico, evidencia una caída en el nivel de la laguna. La predominancia del GPA por sobre el GM puede explicarse porque el primero se ve favorecido por la presencia de las macrófitas a la vez que el GM se encuentra controlado por la existencia de un fondo inestable (Leira et al., 2015). Posteriormente, ca. 258 años cal. AP se incrementan los niveles de la laguna representado por el dominio del GP por sobre los restantes. Luego, el GP vuelve a disminuir equilibrándose con el GM, este último se encuentra mayormente representado por *M. pumila* especies de preferencia salobre (óptimo 12) (Hassan, 2010; Stenger-Kovács et al., 2013). Las condiciones de estrés como alta salinidad y fluctuaciones de agua favorecen el desarrollo del GM (Stenger-Kovács et al., 2013). Los ejes de salinidad y nivel de la laguna muestran una tendencia creciente para ambos parámetros mostrando una importante concentración de salinidad por evaporación debido a la predominancia de balances hidrológicos negativos (mayor evaporación que precipitación), con niveles relativamente estables, sin completa desecación, debido a su relación con el acuífero freático. La desaparición de las esponjas, así como la marcada disminución de la presencia de quistes son consistente con un incremento de la salinidad. De acuerdo con Cumming et al. (1993) los quistes de crisófitas son raros o ausentes en condiciones de mesosalinas a hipersalinas.

CAPITULO VI

ORIGEN Y EVOLUCIÓN DE LAS LAGUNAS Y SU RELACIÓN CON LOS EVENTOS CLIMÁTICOS REGIONALES Y EL GRADIENTE DE HUMEDAD

En este capítulo se resaltarán los principales hitos en la evolución de las lagunas bajo estudio identificados por medio de las reconstrucciones paleolimnológicas y geomorfológicas, al mismo tiempo que se determinarán cuáles son los principales factores de estrés que determinaron su evolución, en relación con la influencia antrópica y climática. Posteriormente se analizará y discutirá la relación entre la evolución de las lagunas y el origen de las mismas. Se interpretarán las condiciones climáticas predominantes durante cada uno de los períodos registrados y se discutirá su relación con los cambios climáticos regionales. Asimismo se relacionará el registro de las lagunas con las condiciones atmosféricas y las variaciones en el clima sugerido por varios autores durante los distintos eventos climáticos del Pleistoceno tardío-Holoceno hasta la actualidad, en la región Pampeana y Patagonia Norte, para entender cómo los mismos afectaron el gradiente hidrológico de la región.

SÍNTESIS DEL ORIGEN Y EVOLUCIÓN HIDROLÓGICA Y ECOLÓGICA DE LAS LAGUNAS

Origen y evolución de la laguna de Puan

El origen y evolución de la laguna de Puan, que se desprende de los capítulos precedentes (Capítulo IV; Sección Geología y Geomorfología local y Capítulo V; Sección Puan), puede resumirse en 7 hitos fundamentales (Fig. VI-1):

1. Generación de la cubeta, entre Pleistoceno tardío, como consecuencia de la deflación producida por vientos predominantes del O-E durante un período árido que se extendió hasta los 16000 años AP.
2. Protolaguna, ~5870-8600 años cal. AP, una depresión en donde se acumularon depósitos fluviales de drenajes locales retrabajados por el viento.
3. Inundación de la protolaguna, ~3542-5870 años cal AP, la depresión es ocupada por una laguna temporaria somera la cual recibe frecuentes pulsos fluviales. Hacia finales de este período se produce la desecación de la laguna y se desarrollan procesos pedogenéticos.

4. Deseccación de la laguna acumulación de depósitos eólicos entre ~2828-3543 años cal. AP.
5. Restablecimiento de la laguna: entre los ~724-2828 años cal. AP se habría establecido como un sistema somero temporario de aguas claras y de agua dulce a salino incrementado progresivamente su profundidad.
6. Retracción de la laguna, entre los ~448 y 724 años cal. AP la laguna sufrió una fuerte retracción con episodios de exposición subaérea. Se registró en este período condiciones salinas, eutróficas a mesotróficas, alcalinas.
7. Expansión de la laguna, entre ~335-448 años cal. AP, comienzan a incrementarse progresivamente los niveles, con variaciones que provocan exposición subaérea, con condición salina, eutróficas a mesotróficas, alcalinas.
8. Estabilización de la laguna, ~0-335 años cal. AP, se desarrolla una laguna permanente de agua turbia, con condiciones salina a agua dulce, mesotérmicas, eutróficas y alcalinas; mayor turbulencia y turbidez orgánica.

Origen y evolución de la laguna Los Chilenos

El origen y evolución, de la laguna Los Chilenos, se desprende de los capítulos precedentes (Capítulo IV; Sección Geología y Geomorfología local y Capítulo V; Sección Los Chilenos), puede resumirse en 8 hitos fundamentales (Fig. VI-1):

1. Generación de la cubeta en un valle fluvial obsecuente, posteriormente modificado por procesos eólico ocurridos entre los ~3300 y 7800 años cal AP. Luego con el retorno de las condiciones de humedad se habría comenzado a inundar el valle antecedente.
2. Depósitos fluviales provenientes de las Sierras Australes acumulados en la depresión de las lagunas Los Chilenos y el Valle Antecedente entre los ~593-676 años cal. AP.
3. Establecimiento de un sistema lacustre somero/ pantanoso, entre los ~502-593 años cal. AP, sometido a eventos de inundación-deseccación. Los períodos de inundación estarían caracterizados por condiciones salinas, mesotrófica-eutróficas y alcalinas.
4. Profundización de la laguna, entre ~400-502 años cal. AP, con el emplazamiento de una laguna temporaria somera de agua clara, salina, mesotrófica-eutrófica, alcalina.

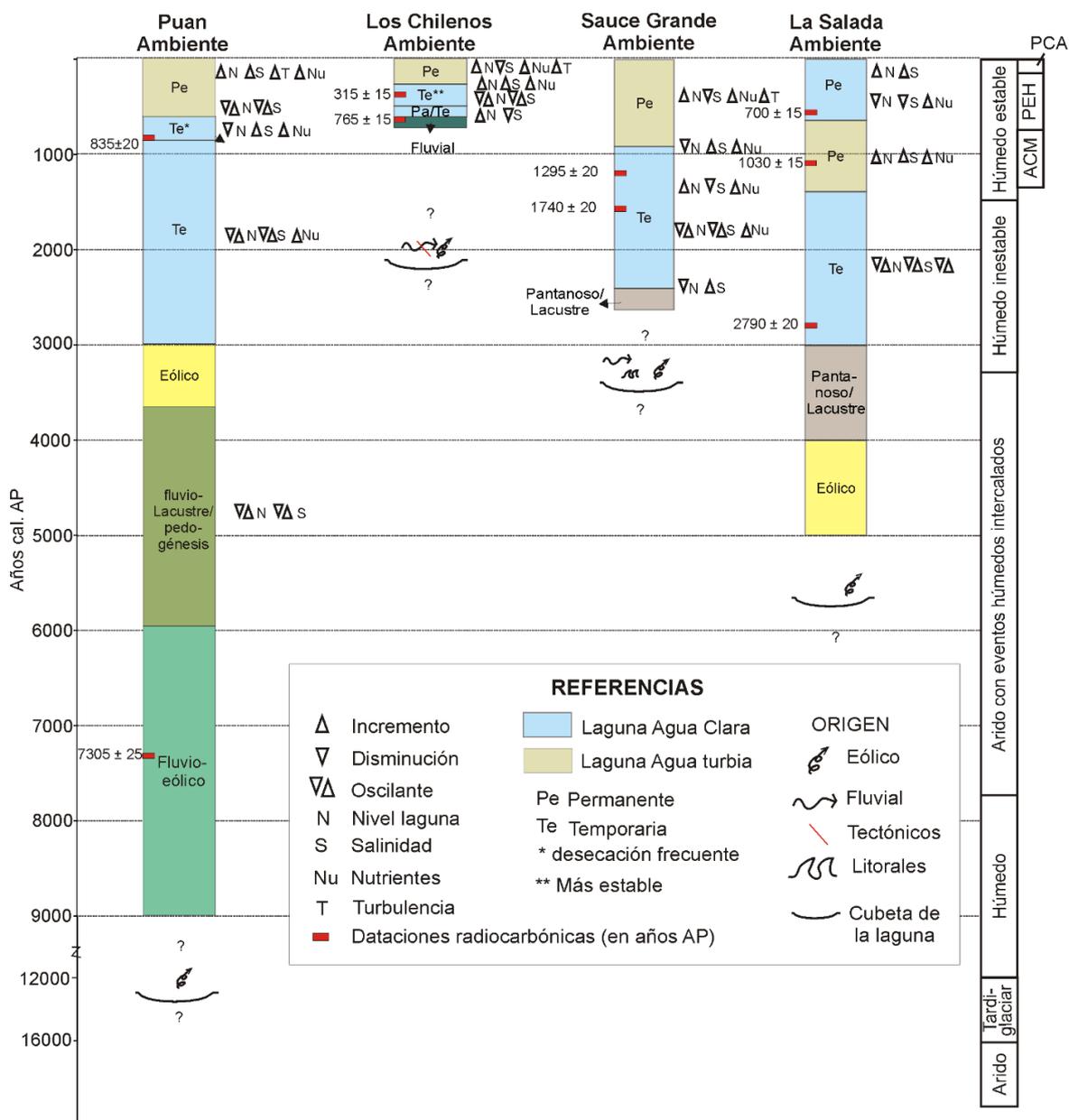


Figura VI-1: Esquema síntesis de la evolución paleoambiental, paleoecológicas y variables físico-químicas de las lagunas de Puan, Los Chilenos, Sauce Grande y La Salada (ubicadas de acuerdo con el gradiente de humedad de mas húmedo (a la izquierda) a más árido (a la derecha) y su relación con los eventos climáticos regionales en base a Schäbitz (2003) y Zech et al. (2009). Período Calido Actual (PCA); PEH: Pequeña Edad de Hielo; ACM: Anomalía Climática Medieval.

5. Establecimiento de régimen permanente, ~300-400 años cal. AP, con una intensificación del estado trófico y una disminución de la salinidad, alcanzándose condiciones eutróficas y de agua dulce.
6. Retracción de la laguna, ~239 a 300 años cal. AP se produce una caída del nivel de agua con incremento en turbidez, salinidad y estado trófico.

7. Expansión de la laguna, entre los ~100-239 años cal. AP, laguna permanente de aguas turbias con incremento del nivel trófico y una disminución de la salinidad y mayor turbulencia.
8. Intensificación de la eutrofización, ~0-100 años cal. AP, se observa una intensificación del estado trófico, turbidez y condiciones de mezcla.

Origen y evolución de la laguna Sauce Grande

El origen y evolución de la laguna Sauce Grande, que se desprende de los capítulos precedentes (Capítulo IV; Sección Geología y Geomorfología local y Capítulo V; Sección Sauce Grande), puede resumirse en 5 hitos fundamentales (Fig. VI-1):

1. Desvío y encerramiento de la desembocadura del río Sauce Grande por médanos costeros alrededor de los 3000 años cal. AP.
2. Establecimiento de un ambiente pantanoso/lacustre somero, ~2430-2661 años cal. AP, de escasa profundidad, alto contenido de materia orgánica con incremento de la salinidad hacia finales de este período.
3. Expansión de la laguna, ~903-2430 años cal. AP, laguna temporaria de agua clara sometida a frecuentes variaciones de nivel y características fisicoquímicas, fondo ocupado por macrófitas, condiciones mesotróficas a eutróficas, con una tendencia a disminuir la salinidad predominando condiciones de agua dulce.
4. Establecimiento de régimen permanente, ~0-903 años cal. AP, laguna somera y turbia, con incremento en los niveles en relación al período anterior y características salina y eutrófica.
5. Intensificación de la eutrofización, 0~100 años cal. AP, alcanzando condiciones hipertróficas, mayor turbidez y turbulencia.

Origen y evolución de la laguna La Salada

El origen y evolución de la laguna La Salada, que se desprende de los capítulos precedentes (Capítulo IV; Sección Geología y Geomorfología local y Capítulo V; Sección La Salada), puede resumirse en 6 hitos fundamentales (Fig. VI-1):

1. Generación de la cubeta, en el Holoceno medio a tardío, a partir de la deflación de los sedimentos aluviales del río Colorado.

2. Establecimiento de un ambiente pantanoso/lacustre somero, ~2542-4000(?) años cal. AP, alto contenido de materia orgánica, significativa bioturbación.
3. Expansión de la laguna, ~1240-2542 años cal. AP, el incremento de los niveles permitió el establecimiento de una laguna temporal con condiciones de agua dulce a salina y nivel trófico de mesoeutrófico a eutrófico, con frecuentes fluctuaciones en el nivel de la laguna y salinidad.
4. Establecimiento del régimen permanente, ~875-1240 años cal. AP, caracterizada por una laguna turbia, de dulce a salina, mesotróficas- eutróficas con bajas condiciones de iluminación.
5. Restablecimiento de condiciones de agua clara entre ~193-725 cal. años AP, laguna permanente de agua clara, alcalina, dulce a salina, con bajo contenido de nutrientes; fluctuaciones en el nivel de agua de la laguna sin desecación, posible desarrollo de macrófitas en el fondo.
6. Incremento en la salinidad, ~0-193 años cal. AP, pasando de salina a hipersalina.

EVOLUCION PALEOECOLÓGICA, FACTORES DE ESTRÉS Y SU RELACIÓN CON EL ORIGEN

En general, el establecimiento de los sistemas lacustres propiamente dicho se registra en el Holoceno medio a tardío. La evolución paleolimnológica de las mismas también guarda cierta similitud iniciándose como lagunas poco profundas temporarias de aguas claras que evolucionan a lagunas permanentes de aguas turbias (Fig. VI-1), siendo los factores de estrés dominantes en estos sistemas las variaciones de nivel, la salinidad, turbidez y estado trófico.

Como se discutió en el capítulo IV, las lagunas presentan una amplia variabilidad en sus características físico-químicas y biológicas a lo largo de períodos húmedos y secos. Sin embargo, dada la baja tasa de sedimentación y la resolución del estudio, estas variaciones quedan enmascaradas por el predominio de condiciones húmedas o secas. Las lagunas pampeanas responden directamente a la alta variabilidad climática anual e interanual y su morfología hace que en condiciones de extrema sequía o intensas precipitaciones se provoquen cambios drásticos en la estructura y el funcionamiento de las lagunas (Quirós et al., 2002). De acuerdo con Quirós et al. (2002), basado en el modelo de estados de equilibrio estables de Scheffer et al. (1993), las lagunas pampeanas han experimentado condiciones de aguas claras y turbias, cuyo estado claro se considera ha sido la condición prístina de la mayoría de las lagunas de la región. Bajo condiciones de aguas turbias, pueden pasar fácilmente a un estado estacionario de aguas claras. Por

ejemplo, dependiendo de las condiciones del sedimento, nutrientes y oxígeno, puede haber recolonización del sustrato por macrófitas, reestableciendo condiciones de aguas claras. Esta situación se ve favorecida durante sequías donde la penetración lumínica es mayor. De la misma manera, en condiciones de agua clara bajo condiciones persistentes de vientos se puede provocar la resuspensión del sedimento, incrementando la turbidez, con la consecuente pérdida de macrófitas (Quirós et al., 2002). Asimismo, el incremento en los nutrientes puede ser otro factor que desencadene la desaparición de las condiciones claras por el incentivo de la producción primaria. En algunos casos los estados de agua clara y turbia se alternan de manera periódica, y en otros se estabilizan por largos períodos de tiempo (Quirós et al., 2002).

El cambio de condiciones claras a turbias en las lagunas estudiadas parece tener cierta asociación con caídas abruptas de los niveles de la laguna que posiblemente desencadenaron la resuspensión del sedimento, y el incremento en nutrientes y salinidad provocando la desaparición de las macrófitas (Fig. VI-2). La Salada presentó una evolución desde agua clara, turbia, a clara nuevamente. El retorno de las condiciones de agua clara, coincide con una tendencia creciente en la salinidad y variaciones en el nivel de la laguna, mostrado por los gremios ecológicos, sin desecación total (Fig. VI-3). Actualmente, la laguna presenta una importante cobertura de carófitas, de preferencia halófila, que impiden la resuspensión del sedimento, al mismo tiempo la alta salinidad impide el desarrollo del fitoplancton (Alfonso et al., 2018). Las especies de *Lamprothamnium* registradas en La Salada tienen preferencia por aguas claras, poco profundas, alcalinas y hiposalinas a mesohalinas pudiendo tolerar condiciones hipersalinas, este tipo de especies han sido reconocidas en el registro fósil de sedimentos Cuaternarios de lagunas de la región pampeana que poseen conexión con el mar o continentales salinos (García, 1993). La ocupación del fondo de las lagunas por las carófitas podría haber estado favorecida por las condiciones de ambiente extremo registrado en la laguna y su ventaja a soportar dichas condiciones. No obstante, dado la complejidad en el comportamiento de estos sistemas es difícil aseverar una causa única. El impacto de las fluctuaciones del nivel de agua sobre los ecosistemas de aguas poco profundas ha sido motivo de sesiones especiales en congresos internacionales, ya que sus efectos son variados y el conocimiento de los mismos continúa siendo escaso (véase Coops et al., 2003, que resume la sesión especial de “water-level fluctuations in shallow lake ecosystems” de la conferencia “Shallow Lakes 2002” en Hungría). Una de las principales conclusiones de este debate es que las comunidades de macrófitas en lagunas de agua clara responden de forma diferencial al hidroperíodo, en donde niveles extremos de agua pueden derivar en una desaparición de

las macrófitas independientemente del nivel trófico y los efectos top-down (Wallsten y Forsgren 1989; Blindow 1992; Beklioglu et al., 2001).

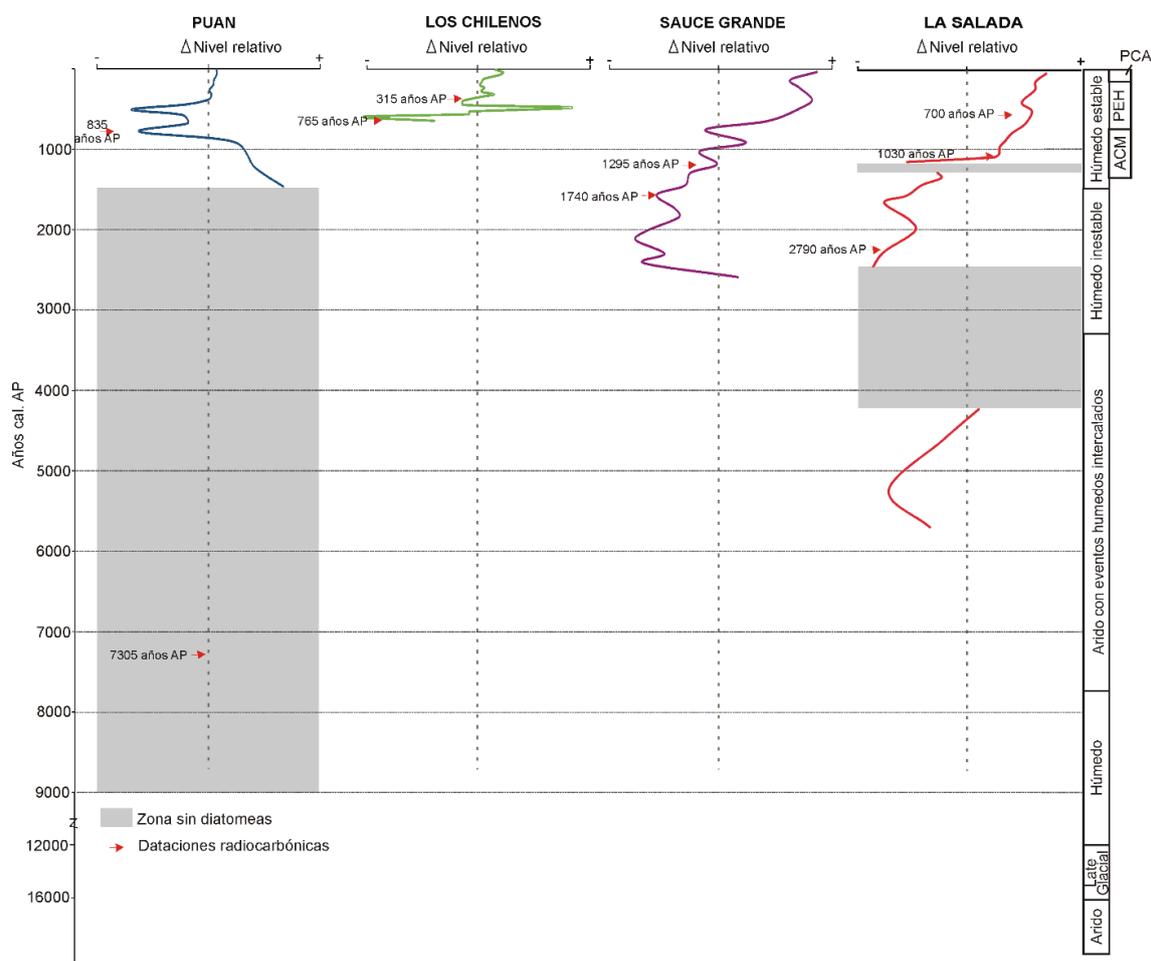


Figura VI-2: Reconstrucción del nivel relativo de las lagunas de Puan, Los Chilenos, Sauce Grande y La Salada basada en los proxies analizados a través de análisis multivariados y su relación con los eventos climáticos regionales en base a Schäbitz (2003) y Zech et al. (2009). PCA: Período Cálido Actual; PEH: Pequeña Edad de Hielo; ACM: Anomalía Climática Medieval.

Estudios actuales en las lagunas pampeanas han registrado el cambio de estado de condiciones de aguas claras a oscuras en períodos de 1 a 7 años (Casco et al., 2009; Sánchez et al., 2014). Sanchez et al. (2014), evocan como una causa probable del cambio, la disminución de los niveles en la laguna El Triunfo e incremento de la salinidad, asociado a la muerte de macrófitas por exposición aérea, lo que conlleva al incremento en los nutrientes, fitoplancton y turbidez. Cano et al. (2008) encuentran que variaciones inusuales en la estacionalidad de las precipitaciones y temperaturas generan cambios en condiciones turbias-claras en tan solo un año en la laguna Lacombe (profundidad máxima 2,5 m). Casco et al. (2009) destacan que dada la morfología plana de esta laguna y un repentino

incremento en la profundidad de la misma puede ocasionar la desaparición de las macrófitas en condiciones de turbidez estables caracterizando una nueva condición de estado claro con dominancia de algas perifíticas.

La evolución de sistemas de agua clara a turbias ha sido reconocida también por Stutz et al. (2012, 2014) para varias lagunas pampeanas localizadas al Este de la provincia de Buenos Aires durante el Holoceno medio y tardío, con un desplazamiento a condiciones turbias con el retorno a condiciones de humedad producto de la ACM. Condiciones de aguas claras predominaron entre ca. 7.000 y ~700-500 años cal AP, que pasan a turbio-claras alrededor de ca. 700-500 años cal. AP. El mantenimiento de las condiciones de agua clara estaría asociado a alternancia de sequías e inundaciones o alta evaporación que permitió el desarrollo de lagunas someras salobres con predominio de chara en el fondo y desarrollo de vegetación halófitas alrededor (Stutz et al., 2014). A partir de ca. 2000 años cal. AP un incremento en las precipitaciones que se efectiviza a partir de ca. 700-500 años AP devinieron en una mayor frecuencia de condiciones de turbidez provocando un predominio del fitoplancton y un cambio en la diversidad de las macrófitas sumergidas estando conformadas por carófitas y angiospermas (Stutz et al., 2014). Lo encontrado en esta tesis coincide con lo encontrado por Stutz et al. (2012, 2014) en el Sudeste de la provincia de Buenos Aires, pudiendo ampliar regionalmente la caracterización de la evolución de las lagunas pampeanas y reforzar lo dicho previamente por Stutz et al. (2012, 2014), que los cambios ecológicos fueron ocasionado por una modificación en el clima regional con condiciones de mayor humedad asociadas a la ACM. Es importante destacar el caso de la laguna La Salada en donde, si bien tuvo un desplazamiento hacia condiciones de turbidez con el inicio de la ACM, posteriormente retomó condiciones de agua clara durante el comienzo de la PEH, que como se discutió previamente, podría estar asociado con la salinidad, con oscilaciones de nivel y las características de un ambiente extremo.

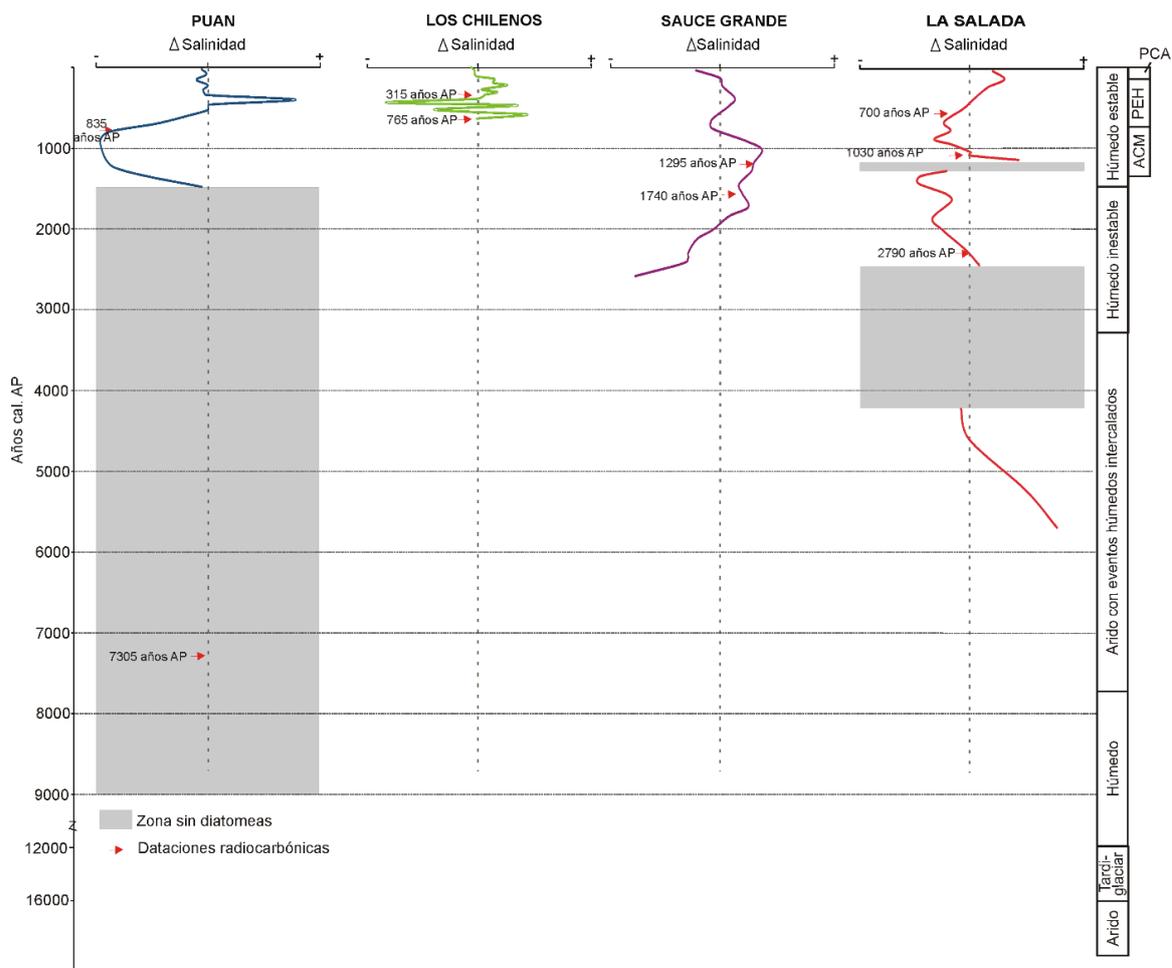


Figura VI-3: Reconstrucción de la Salinidad de las lagunas de Puan, Los Chilenos, Sauce Grande y La Salada basada en los proxies analizados a través de análisis multivariados y su relación con los eventos climáticos regionales en base a Schäbitz (2003) y Zech et al. (2009). PCA: Período Cálido Actual;; PEH: Pequeña Edad de Hielo; ACM: Anomalía Climática Medieval.

A partir de los análisis paleoecológicos de las lagunas realizados en este estudio, y las características físico-químicas y diatomeas dominantes en la actualidad en estos ambientes, analizadas por otros autores y discutidos en el capítulo III, se puede decir que las condiciones actuales se establecieron alrededor ~335 años cal. AP en Puan, ~239 años cal. AP en Los Chilenos, ~939 años cal AP en Sauce grande y ~725 años cal. AP en La Salada. Sin embargo, se observa en las lagunas de Los Chilenos y Sauce Grande un incremento en los nutrientes y el estado trófico ca. 100 años cal. AP. Quirós et al. (2006) reconoce que modificaciones en el uso del suelo están estrechamente relacionadas con el enriquecimiento de nutrientes, característico de las lagunas turbias asociadas a las áreas de mayor intensidad agrícola, la cual ha incrementado en los últimos 100 años. Ambas lagunas poseen una amplia cuenca de drenaje con zonas de importante desarrollo agrícola. En estas lagunas se registró, además del estado trófico, la salinidad y el nivel de agua

como otros factores de estrés. La salinidad y nivel de agua muestran una respuesta opuesta por lo que se supone una estrecha conexión con las variaciones en la relación precipitación- evaporación (Fig. VI-2 y VI-3). Es importante destacar que ambas lagunas presentaron alta densidad y diversidad de diatomeas en comparación a las lagunas de Puan y Salada, estando mejor preservadas a lo largo de todo el registro. El grado de preservación sugiere que las variaciones del nivel del agua no han sido tan fuertes como en el caso de las otras lagunas con cuencas reducidas y endorreicas, indicando además que a pesar de reflejar las variaciones climáticas las mismas son atenuadas por las características de su origen. Por lo tanto, las lagunas Los Chilenos y Sauce Grande son menos sensibles a las variaciones climáticas y, debido a su origen y morfología, son más resilientes que las lagunas de Puan y La Salada.

Por otro lado, la laguna la Salada mostró un incremento significativo en la salinidad en los últimos ~193 años cal. AP (Fig. VI-3). Zunino (2008) determinó, en base al balance hídrico del período 1966-2016, que esta laguna se encuentra en condiciones de déficit a lo largo de todo el año siendo dominante la evapotranspiración sobre la precipitación. Condiciones similares a las actuales serían la responsable del incremento en la salinidad en los últimos ~193 años cal. AP. El incremento de los niveles de la laguna en el registro paleo bajo condiciones de déficit hídrico, a pesar de que actualmente sus niveles se encuentran regulados antrópicamente, supone la existencia de un aporte freático (Fig. VI-2). En la laguna de Puan si bien la salinidad fue uno de los principales factores de estrés no presentó condiciones extremas como en la laguna La Salada en tiempos recientes, ya que las condiciones climáticas han sido más benignas (Figs. VI-2 y VI-3). Los principales factores de estrés que afectan a las lagunas de Puan y La Salada, nivel del agua y salinidad, se pueden explicar cómo genéticas. Su origen dió lugar a una cubeta con escasa área de drenaje, sin cursos fluviales significativos que aporten o drenen el agua acumulada, dejando la regulación hídrica a la precipitación y evaporación. Otro aspecto a destacar, a diferencia con las lagunas de Sauce Grande y Los Chilenos, es la escasa densidad y diversidad de diatomeas, en especial desde su establecimiento como laguna permanente, en donde se observó una dominancia de *C. meneghiniana* en Puan y *C. choctawhatcheeana* en La Salada. En La Salada y Puan no se registran factores de estrés antrópicos a pesar de que ambas lagunas tienen poblaciones permanentes desarrolladas en sus costas en la actualidad y existen registros de ocupación humana de los 3300 años AP en Puan (Oliva et al., 1991; 2006) y ca 300-2800 años AP en sitios próximos a La Salada (Martinez, 2004). En todas las lagunas se observó un incremento en el nivel de agua en los últimos 100 años. Esto es coincidente con lo encontrado en otras lagunas de la región pampeana por Córdoba et al. (2014) quien asocia estos cambios con un incremento sostenido en la humedad relativa de la región.

INFERENCIAS CLIMÁTICAS EN BASE AL REGISTRO PALEO, SU RELACION CON EL GRADIENTE DE HUMEDAD Y LOS PRINCIPALES EVENTOS CLIMÁTICOS DEL PASADO.

En la Figura VI-4 se resume la interpretación paleoclimática de cada uno de los períodos definidos en las lagunas en base a las interpretaciones de la geomorfología (Capítulo IV), estratigrafía y sedimentología de los testigos (Capítulo V) e inferencias de las variaciones de nivel de agua y salinidad a partir de las diatomeas (Capítulo V). Asimismo se realiza la comparación con los distintos períodos climáticos definidos en la región pampeana para el Pleistoceno tardío-Holoceno; en las figuras VI-1 a VI-5 se usa como guía los cambios climáticos identificados por Schäbitz (2003) y Zech et al. (2009) dentro del área de estudio.

Pleistoceno tardío (anterior a los 16000 años cal. AP): Este período sólo se encontró representado en la laguna de Puan, cuyo origen, conformación de la cubeta de deflación, más antiguo que las restantes lagunas hace que el registro sea más extenso (Fig. VI-4). El proceso eólico que originó la laguna de Puan indica un clima árido en coincidencia con lo determinado por otros autores en base a distintos indicadores. Registros de condiciones áridas en la región han sido asignadas al período árido del Holoceno desarrollado entre los 8500 y 14000 años AP (Iriando, 1999; Iriando et al., 2009). Sin embargo, estudios posteriores con mayor control cronológico y desarrollados en el área de estudio indican que el período árido desarrollado en el Pleistoceno tardío se extendió hasta los 16000 años AP (Zech et al., 2009). Este evento es asociado a una mayor influencia de los vientos de los Oestes en la pampa central determinando el desplazamiento de las actuales zonas climáticas entre 6-7 grados hacia el Norte (Iriando, 2009).

Finales del Pleistoceno tardío a principio del Holoceno medio (~7800-16000 años cal. AP): Durante esta etapa se registró en la laguna de Puan, en base a la interpretación ambiental, un clima húmedo con alta variabilidad que se extendió entre los ~6000-9000 años cal. AP aproximadamente (Fig. VI-4). En este tiempo, de acuerdo con Iriando (1999), sucedió el evento Óptimo Climático del Holoceno (Hipsitermal) registrado entre 3500-8500 años AP, el cual se caracterizó por un clima cálido y húmedo en la región pampeana lo cual determinó la expansión de las fajas fluviales y procesos de pedogénesis generalizado en la región pampeana (Iriando y García, 1993). Las condiciones climáticas se habrían producido por un desplazamiento hacia el Sur de los vientos del Oeste y una intensificación del Anticiclón del Atlántico Sur (AAS) (Iriando et al., 2009). Este período húmedo está también reforzado por el desarrollo de ambientes lagunares en las depresiones de las llanuras de inundación entre los 7000 y 9000 años AP (Prieto 1996;

Zárate et al., 1998). La extensión y edad de este período no está aún definido. Varios autores (Aguirre y Whatley, 1995; Prieto, 1996; Tonni et al., 1999; entre otros) sugieren, de acuerdo a distintos indicadores ambientales, que este ocurrió entre los 7500-8500 años AP y los 5000-7000 años AP. Si bien existen evidencias de la instalación de condiciones húmedas-subhúmedas en la región, no existe un rango temporal definido (Tonello y Prieto, 2010). Zech et al. (2009) sugieren para el área de estudio un período húmedo que se inicia en el Último Glacial, a los 16000 años AP, con un incremento de las precipitaciones con marcada estacionalidad (altas en verano y bajas en invierno) el cual cambia hacia Holoceno temprano, entre los 7800- 12000 años cal. AP, con un incremento en las precipitaciones extratropicales de invierno, siendo estas altas a lo largo de todo el año y disminución de la influencia de las precipitaciones tropicales.

Mancini et al. (2005) en base a registro polínico de la región pampeana registra un desplazamiento hacia el Suroeste de la isohieta de 500 mm (límite oriental de la región Árida-Semiárida) en el Holoceno medio, alrededor de los 8000 años AP, que provocó condiciones de clima subhúmedo a húmedo en el área. Este evento es asociado por los autores a una reducción de la influencia de los vientos de los Oestes y a un desplazamiento hacia el Sur del AAS.

Holoceno medio a tardío (~3800-7800 años cal. AP): En la laguna de Puan a partir de los ~6000 años cal. AP se observan condiciones de mayor estabilidad que son interrumpidas por el inicio de un período de aridez (~4000-5000 años cal. AP?) el cual produjo la desecación de la laguna y el desarrollo pedogenético sobre los sedimentos lacustres. Próximo a los ~3500 años cal. AP las condiciones de aridez se intensificaron y se produjo la acumulación de depósitos eólicos (Fig. VI-4). En la laguna la Salada, entre los ~4000-7800 años cal. AP, se registró un período árido que dio origen a la cubeta. Posteriormente, a partir de los ~4000(?) hasta los ~3000 años cal. AP se registran condiciones estables de humedad. Por otro lado, en la laguna Sauce Grande, entre los ~2500-3500 años cal. AP, se generan condiciones de alta disponibilidad de material, clima árido y ventoso que posibilitan el desarrollo de médanos costeros que dan lugar a la laguna.

una disminución de la precipitación e incremento de la temperatura. Otros registros localizados en la región Pampeana indican un cambio a condiciones secas en el Holoceno medio alrededor de los 4000-5000 años AP y que continuaron durante el Holoceno tardío (Muhs y Zárate, 2001; Prieto et al., 2004; Piovano et al., 2009).

Schäbitz (2003) asocia este evento árido a cambios en la dominancia de los vientos de los Oestes, mayor intensidad, impidiendo la llegada de masas de aire húmedo proveniente del océano Atlántico. En tanto que Mancini et al (2005) y Prieto (1996), para los 6000 años AP, explican las condiciones registradas en el Noreste de la Patagonia y el Suroeste de la región pampeana como resultado de un debilitamiento de los vientos de los Oestes y una localización más ecuatorial del AAS. Mientras que Abraham de Vásquez et al. (2000) lo explican como consecuencia del inicio de localización del AAS hacia el Noreste del AAS. Piovano et al. (2009) sugiere como responsable de condiciones frías y secas a una reducción del transporte de humedad desde los trópicos a subtropicales por un debilitamiento de la circulación Monzónica. De acuerdo con Zech et al. (2009) la extensión de este período árido, identificado en áreas tropicales y subtropicales en Sudamérica, evidencia que durante este tiempo las precipitaciones, tropicales y extratropicales, no fueron significativas. Hacia los 4000 años AP se registra una transición a las condiciones actuales provocada por una posición ecuatorial con mayor frecuencia del AAS asociando el incremento estacional de las precipitaciones con el comienzo de la variabilidad del ENOS (Mancini et al., 2005).

Holoceno tardío (~1400-3300 años cal. AP): Este período aparece representado en todas las lagunas. En las de Puan, Sauce Grande y La Salada se registran condiciones de alta variabilidad climática con períodos de inundación y exposición subaérea, mientras que condiciones similares habrían favorecido la retracción de la red fluvial dando inicio a la laguna Los Chilenos (Fig. VI-4). En base a las reconstrucciones de nivel relativo y la salinidad de las lagunas (Fig. VI-2 y VI-3), se interpretan un predominio de la precipitación sobre la evaporación ($P_p > E_{vp}$) en la laguna de Puan y La Salada entre aproximadamente los ~1400-3000 años AP. Mientras que en la laguna Sauce Grande se observa una relación inversa ($P_p < E_{vp}$) (Fig. VI-4).

Otros estudios realizados en las lagunas de Sauce Grande y La Salada sugieren condiciones climáticas similares. Fontana (2005), en base a ostrácodos y biota acompañante, interpreta condiciones de una laguna temporal salobre en la laguna Sauce Grande durante los 1940 a 3050 años cal. AP y asocia la predominancia de arena con el aporte efectuado por los médanos circundantes durante los períodos secos. Fernández (2012), en base al polen de un perfil en la costa de la laguna La Salada, encuentra

condiciones de humedad local con cuerpos de agua someros pequeños, menor humedad en los suelos y desarrollo de procesos pedogenéticos. Asimismo reconoce a nivel local una tendencia a la disminución de los vientos desde ca. 3000 años.

En cuanto al contexto regional también existen registros de alta variabilidad climática durante el Holoceno Tardío. Zárate et al. (2000) reconocen alta variabilidad ambiental con la alternancia de inundación-deseccación y cese en la agradación de una secuencia aluvial de ca. 2700 años AP. Zech et al (2009) interpretan condiciones de alta variabilidad entre los 1400-3300 años cal. AP. Registros polínicos, evidencias geológicas y paleontológicas en el Suroeste de Buenos Aires reflejan del mismo modo una gran variabilidad, con episodios cortos semiáridos a húmedos y cálidos (Quattrocchio et al., 2008). Tonello y Prieto (2010) encuentran una regionalización del clima por las diferencias entre las reconstrucciones climáticas para el Este y Suroeste de la región pampeana en los últimos 3000 años AP. Mientras que Iriondo (1999, 2009) sugiere un evento árido generalizado en la región pampeana con el desarrollo de deflación elíptica, truncamiento de suelos, mantos de loess; médanos parabólicos y lunettes. Sin embargo, Muhs y Zárate (2001) proponen que las evidencias para fundamentar el desarrollo regional de formación de médanos son escasas y propone que durante el Holoceno medio a tardío las reactivaciones eólicas no necesariamente se desarrollaron de la misma manera en toda la región pampeana. Las evidencias encontradas durante este período son concordante que con lo expresado por Muhs y Zárate (2001) ya que se reconocen en la región evidencias de deflación, transporte y acumulación eólico local y desarrollo de ambientes lagunares temporarios con diversa intensidad y duración. Este período de alta variabilidad ha sido explicado por un desplazamiento de los centros anticiclónicos hacia el Norte (Prieto, 1996), el cual podría ser estacional con desplazamiento hacia el ecuador en invierno y hacia los polos en verano (Markgraf, 1993) este comportamiento de alta variabilidad posiblemente haya estado relacionado con el ENOS (Markgraf, 1991)

Holoceno tardío (~1400 años cal. AP al presente): En este período se reconoce en la laguna de Puan un cambio, de condiciones húmedas de alta variabilidad a estables efectivizándose a partir de los ~600 años cal. AP, aproximadamente, cuando la laguna pasa a régimen hídrico permanente (Fig. VI-4). Entre los ~600-800 años cal. AP se observa una caída del nivel del agua la laguna con un incremento en la salinidad, lo que sugiere un cambio en la relación $P_p < E_{vp}$, la cual se invierte ($P_p > E_{vp}$) a partir del establecimiento del régimen permanente a partir de los ~600 años cal AP (Fig.VI- 4). En la laguna Los Chilenos se observan condiciones húmedas de alta variabilidad desde aproximadamente ~500-1400(?) años cal. AP, con un pasaje a condiciones húmedas más estables a partir de los ~500 años cal. AP (Fig. VI-4). Durante este tiempo se observa una relación $P_p < E_{vp}$

alrededor de los ~765 años cal. AP sugerido por una brusca caída de nivel e incremento de la salinidad (Fig. VI-2 y VI-3), mientras que a partir de los ~500 años cal. AP se observa $Pp > Evp$ (Fig. VI-4). En la laguna Sauce Grande durante este período se interpreta un pasaje de condiciones de clima húmedo y cálido con alta variabilidad climática a condiciones cálidas y áridas alrededor de los ~1200 años cal. AP. Este período árido caracterizado por condiciones de $Pp < Evp$ se extiende hasta aproximadamente los ~800 años cal. AP, tiempo en el que se establece un clima húmedo estable en donde la $Pp > Evp$. En La Salada al inicio de este período, ~1400 años cal. AP, se produce el cambio de condiciones húmedas de alta variabilidad a cálidas y áridas caracterizado por una relación $Pp < Evp$. A partir de los ~1000 años cal. AP se desarrolla un clima semiárido cálido con una relación $Pp > Evp$ que se extiende hasta los ~700 años cal. AP en donde se registran condiciones $Pp < Evp$ (Fig. VI-4). En todas las lagunas en tiempos recientes se observa un incremento en la precipitación y disminución de la evapotranspiración.

Fontana (2003, 2005) reconoce en la laguna Sauce Grande una fluctuación en los niveles de la laguna y salinidad lo cual lo asocia a variaciones en la precipitación en los últimos 3000 años AP. Fernández (2012), en regiones próximas a la laguna La Salada, registra mayor proporción de elementos regionales que sugieren un clima más árido entre ca. 1400 y 700 años cal. AP.

Regionalmente durante este período se desarrollaron dos estadíos con cambios climáticos importantes, el Anomalía Climática Medieval (ACM) caracterizado por condiciones de clima cálido y húmedo (Iriondo, 1999), entre los 800 a 1400 años AP (Cioccale, 1999) y la Pequeña Edad de Hielo (PEH) registrado entre los 200 a 600 años AP (Iriondo, 1999). Cioccale (1999) sugiere que en esta fase no fue homogénea sino que se caracterizó por dos pulsos fríos con un período intermedio de condiciones más benignas. El primer pulso de la PEH lo supone entre los 400-600 años AP, cuyo máximo se habría registrado a los 500 años AP y un segundo pulso entre los 200-300 años AP el cual habría sido más intenso. Durante el ACM en la región pampeana hubo desarrollo de suelo, expansión fluvial y lacustre, y desarrollo de zonas de pantanos y lagunas permanentes en depresiones, asociadas al ascenso del nivel freático (Iriondo, 1994; Cioccale, 1999) en un período de transición de condiciones de clima templado húmedo a subhúmedo (Cioccale, 1999). Además, durante este período se produjo colonización por asentamientos humanos en las costas de las lagunas (Iriondo, 1994). La PEH, en cambio, en la región pampeana experimentó condiciones más frías y áridas que las actuales lo que es evidenciado por cartografía jesuítica que muestra la recesión de los lagos, así como también la existencia de evidencias arqueológicas en la región (Politis, 1984; Cioccale, 1999; Iriondo, 1999; Piovano et al., 2002, 2004). Durante el primer y el segundo pulso se

desarrolló uno intermedio caracterizado por condiciones más benignas (Cioccale, 1999) en las que primaron condiciones de mayor estabilidad climática con escasas inundaciones extraordinarias y pocas sequías (Prieto y Herrera, 1991).

Estudios sedimentarios y biológicos de testigos en una laguna al Norte de la región de estudio (laguna del Monte), muestran condiciones de aguas bajas asociados a la PEH (Laprida et al., 2009). De acuerdo con Córdoba et al. (2014), desde la PEH los sistemas lacustres de la región pampeana han mostrado una marcada variabilidad con condiciones hidrológicas contrastantes asociado a las fluctuaciones del balance hidrológico, siendo el Sistema Monzónico Sudamericano el principal responsable de la variación en las precipitaciones. Tonello y Prieto (2010) infieren para los últimos 500 años cal AP un marcado descenso en los valores de la precipitación en el Suroeste de la llanura pampeana. Zech et al. (2009) reconoce en el area de estudio condiciones húmedas con mayor estabilidad desde los 1400 años cal. AP, lo cual interpreta como resultado de un desplazamiento hacia el Sur o intensificación del Sistema Monzónico Sudamericano. Schäbitz (2003) sugiere que en los últimos 3000 años AP hubo un incremento en las precipitaciones producto de un desplazamiento hacia el Sur de los vientos de Oeste que posibilita el ingreso de humedad proveniente del Atlántico, en tanto que durante el verano la influencia del AAS determina condiciones cálidas y secas. Córdoba et al. (2014) estudiaron las lagunas las Encadenadas del Oeste situadas a 56 km lineales, aproximadamente, al Norte de la laguna de Puan analizando su evolución desde finales de la PEH. Los autores identifican que la PEH estuvo caracterizada por condiciones áridas que se habrían extendido hasta la década de 1870 AD, y posteriormente un cambio hidrológico hacia condiciones de mayor humedad, que se habría efectivizado a partir de la década de 1970 AD, determinó el pasaje de un sistema efímero a uno permanente.

Piovano et al (2009) reconocen en la región Pampeana durante la ACM un incremento en la humedad y temperatura. Por otro lado, durante la PEH se caracterizó por un incremento en la aridez hacia el Norte en la región Pampeana. El ACM se ve expresado en las todas las lagunas con el establecimiento del régimen permanente desde aproximadamente 1000 años AP, mientras que la PEH está representado por retracción de la laguna en el caso de Puan y Los Chilenos, y en menor medida en Sauce Grande, e incremento en la salinidad en La Salada y Sauce Grande. El clima durante la ACM, en la región pampeana, es interpretado como resultado de un debilitamiento del SACZ con mayor aporte de humedad, mientras que durante la PEH anomalías más frías en la temperatura superficial del mar determinaron menor pasaje de humedad con la disminución de las precipitaciones, condiciones de SACZ fortalecido (Piovano et al., 2009). Posterior a la PEH en todas las lagunas se observa un incremento del nivel lo cual puede estar

asociado a una tendencia creciente en las precipitaciones posterior a la PEH y que se intensifica a partir de 1970 (Boulanger et al., 2005; Piovano et al., 2009; Córdoba et al., 2014).

Finalmente, la resolución alcanzada en los registros analizados y los cambios climáticos encontrados ha permitido correlacionarlos con los definidos previamente en la región por otros autores mostrando cierta correspondencia y posibilitando además sumar nuevas evidencias que permitan ajustar los eventos con su extensión temporal y espacial. En relación a las variaciones en el clima se registran cambios importantes a escala milenaria y centenaria. Las variaciones climáticas ocurridas durante el Holoceno responden cambios en la insolación relacionadas a las variaciones en la órbita terrestre y cambios en la actividad solar las cuales han tenido un efecto importante en los últimos 11500 años cal AP (Mayewski et al., 2004).

La variación de las precipitaciones actualmente en la región de estudio está fuertemente regulada por el ENOS, que, como se analizó en el capítulo III, afectan de manera importante a las lagunas pampeanas. La resolución del estudio paleolimnológico no permitió detectar este tipo de variaciones en el registro. Sin embargo, como se discutió previamente varios autores han relacionado la variabilidad de las precipitaciones desde los últimos 5000 años AP mencionando la influencia de esta anomalía como responsable de los cambios. Modelos del océano y la atmósfera revelan cambios en el equilibrio de humedad y fuerza del ENOS que para el Holoceno medio parecen estar relacionados con cambios orbitales en el ciclo estacional de la radiación solar (Clement et al., 2000; Mayewski et al., 2004). Asimismo, el análisis de las variaciones regionales y globales del clima reconstruidos para el Holoceno sugieren que los patrones espaciales guardan cierta relación con el ENOS (Rodbell et al., 1999; Carré, et al., 2014; Coob et al., 2013;). Por otro lado, registros detallados en Sudamérica han mostrado variaciones climáticas no estacionarias que podrían corresponderse con otros patrones de variabilidad, como los encontrados para América del Norte en donde se reconocen variaciones multidecadales significativas para el Holoceno medio (Fritz, 2013). Otros fenómenos como la Oscilación Multidecadal del Atlántico Norte identificadas en las aguas del Atlántico Norte que tienen un período de desarrollo entre 60-80 años (Olcina y Cantos, 2017) o la PDO con naturalezas semejantes que han sido poco estudiadas pueden ofrecer respuestas sobre variaciones observadas en el registro paleo. De acuerdo con Baker et al. (2009) entre las variaciones orbitales y las interanuales de la precipitación existen variaciones con escalas de decenal, centurias y milenios que pueden estar impulsados en América del Sur por variaciones en la temperatura superficial del océano Atlántico Norte. El entendimiento de estos fenómenos globales que producen cambios en el balance de humedad, temperatura

y circulación atmosférica como los ocurridos durante el Holoceno pueden ayudar a obtener respuestas del funcionamiento del sistema climático (Mayewski et al., 2004; Fritz, 2013).

Por otro lado, más registros paleoclimáticos del Holoceno, de relativamente alta resolución y con alta distribución espacial son necesarios para revelar los patrones espaciales de variación, la duración de los intervalos climáticos extremos y el rol relativo de los múltiples controles sobre el clima regional y continental (Fritz, 2008). En este sentido, en el contexto regional de la región pampeana el registro paleolimnológico y las reconstrucciones climáticas derivadas de su interpretación, a pesar de la baja resolución temporal, constituye un aporte significativo dado la carencia de registros paleolimnológicos en el Suroeste de la región Pampeana, en especial registros que abarquen la zona de transición de la región árida- semiárida. Futuros trabajos con mayor resolución, mejor ajuste temporal y con múltiples indicadores quizás puedan aportar mayor información sobre fluctuaciones como el ENOS.

Finalmente, en base a lo discutido en esta tesis se distingue que entre las variables forzantes que determinan la evolución de las lagunas pampeanas se enumeran, de mayor a menor orden de importancia al origen, el clima y la presión antrópica. Respecto del origen se encontró que este determina la morfología de la cubeta, el tipo de drenaje de la cuenca y el tamaño. Las características morfológicas y morfométricas de la laguna (distancia, desarrollo litoral y de macrófitas, áreas afectadas por erosión y transporte, etc.) condiciona la evolución de la laguna en la susceptibilidad a sufrir disturbancia ambientales - resuspensión del sedimento de fondo, mortandad de peces, amortiguación de inundaciones, etc-. El tipo de drenaje y tamaño de la cuenca determina el grado de resiliencia de las mismas a los factores climáticos y antrópicos. En este sentido se analizaron cuencas endorreicas (La Salada y Puan) y exorreicas (Sauce Grande y Los Chilenos), de tamaño pequeño ($< 100 \text{ km}^2$; La Salada y Puan), intermedio ($\sim 100\text{-}4000 \text{ km}^2$; Los Chilenos) y grande ($> 4000 \text{ km}^2$; Sauce Grande). Por otro lado, la variable forzante climática mostró, en especial desde el Holoceno tardío un gradiente de orientación similar al actual, siendo más húmedo al Noreste y más seco al Suroeste. La intensidad de los eventos climáticos en cada región a pesar del filtro que pueda ejercer las diferencias respecto del origen pudieron ser igualmente identificadas, como en el caso de las lagunas de Puan y La Salada que en posiciones extremas del gradiente y con un mismo origen evidenciaron las características del gradiente de precipitación y temperatura. En último lugar, la presión antrópica ejerció un rol secundario en la evolución de las lagunas bajo estudio siendo importantes solo en tiempos recientes y en cuencas de tamaño mediano a grande. Entre las presiones antrópicas identificadas (uso agrícola ganadero, asentamientos urbanos y uso recreativo) el uso agrícola-ganadero es el factor de estrés

principal de las lagunas. En base a lo expresado, se proponen tres esquemas de evolución diferentes para las lagunas pampeanas en relación a los cambios climáticos ocurridos desde el Holoceno tardío, simplificadas en la Figura VI-5, en función de su posición respecto del gradiente hidrológico, diferenciándose entre aquellas localizadas al Norte (esquemas 2 y 3 en el mapa) y al Sur del límite actual árido-semiárido (1), los cuales a su vez fueron separados de acuerdo con el tipo y tamaño de cuenca. En cada uno de los esquemas evolutivos de las lagunas se destacan los principales factores de estrés que condicionan su evolución.

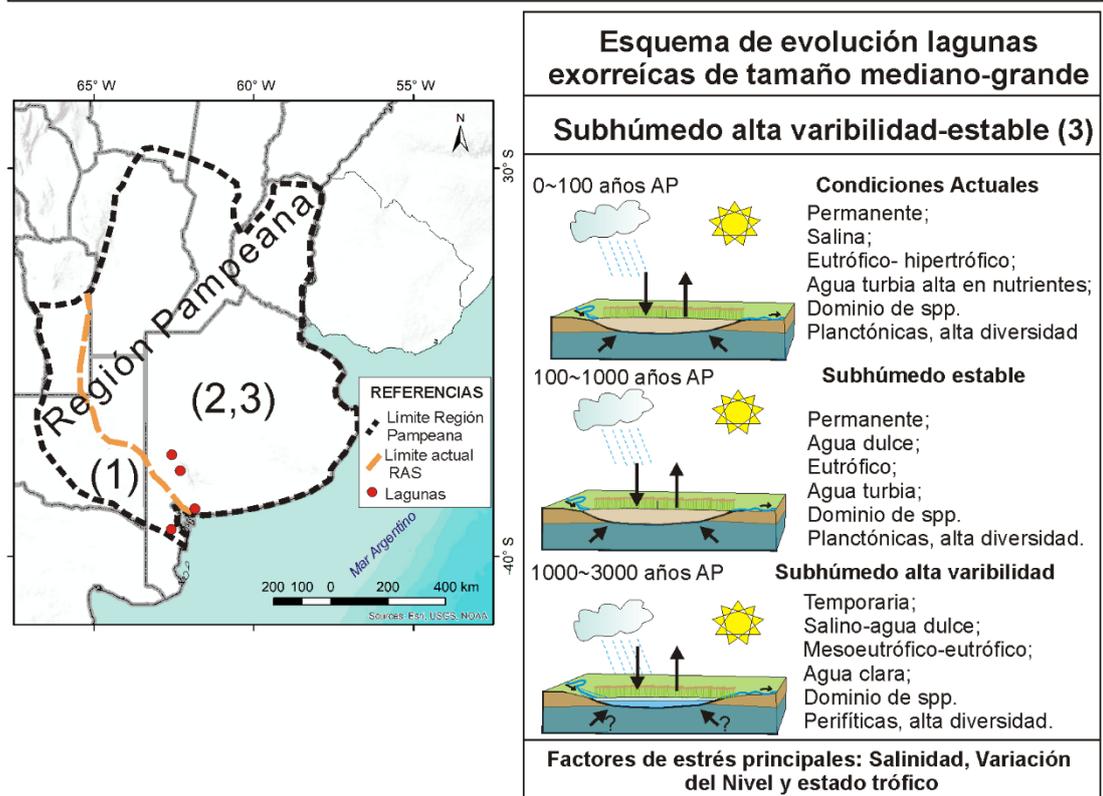
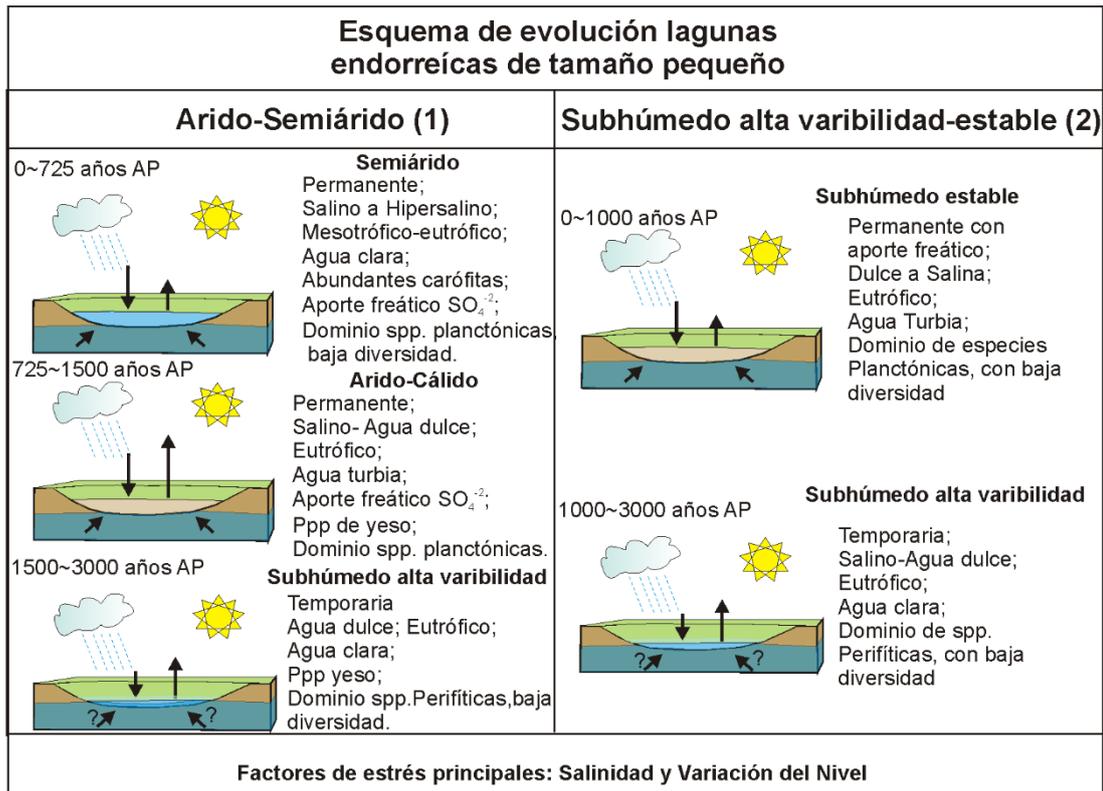


Figura VI- 5: Modelo esquemático de evolución de las lagunas pampeanas de acuerdo a la localización del gradiente de temperatura y humedad y al tipo y tamaño de la cuenca de drenaje.

CAPITULO VII

CONCLUSIONES

La depresión que originó la laguna de Puan se habría generado entre Pleistoceno tardío-Holoceno temprano como consecuencia de la deflación producida por vientos predominantes del O-E durante un período árido que se extendió hasta los 16000 años AP. El registro lacustre comienza entre ~3542-5870 años cal. AP, que sugieren que la depresión es ocupada por una laguna temporaria somera la cual recibe frecuentes pulsos fluviales. Hacia finales de este período se produce la desecación de la laguna y se desarrollan procesos pedogenéticos y eólicos ca. 3000 años cal. AP. A partir de los ~2800 años cal. AP aproximadamente se instala nuevamente una laguna temporaria somera de agua clara que evoluciona hacia una laguna permanente de agua turbia alrededor de los 239 años cal. AP.

El origen de la laguna Los Chilenos es poligenético. Su desarrollo esta principalmente relacionado a una red fluvial extraserrana, que se originó como consecuencia de eventos neotectónicos ocurridos en el Pleistoceno tardío, cuya retracción durante un evento árido, que se extendió hasta los 3300 años cal. AP aproximadamente, determinó el posterior emplazamiento de la laguna en un valle fluvial generado por la incisión del frente de una escarpa cuando retornaron las condiciones de humedad. El emplazamiento de la laguna como un sistema temporario de agua clara ocurrió alrededor de los ~400-500 años cal. AP, posteriormente se produjo el establecimiento de régimen permanente y condiciones de agua turbia entre los ~300-400 años cal. AP.

El origen de la laguna Sauce Grande se habría originado ca. 3000 años cal. AP por el desarrollo de médanos costeros que desviaron la desembocadura del río Sauce Grande hacia el Este y encerraron un área deprimida donde se desarrolló la laguna. El emplazamiento de una laguna temporaria de agua clara ocurrió alrededor de los ~2430 años cal. AP, la cual paso a permanente con condiciones de agua turbia alrededor de los ~900 años cal. AP

La laguna La Salada se habría originado por la deflación local de los depósitos aluviales de un nivel de terraza del río Colorado entre los ~4000-7000 años cal. AP. Su evolución fue de un sistema temporario de agua clara entre ~1240-2542 años cal. AP, a permanente de agua turbia entre los ~875-1240 años cal. AP y permanente de agua clara desde los ~875 años cal. AP aproximadamente.

Las respuestas actuales a la variabilidad climática de la región en su variación espacial, características morfométricas, físico-químicas y ecológicas son similares a las reflejadas por el registro paleo durante el Holoceno tardío. En base a lo analizado en esta tesis se observa que las lagunas pampeanas son buenos indicadores tanto del cambio como de la variabilidad climática.

El establecimiento de sistemas lacustres propiamente dicho se registra en el Holoceno medio a tardío. La evolución paleolimnológica de las lagunas estudiadas consiste en lagunas poco profundas temporarias de aguas claras que evolucionan a lagunas permanentes de aguas turbias, siendo los factores de estrés dominantes en estos sistemas las variaciones de nivel, la salinidad, turbidez y estado trófico.

El cambio de condiciones claras a turbias en las lagunas estudiadas parece tener cierta asociación con una caída abrupta de los niveles de la laguna que posiblemente desencadenó un incremento de la resuspensión del sedimento, nutrientes y salinidad que provocaron la desaparición de las macrófitas. La Salada presentó una evolución desde agua clara, turbia y clara nuevamente, donde el retorno de las condiciones de agua clara, posterior a las condiciones de agua turbia, parece asociarse con variaciones de la salinidad y el nivel de agua. Sin embargo, dado la complejidad en el comportamiento de estos sistemas es difícil aseverar una causa única.

Las condiciones limnológicas actuales se establecieron alrededor ~335 años cal. AP en Puan, ~239 años cal. AP en Los Chilenos, ~939 años cal AP en Sauce grande y ~725 años AP en La Salada. Sin embargo, en las Lagunas de Los Chilenos y Sauce Grande se observa un incremento en los nutrientes y el estado trófico ca. 100 años AP.

En las lagunas Sauce Grande y Los Chilenos el estado trófico, la salinidad y el nivel de agua son los principales factores de estrés que condicionan su evolución. La salinidad y el nivel de agua responden directamente a las variaciones en la relación precipitación- evaporación las cuales son menos intensas que en las cuencas endorreicas y de menor extensión indicando además que a pesar de reflejar las variaciones climáticas, las mismas son atenuadas por las características de su origen. Ambas lagunas por su mayor cuenca de drenaje reflejaron influencia antrópica asociado a un incremento del estado trófico el cual es adjetivado por las características de su origen.

Los factores de estrés que afectaron la evolución de las lagunas de Puan y La Salada fueron el nivel de la laguna y salinidad. Dichos factores muestran una importante relación con su origen que dio lugar a una cubeta con escasa área de drenaje, sin cursos fluviales significativos que aporten o drenen el agua acumulada, estando regulados los ingresos y egresos de las lagunas por la precipitación y evaporación. En las lagunas La

Salada y Puan no se registraron factores de estrés antrópicos a pesar de que ambas tienen actualmente poblaciones permanentes desarrolladas en sus costas y que evidencias arqueológicas sugieren la ocupación del territorio desde ca. de los 3000 años cal. AP.

Los registros de las cuatro lagunas analizadas muestran los cambios climáticos ocurridos en la región pampeana desde el Pleistoceno tardío hasta tiempos históricos. Los cambios climáticos registrados reflejan cambio en el gradiente de humedad a lo largo del período analizado lo cual es coincidente con las variaciones registradas en la región pampeana. El gradiente de humedad y temperatura en la región de estudio ha sufrido variaciones a lo largo del Pleistoceno tardío hasta la actualidad en respuesta a las variaciones en la influencia del anticiclón del Atlántico Sur y los *vientos de los Oestes*. Las variaciones climáticas ocurridas durante el Holoceno responden a cambios en la insolación relacionadas a las variaciones en la órbita terrestre y cambios en la actividad solar.

Entre las variables forzantes que condicionan la evolución de las lagunas pampeanas se reconocieron en orden de importancia el origen, el clima y la presión antrópica. Respecto del origen se encontró que estas determinan la morfología de la cubeta, el tipo de drenaje de la cuenca y el tamaño. Las variables morfológicas y morfométricas determinan la susceptibilidad de las lagunas a sufrir disturbancias ambientales, mientras que el tipo de drenaje y tamaño de la cuenca condiciona la resiliencia a los forzantes climáticos y antrópicos. Por otro lado, la forzante climática mostró variada intensidad guardando relación con el gradiente humedad de la región a pesar la potencial atenuación producto de las características del origen propio de cada laguna. Finalmente, la presión antrópica ejerció un rol secundario en la evolución de las lagunas bajo estudio siendo importantes solo en tiempos recientes y en cuencas de tamaño mediano a grande.

Finalmente, respecto del estado actual de las lagunas y los factores de estrés encontrados para cada una de ellas en el caso de Los Chilenos y Sauce Grande mostraron fuerte influencia antrópica en los últimos 100 años por lo que se sugiere el monitoreo y la realización de planes de manejos tendientes a mejorar las prácticas agrícola-ganaderas para evitar deteriorar aún más las condiciones de estas lagunas. Asimismo, en la laguna La Salada la salinidad y variaciones de nivel son los factores fundamentales que determinan su ecología actual, en este sentido se sugiere monitorear y controlar los aportes de agua realizados evitando que estos puedan afectar la comunidad de carófitas desarrolladas en el fondo las cuales determinan su condición de agua clara.

BIBLIOGRAFIA

- Abraham de Vázquez, E.M.; Garleff, K.; Liebricht, H.; Regairaz, A.C.; Shäbitz, F.; Squeo, F.A.; Stingl, H.; Veit, H.; Villagrán, C. 2000. Geomorphology and Paleocology of the Arid Diagonal in Southern South America. *Zeitschrift für Angewandte Geologie*, SH 1, 55–61.
- Adrian, R.; O'Reilly, C.M.; Zagarese, H.; Baines, S.B.; Hessen, D.O.; Keller, W.; Livingstone D.M.; Sommaruga R.; Straile, D.; Van Donk, E.; Weyhenmeyer G.A.; Winder M. 2009. Lakes as sentinels of climate change. *Limnology and Oceanography*, 54, 2283–2297.
- Aguirre, M.L.; Whatley, R.C. 1995. Late Quaternary marginal marine deposits and palaeoenvironments from northeastern Buenos Aires Province, Argentina: a review. *Quaternary Science Reviews*, 14(3), 223-254.
- Albouy, R.; Lafont, D. 2011. Diagnóstico De Calidad Del Agua Subterránea Para Riego En Un Área Del Suroeste Bonaerense. VII Congreso Argentino de Hidrogeología y V Seminario Hispano-Latinoamericano Sobre Temas Actuales de la Hidrología Subterránea. Calidad y Contaminación de Agua Subterránea Salta, Argentina.
- Alfonso, M.B.; Vitale, A.J.; Menéndez, M.C.; Perillo, V.L.; Piccolo, M.C.; Perillo, G.M.E. 2015. Estimation of ecosystem metabolism from diel oxygen technique in a saline shallow lake: La Salada (Argentina). *Hydrobiologia*, 752(1), 223-237.
- Alfonso, M.B. 2018. Estructura y Dinámica del Zooplancton en una laguna con manejo antrópico: Laguna La Salada (Pedro Luro, Pcia. De Buenos Aires). Tesis doctoral. Universidad Nacional del Sur, 175 pp.
- Aliaga, V.S.; Ferrelli, F.; Alberdi-Algarañaz, E.D.; Bohn, V.Y.; Piccolo, M.C. 2016. Distribución y variabilidad de la precipitación en la Región Pampeana, Argentina. *Cuadernos de Investigación Geográfica*, 42(1), p.261. Disponible en: <https://publicaciones.unirioja.es/ojs/index.php/cig/article/view/2867>.
- Aliaga, V.S., 2018. Variabilidad climática de la Región Pampeana y su efecto sobre las lagunas de la región. Tesis Doctoral, Departamento de Geografía y Turismo, Universidad Nacional del Sur, 193p. (inédito).
- Anderson, N.J., 1990. The biostratigraphy and taxonomy of small *Stephanodiscus* and *Cyclostephanos* species (Bacillariophyceae) in a eutrophic lake, and their ecological implications. *British Phycological Journal*, 25, 217–235.

- Anderson, N.J., 1997. Reconstructing historical phosphorous concentrations in rural lakes using diatom models. In Tunney, H., O. T. Carton, P. C. Brookes y A. E. Johnston (eds), Phosphorus Loss from Soil to Water. CAB International, Wallingford, UK, 95–118.
- Anderson N.J. 2000. Diatoms, temperature and climatic change. *European Journal of Phycology*, 35, 307–314.
- Anderson, N.J.; Rippey, B.; Gibson, E. 1993. A comparison of sedimentary and diatom-inferred phosphorus profiles: implications for defining predisturbance nutrient conditions. *Hydrobiologia*, 253, 357–366.
- Anderson, N.; Ryves, D.B.; Grauert, M.; McGowan, S. 2004. Holocene paleolimnology of Greenland and the North Atlantic Island (North of 60 degrees N). En: Pienitz R, Douglas M, Smol JP (eds) Long-term environmental change in Arctic and Antarctic lakes, vol 8. Springer, Dordrecht, 319–347.
- Andreis, R. 1965. Petrografía y paleocorrientes de la Formación Río Negro (tramo General Conesa - Boca del Río Negro). *Revista Museo de La Plata, Geología*, 5(36), 245-310.
- Andreoli, R.; Kayano, M. 2005. ENSO-related rainfall anomalies in South America and associated circulation features during warm and cold Pacific Decadal Oscillation regimes. *International Journal of Climatology*, 25, 2017–2030.
- ArduPilot.org, 2017. Mission Planner 1.3.44. (<http://firmware.ardupilot.org/Tools/MissionPlanner/archive/>).
- Argemi, F.; Oñativia, H.; Grunblatt, Y. 2009. Laguna de Puan, Partido de Puan. Campañas de relevamiento Limnológicos e ictiológicos. Informe Técnico N°122. Dirección de Desarrollo de Aguas Continentales y Acuicultura, Dirección de Pesca, Ministerio de Asuntos Agrarios.
- Auge, M. 2004. Regiones Hidrogeológicas Provincia De Buenos Aires. En Regiones Hidrogeológicas República Argentina y provincias de Buenos Aires, Mendoza y Santa Fe.
- Baigun, C.R.M.; Anderson, R.O. 1993. Structural Indices for Stock Assessment of and Management Recommendations for Pejerrey *Odonthestes bonariensis* in Argentina, *North American Journal of Fisheries Management*, 13(3), 600-608, DOI: 10.1577/1548-8675(1993)013<0600:SIFSAO>2.3.CO;2.
- Baker, P.A.; Fritz, S.C.; Burns, S.J.; Ekdahl, E.; Rigsby, C.A. 2009. The nature and origin of decadal to millennial scale climate variability in the southern tropics of South

- America: the Holocene record of Lago Umayo, Peru. In *Past Climate Variability in South America and Surrounding Regions* (pp. 301-322). Springer, Dordrecht.
- Bao, R.; Hernández, A.; Sáez, A.; Giralt, S.; Prego, R.; Pueyo, J.J.; Moreno, A.; Valero-Garcés, B.L. 2015. Climatic and lacustrine morphometric controls of diatom paleoproductivity in a tropical Andean lake. *Quaternary Science Reviews*, 129, 96-110.
- Barros, V.; Castañeda, M. E.; Doyle, M. 2000. Recent precipitation trends in southern South America east of the Andes: An indication of climatic variability. In *Southern Hemisphere paleo-and neoclimates* Springer, Berlin, Heidelberg. pp. 187-206.
- Barros, V.; Doyle, M.; Camilloni, I. 2008. Precipitation trends in southeastern South America: relationship with ENSO phases and with low-level circulation. *Theoretical and Applied Climatology*, 93, 19.
- Barroso, G.F.; Goncalves, M.A.; Garcia, F.D. 2014. The morphometry of Lake Palmas, a deep natural Lake in Brazil. *PloS one*, 9(11), e111469.
- Battarbee, R.W. 1986 Diatom analysis. In: Berglund BE (ed), *Handbook of Holocene palaeoecology and palaeohydrology*. Wiley, Chichester, pp. 527-570.
- Battarbee R.W.; Jones V.J.; Flower R.J.; Cameron N.G.; Bennion H.; Carvalho L.; Juggins S. 2001. Diatoms. In: Smol J.P., Birks H.J.B., Last W (eds), *Tracking environmental change using lake sediments Vol 3: Terrestrial, algal and siliceous indicators*. Kluwer, Dordrecht, pp. 155-202.
- Beklioglu, M.; Altinayar G.; Tan, C.O. 2001. Role of water level fluctuations, nutrients and fish in determining the macrophyte-dominated clear water states in five Turkish shallow lakes. *Shallow Lake Wetlands: Ecology, Eutrophication and Restoration International Workshop*, 28-30 October 2001, Ankara, Turkey.
- Beklioglu, M.; Altinayar, G.; Tan, C.O. 2006. Water level control over submerged macrophyte development in five shallow lakes of Mediterranean Turkey. *Archiv für Hydrobiologie*, 166, 535–556.
- Bennion, H.; Kelly, M.G.; Juggins, S.; Yallop, M.L.; Burgess, A.; Jamieson, J.; Krokowski, J. 2014. Assessment of ecological status in UK lakes using benthic diatoms. *Freshwater Science*, 33(2), 639-654.
- Benito, X.; Fritz, S.C.; Steinitz-Kannan, M.; Vélez, M.I.; McGlue, M.M. 2018. Lake regionalization and diatom metacommunity structuring in tropical South America. *Ecology and Evolution*, 1-14.

- Berasain, G.E.; Velasco, C.A.M.; Mir, F.; Padín, D. 2017. Laguna Los Chilenos, Partidos De Tornquist Y Saavedra. Campaña De Relevamientos Limnológicos e Ictiológicos Informe Técnico N° 172. Dirección de Actividades Pesqueras y Acuicultura Dirección Provincial de Pesca Ministerio de Agroindustria. 16 p.
- Berthon, V.; Bouchez, A.; Rimet, F. 2011. Using diatom life-forms and ecological guilds to assess organic pollution and trophic level in rivers: A case study of rivers in south-eastern France. *Hydrobiologia*, 673(1), 259–271.
- Bertora, A.; Grosman, F.; Sanzano, P.; Colasurdo, V.; Fontanarrosa, M.S. 2016. ¿Pueden lagunas conectadas poseer diferente estructura, dinámica de funcionamiento y estrategias de gestión? I Jornadas Internacionales y III Nacionales de Ambiente. 26-28 de octubre de 2016, Tandil, Argentina, Campus Universitario UNICEN.
- Blaauw, M.; Christen J.A. 2011. Flexible paleoclimate age-depth models using an autoregressive gamma process. *Bayesian Analysis*, 6, 457–474. doi: 10.1214/ba/1339616472
- Blais, J.M.; Kalff, J., 1995. The influence of lake morphometry on sediment focusing. *Limnology and Oceanography*, 40(3), 582–588.
- Blindow, I. 1992. Long and short-term dynamics of submerged macrophytes in two shallow eutrophic lakes. *Freshwater Biology*, 28, 15-27.
- Blinn, D.W.; Bailey, P.C.E. 2001. Land-use influence on stream water quality and diatom communities in Victoria , Australia: a response to secondary salinization. *Hydrobiologia*, 466(1-3), 231-244.
- Blott, S.J.; Pye, K. 2001. Gradistat: a grain size distribution and statistics package for the analysis of unconsolidated sediments. *Earth Surface Processes and Landforms*, 26, 1237-1248.
- Bohn V.Y.; Perillo G.M.E.; Piccolo, M.C. 2011. Distribution and morphometry of shallow lakes in a temperate zone (Buenos Aires Province, Argentina). *Limnetica*, 30, 89–102
- Bohn, V.Y.; Delgado, A.L.; Piccolo M.C.; Perillo, G.M.E. 2014. Efectos Del Uso De La Tierra Y La Variabilidad Climática En Lagunas De La Región Pampeana Argentina. XXVII Reunión Científica de la Asociación Argentina de Geofísicos y Geodestas San Juan. Resumen.
- Bohn, V.Y.; Delgado, A.L.; Piccolo, M.C.; Perillo, G.M.E. 2016. Assessment of climate variability and land use effect on shallow lakes. *Environmental Earth Sciences*, 75, p. 818. doi:10.1007/s12665-016-5569-6.

- Borel, C.M.; Bianchinotti, M.V.; Quattrocchio, M.E. 2001. Palinomorfos fúngicos del Pleistoceno–Holoceno en el valle del arroyo Chasicó, provincia de Buenos Aires. *Polen*, 11, 21–37.
- Borromei, A.M., 1992. Geología y palinología de los depósitos cuaternarios en el valle del río Sauce Grande, provincia de Buenos Aires, Argentina. Tesis Doctoral (Inédito), Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca, 200pp.
- Borromei, A.M., 1995. Palinología, estratigrafía y paleoambientes del Pleistoceno Tardío–Holoceno en el valle del río Sauce Grande, provincia de Buenos Aires, Argentina. *Polen*, 7, 19–31.
- Boulanger, J.P.; Leloup, J.; Penalba, O.; Rusticucci, M.; Lafon, F.; Vargas, W. 2005. Observed precipitation in the Paraná-Plata hydrological basin: long-term trends, extreme conditions and ENSO teleconnections. *Climate dynamics*, 24(4), 393-413.
- Bowen, A.J.; Lindley, D. 1977. A wind tunnel investigation of the wind speed and turbulence characteristics close to the ground over various escarpment shapes. *Boundary Layer Meteorology*, 12, 259-271.
- Bradshaw, E. G.; Rasmussen, P.; Nielsen, H.; Anderson, N.J. 2005. Mid-to late-Holocene land-use change and lake development at Dallund Sø, Denmark: trends in lake primary production as reflected by algal and macrophyte remains. *The Holocene*, 15(8), 1130-1142.
- Brendel, A. S.; Bohn, V. Y.; Piccolo, M.C. 2017a. Variabilidad de la precipitación y su relación con los rendimientos agrícolas en una región semiárida de la llanura pampeana (Argentina). *Estudios Geográficos*, 78(282), 7-29.
- Brendel, A.S.; Bohn, V.Y.; Piccolo, M.C. 2017b. Efecto de la Variabilidad Climática Sobre el Estado de la Vegetación y la Cobertura de Agua en una Cuenca de Clima Templado (Argentina). *Anuário do Instituto de Geociências*, 40(2), 05-16.
- Bruniard, E., 1982. La diagonal árida Argentina: un límite climático real. *Revista Geográfica*, 95, 5-20.
- Burgos, J. 1968. El clima de la provincia de Buenos Aires en relación con la vegetación natural y el clima. En: A Cabrera (ed.) *Flora de la provincia de Buenos Aires*, 4 (1), 33-39. INTA, Buenos Aires.
- Cabrera, A. 1976. *Regiones Fitogeográficas Argentinas*. Buenos Aires, Argentina: Ed. Acme S.A.C.I.

- Calmels, A.P.; Casadío, S. 2004. *Compilación geológica de la provincia de La Pampa*. Universidad Nacional de La Pampa. Ediciones Amerindia: 322p. Argentina.
- Campo De Ferreras, A.; Capelli De Steffens, A.M.; Diez, P. 2004. *El clima del Suroeste bonaerense*. Departamento de Geografía y Turismo de la Universidad Nacional del Sur. Bahía Blanca; p. 99
- Campo, A.; Ramos, M.B.; Zapperi, P., 2009. Análisis de las variaciones anuales de precipitación en el Suroeste bonaerense, Argentina. XII Encuentro de Geógrafos de América Latina. *Caminando en una América Latina en Transformación Lugar*: Montevideo, Uruguay.
- Cano, M.G.; Casco, M.A.; Solari, L.C.; Mac Donagh, M.E.; Gabellone, N.A.; Claps, M.C. 2008. Implications of rapid changes in Chlorophyll a of plankton, epipelon, and epiphyton in a Pampean shallow lake: an interpretation in terms of a conceptual model. *Hydrobiologia*, 614, 33–45.
- Carpelan, L.H. 1984. Revision of Kolbe's System der Halobien based on diatoms of California lagoons. *Oikos*, 31, 112-122.
- Carpenter, S.R.; Adams M.S., 1977. The macrophyte tissue nutrient pool of a hardwater eutrophic lake: Implications for macrophyte harvesting. *Aquatic Botany*, 3, 239-255.
- Carper, G.L.; Bachmann, R.W. 1984. Wind resuspension of sediments in a prairie lake. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 41, 1763-1767.
- Carré, M.; Sachs, J.P.; Purca, S.; Schauer, A.J.; Braconnot, P.; Falcón, R.A.; Julien, M.; Lavallée, D. 2014. Holocene history of ENSO variance and asymmetry in the eastern tropical Pacific. *Science*, 345(6200), 1045-1048.
- Carrica, J.C.; Albouy E.R., 1999. *Variaciones Hidroquímicas En El Agua Subterránea En Localidades Del Partido De Puan, Provincia De Buenos Aires*. Instituto Superior De Correlación Geológica (Insugeo). Serie Correlación Geológica N° 13. II Congreso Argentino de Hidrogeología y IV Seminario Hispano-Argentino sobre temas actuales de la hidrología subterránea. Santa Fe, Argentina.
- Carvalho, L., Jones, C., Liebmann, B., 2004. The South Atlantic Convergence Zone: intensity, form, persistence, and relationships with intraseasonal to interannual activity and extreme rainfall. *Journal of Climate*, 17, 88–108.
- Casadío, S.; Montalvo, C.; Parras, A.; Manera, T., 1999. Paleontología y sedimentología de las sedimentitas continentales del cretácico superior aflorantes en el sureste de La

- Pampa. En Jornada de Ciencia y Técnica de Universidad Nacional de la Pampa, Trabajos de Investigación, abstracts: 66-67, Argentina.
- Casadío, S.; Manera, T.; Parras, A.; Montalvo, C.; Cornachione, G. 2000. Primer registro en superficie de sedimentitas continentales del Cretácico Superior en la cuenca del Colorado, sureste de La Pampa. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 55 (1-2), 129-133.
- Casco, M.A.; Mac Donagh, M.E.; Cano, M.G.; Solari, L.C.; Claps, M.C.; Gabellone, N.A. 2009. Phytoplankton and epipelon responses to clear and turbid phases in a Seepage Lake (Buenos Aires, Argentina). *International Review of Hydrobiology*, 94, 153–168.
- Castellanos, Z.J.A.; Landoni, N.A. 1995. Mollusca Pellecypoda y Gasteropoda. In: *Ecosistemas de aguas continentales III, Metodologías para su estudio*. E.C. Lopretto y G. Tell (eds): 759–802. Ediciones Sur, La Plata.
- Cioccale, M.A., 1999. Climatic fluctuations in the Central Region of Argentina in the last 1000 years. *Quaternary International*, 62, 35–47.
- Clark, J.S. 1988. Stratigraphic charcoal analysis on petrographic thin sections: Application to fire history in north-western Minnesota. *Quaternary Research*, 30, 81-91.
- Clement, A.C.; Seager, R.; Cane, M.A. 2000. Suppression of El Niño during the mid-Holocene by changes in the Earth's orbit. *Paleoceanography*, 15, 731–737.
- Cobb, K.M.; Westphal, N.; Sayani, H.R.; Watson, J.T.; Lorenzo, E.D.; Cheng, H.; Edwards, R. L.; Charles, C.D. 2013. Highly variable El Niño-Southern Oscillation throughout the Holocene. *Science*, 239, 67-70.
- Cobbold, P.R.; Massabie, A.C.; Rossello, E.A., 1986. Hercynian wrenching and thrusting in the Sierras Australes Foldbelt, Argentina. *Hercynica*, 2, 135–148.
- Cohen, A.S., 2003, *Paleolimnology: The History and Evolution of Lake Systems*: New York, Oxford University Press, 500 p.
- Compagnucci, R.H. 2011. Atmospheric circulation over Patagonia from the Jurassic to present: a review through proxy data and climatic modelling scenarios. *Biological Journal of the Linnean Society*, 103(2), 229-249.
- Compagnucci, R.H.; Agosta, E.A.; Vargas, W.M. 2002. Climatic change and quasi-oscillations in central-west Argentina summer precipitation: main features and coherent behaviour with southern African region. *Climate Dynamics*, 18 (5), 421–435.

- Consejo Federal de Inversiones, 1975. Mapa geológico de la Provincia de Buenos Aires: programa para la planificación del uso de los recursos naturales. CFI.
- Contreras, F.I. 2014. Aplicación del desarrollo de la línea de costa en el estudio morfométrico de las lagunas de las lomadas arenosas, Corrientes. X Jornadas Nacionales de Geografía Física. 26-30 de marzo, Malargüe, Mendoza.
- Cony, N.L.; Ferrer, N.C.; Cáceres, E.J. 2014. Evolución del estado trófico y estructura del fitoplancton de un lago somero de la región pampeana: laguna Sauce Grande (Pcia. de Buenos Aires, Argentina). *Biología Acuática*, 30, 79-91.
- Cony, N. L.; Ferrer, N.C.; Martínez, A.; Cáceres, E.J. 2016. Productividad, estado trófico y dinámica fitoplanctónica en la laguna Sauce Grande y su afluente homónimo (pcia. de Buenos Aires, Argentina). *Biología Acuática*, 31, 50-62.
- Coops, H.; Beklioglu, M.; Crisman, T.L. 2003. The role of water-level fluctuations in shallow lake ecosystems— workshop conclusions. *Hydrobiologia*, 506, 23–27.
- Córdoba, F.; Piovano, E., Pasquini, A. 2006. The 20th-century limnological and rainfall variation across the Pampean plains of central Argentina. Reconstructing Past Regional Climate Variations in South America over the late Holocene: A new PAGES initiative. International Symposium. Malargue, Argentina. Abstracts: 49
- Córdoba, F.E.; Guerra, L.; Cuña Rodríguez, C.; Sylvestre, F.; Piovano, E.L. 2014. Una visión paleolimnológica de la variabilidad hidroclimática reciente en el centro de Argentina: desde la pequeña edad de hielo al siglo XXI. *Latin American journal of sedimentology and basin analysis*, 21(2), 139-163.
- Cremer, H.; Wagner, B.; Melles, M.; Hubberten, H.W. 2001. The postglacial environmental development of Raffles Sø, East Greenland: inferences from a 10,000 year diatom record. *Journal of Paleolimnology*, 26(1), 67-87.
- Cumming, B.F.; Wilson, S.E.; Smol, J.P. 1993. Paleolimnological potential of chrysophyte cysts and scales and of sponge spicules as indicators of lake salinity. *International Journal of Salt Lake Research*, 2(1), 87-92.
- Dangavs, N. 2005. Los ambientes acuáticos de la provincia de Buenos Aires. En: De Barrio, R., Etcheverry, R., Caballé, M. y Llambías, E. (eds.). *Relatorio 16 Congreso Geológico Argentino*, 13: 219-236. La Plata.
- Dangavs, N.V.; Blasi, A.M. 1992. Presencia de yeso en Lobos, Buenos Aires. Argentina. *Revista del Museo de La Plata*, 11(100), 17-32.

- Dangavs, N.V.; Blasi, A.M. 2002. Los depósitos de yeso intrasedimentario del arroyo El Siasgo, partidos de Monte y General Paz, provincia de Buenos Aires. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 57(3), 315-327.
- Davis, W.M. 1899. The Geographical Cycle. *The Geographical Journal*, 14(5), 481. doi:10.2307/1774538
- Davis, M.B.; Ford M.S. 1982. Sediment focusing in Mirror Lake, New Hampshire. *Limnology and Oceanography*, 27, 137–150.
- Darwin, C. 1860. *A Naturalist's Voyage Round the World. The Voyage of the Beagle First Edition*. Chapter VII: 142–143. (The Project Gutenberg EBook, http://www.darwinsgalapagos.com/Darwin_voyage_beagle/darwin_beagle_title.html)
- De Salvo, O.E.; Ceci, H.; Dillon, A. 1969. "Caracteres geológicos de los depósitos eólicos del Pleistoceno superior de Junín (provincia de Buenos Aires)". *IV Jornadas Geológicas Argentinas, Actas I*: 269-292. Buenos Aires.
- De Francesco, C.G.; Isla, F.I. 2004. Reproductive period and growth rate of the freshwater snail *Heleobia parchappii* (d'Orbigny, 1835) (Gastropoda: Rissooidea) in a shallow brackish habitat (Buenos Aires Province, Argentina). *Malacologia*, 45, 443–450.
- Della Bella, V.; Puccinelli, C.; Marcheggiani, S.; Mancini, L. 2007. Benthic diatom communities and their relationship to water chemistry in wetlands of central Italy. In *Annales de Limnologie-International Journal of Limnology*, 43(2), 89-99.
- Demek, J.; Embleton, C.; Gellert, J.F.; Verstappen, H.T. 1972. *Manual of Detailed Geomorphological Mapping*. International Geographical Union Commission on Geomorphological Survey and Mapping. Academia, Praga.
- Denys, L. 1991. A check -list of the diatoms in the holocene deposits of the western belgian coastal plain with a survey of their apparent ecological requirements. *Professional Paper, Ministerie Van Economische Zaken, Belgium*, (246), 44.
- De Nicola, D.M.; Kelly, M. 2014. Role of periphyton in ecological assessment of lakes. *Freshwater Science*, 33(2), 619-638.
- Deschamps, C.M.; Tonni, E.P. 1992. Los vertebrados del Pleistoceno tardío–Holoceno del Arroyo Napostá Grande, provincia de Buenos Aires. Aspectos paleoambientales. *Ameghiniana*, 29 (3), 201–210.
- Deseve, M.A. 1993. Diatom Bloom in the Tidal Fresh-Water Zone of a Turbid and Shallow Estuary, Rupert Bay (James Bay, Canada). *Hydrobiologia*, 269, 225–233.

- Devito, J.; Meik, J.M.; Gerson, M.M.; Formanowicz, D.R. 2004. Physiological tolerances of three sympatric riparian wolf spiders (Araneae: Lycosidae) correspond with microhabitat distributions. *Canadian Journal of Zoology*, 82, 1119–1125
- De Wit, M.J. 1977. The evolution of the Scotia Arc as a key to the reconstruction of southwestern Gondwanaland. *Tectonophysics*, 37(1-3), 53-81.
- Diaz, H.F.; Markgraf, V., 1992. *El Niño*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Díaz, A.; Aceituno, P. 2003. Atmospheric circulation anomalies during episodes of enhanced and reduced convective cloudiness over Uruguay. *Journal of Climate*, 16, 3171–3185.
- Douglas, M.S.V. 2007. PALEOLIMNOLOGY. Overview. *Encyclopedia of Quaternary Science*, 2020–2029. doi:10.1016/b0-44-452747-8/00379-3.
- Doyle, M., Barros, V., 2002. Midsummer low-level circulation in subtropical South America and related precipitation patterns. *Journal of Climate*, 15, 3394–3410.
- Duarte, C.M.; Kalff, J. 1986. Littoral slope as a predictor of the maximum biomass of submersed macrophyte communities. *Limnology and Oceanography*, 1(5), 1072–1080.
- Engel, S.; Nichols, S.A. 1994. Aquatic macrophyte growth in a turbid windswept lake. *Journal of Freshwater Ecology*, 9, 97–109.
- Espinosa, M.A., 1994. Diatom paleoecology of the Mar Chiquita lagoon delta, Argentina. *Journal of Paleolimnology*, 10, 17-23.
- Etcheverría, M.P.; Folguera, A.; Miranda, F.; Faroux, A.J.; Getino, P.R.; Dalponte, M.R. 2009. Hojas Geológicas 3963-III/IV, Colonia Juliá y Echarren / Pedro Luro. Provincias de Río Negro, Buenos Aires y La Pampa. Escala 1:250.000. Instituto de Geología y Recursos Minerales, Servicio Geológico Minero Argentino. Boletín 382: 61 pp. Buenos Aires.
- Fairchild, G.W.; Lowe, R. L.; Richardson, W.B. 1985. Algal periphyton growth on nutrient-diffusing substrates: an in situ bioassay. *Ecology*, 66, 465–472.
- Fernández, A.L. 2012. Palinología del cuaternario tardío en la cuenca inferior del río Colorado, provincia de Buenos Aires, Argentina. Tesis Doctoral (Inédita). Departamento de Geología, Universidad Nacional del Sur: 301pp.

- Ferreira, L.; Saulo, C.; Seluchi, M. 2010. Características de la depresión del Noroeste argentino en el período 1997-2003: criterios de selección y análisis estadístico. *Meteorológica*, 35(1), 17-28.
- Ferrelli, F.; Aliaga, V.S. 2015. Variabilidad de las precipitaciones y sus efectos sobre la respuesta espacio-temporal de cuerpos de agua en la Región Pampeana, Argentina. Trabajo de aplicación final de Especialización en Teledetección y Sistemas de Información Geográfica Aplicados al Estudio del Medio Ambiente. Universidad Nacional de Luján, Luján, Argentina.
- Ferrelli, F. 2016. Efectos de eventos El Niño y La Niña sobre las lagunas del sur de la Región Pampeana (Argentina). *InterEspaço*, 2 (6), 122-142.
- Ferrer, N.C.; Cony, N.L.; Fornerón, C.F.; Piccolo, M.C. 2012. Caracterización del fitoplancton y estado trófico de la laguna Sauce Grande (Provincia de Buenos Aires, Argentina) en el otoño de 2010. *Biología Acuática*, 27, 129-141.
- Fidalgo, F. 1992. Provincia de Buenos Aires—continental. En: Iriondo, M. (Ed.), *El Holoceno en Argentina*, vol. 1, CADINQUA, Paraná, pp. 23–38.
- Fidalgo, F.; De Francesco, F.O.; Colado, U.R., 1973. Geología superficial de las hojas Castelli, J. M. Cobo y Monasterio (Provincia de Buenos Aires). V Congreso Geológico Argentino 4, Córdoba, 1972, pp. 27–39.
- Fidalgo, F.; De Francesco, F.; Pascual, R., 1975. Geología superficial de la llanura bonaerense. VI Congreso Geológico Argentino, Relatorio Geología de la provincia de Buenos Aires: 103-138. Buenos Aires.
- Fidalgo, F.; De Francesco, F.; Colado, U.; Martinez, O.; Gentile, O.; Nuccetelli, G.; Fucks, E. 1999. Cuaternario de la Provincia de Buenos Aires. *Geología Argentina. Anales* N° 29. ISSN 0328-2325. Subsecretaría de Minería de la Nación. Servicio Geol. Minero Arg. Instituto de Geol. y Recursos Minerales. Editor R. Caminos. Cap. 23, pp: 700-702.
- Flower, R. J. 1993. Diatom preservation: Experiments and observations on dissolution and breakage in modern and fossil material. *Hydrobiologia*, 269/270, 473–484.
- Folk, R.L., 1954. The distinction between grain size and mineral composition in sedimentary-rock nomenclature. *Journal of Geology*, 62, 344-359.
- Folk, R.L.; Ward, W.C. 1957. Brazos River bar: a study in the significance of grain size parameters. *Journal of Sedimentary Petrology*, 27, 3-26.

- Folguera, A.; Zárate, M., 2009. La sedimentación neógena continental en el sector extrandino de Argentina central. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 64(4), 692-712.
- Folguera, A.; Zárate, M.; Tedesco, A.; Dávila, F.; Ramos, V. 2015. Evolution of the Neogene Andean foreland basins of the southern Pampas and northern Patagonia (34°- 41°S), Argentina. *Journal of South American Earth Sciences*, 64 (2), 452-466.
- Fontana, S.L. 2003. Pollen deposition in coastal dunes, south Buenos Aires Province, Argentina. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 126, 17–37.
- Fontana, S. L. 2005. Holocene vegetation history and palaeoenvironmental conditions on the temperate Atlantic coast of Argentina, as inferred from multi-proxy lacustrine records. *Journal of Paleolimnology*, 34(4), 445-469.
- Fornerón, C.F. 2013. Hidrografía de la Laguna Sauce Grande (Provincia de Buenos Aires) en época de sequía. Tesis Doctoral. Universidad Nacional del Sur. 216 pp.
- Francus, P. (Ed.) 2006. Image analysis, sediments and paleoenvironments (Vol. 7). Springer Science & Business Media.
- Fregenal Martínez A.; Meléndez, N. 2010. Lagos y sistemas lacustres. En *Sedimentología. Del proceso físico a la cuenca sedimentaria* (Editor Arche). Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), 1290 p. Madrid.
- Frenguelli, J. 1934. Contribuciones al conocimiento de las diatomeas argentinas VIII. Diatomeas del Plioceno superior de las Guayquerías de San Carlos (Provincia de Mendoza). *Revista del Museo de La Plata*, 34, 339-378p.
- Frenguelli, J. 1935. Diatomeas de la Mar Chiquita, al norte de Mar del Plata. *Notas del Museo de la Plata*, tomo I: 129-140.
- Freytet, P.; Verrecchia, E.P. 2002. Lacustrine and palustrine carbonate petrography: An overview. *Journal of Paleolimnology*, 27(2), 221–237.
- Fritz, S.C. 2008. Deciphering climate history from lake sediments. *Journal of Paleolimnology* 39, 5-16.
- Fritz, S.C. 2013. The climate of the Holocene and its landscape and biotic impacts. *Tellus B: Chemical and Physical Meteorology*, 65(1), 20602.
- Fritz, S.; Cumming, B.; Gasse, F.; Laird, K. 1999. Diatoms as indicators of hydrologic and climatic change in saline lakes. In E. Stoermer & J. Smol (Eds.), *The Diatoms:*

Applications for the Environmental and Earth Sciences (pp. 41-72). Cambridge: Cambridge University Press. doi:10.1017/CBO9780511613005.004.

- Fritz S.C.; Baker, P.A.; Tapia, P.; Spanbauer, T.; Westover, K. 2012. Evolution of the Lake Titicaca basin and its diatom flora over the last~370,000 years. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 317/318, 93–103.
- Fritz, S.C.; Anderson, N.J. 2013. The relative influences of climate and catchment processes on Holocene lake development in glaciated regions. *Journal of Paleolimnology*, 49, 349–362.
- Fucks, E.; Pisano, F.; Carbonari, J.; Huarte, R. 2012. Aspectos geomorfológicos del sector medio e inferior de la Pampa Deprimida, provincia de Buenos Aires. *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 25.
- Furlong Cardiff, G. 1937. Cartografía Jesuítica del Río de La Plata. Buenos Aires. Pub. Instituto de Investigaciones Históricas LXXI, 125 pp.
- Gaillard, M.C.; Castellanos, Z.A. 1976. Mollusca Gastropoda Hydrobiidae. In: Fauna de agua dulce de la República Argentina. R.A. Ringuelet (ed): 1–40. FECIC, Buenos Aires.
- García, A. 1993. Quaternary and recent Lamprothamnium groves (Charophyta) from Argentina. *Hydrobiologia*, 267(1-3), 143-154.
- García-Rodríguez, G.; Piovano, E.; del Puerto, L.; Inda, H.; Stutz, S.; Bracco, R.; Panario, D.; Córdoba, F.; Sylvestre, F.; Ariztegui, D. 2009. South American lake paleo-records across the Pampean Region. *PAGES news*, 17, 115-118.
- Garreaud, R.D.; Vuille, M.; Compagnucci, R.; Marengo, J. 2009. Present-day South American climate. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 281(3–4), 180–195.
- Garreaud, R. 2007. Precipitation and circulation covariability in the extratropics. *Journal of Climate*, 20(18), 4789-4797.
- Garreaud, R.D.; Aceituno, P. 2007. Atmospheric circulation over South America: mean features and variability. En T. Veblen, K. Young y A. Orme (eds.), *The physical geography of South America*: 45-66. Oxford, Oxford University Press.
- Genkal, S.I. 1993. Large-Celled, Undulate Species of the Genus *Stephanodiscus* Ehr. In *Ussr Reservoirs: Morphology, Ecology And Distribution*, *Diatom Research*, 8(1), 45-64

- Geraldi, 2009. Estudio Geoambiental De La Cuenca Lagunar Las Encadenadas Del Oeste. Tesis doctoral. Universidad Nacional del Sur, 330p.
- Geraldi, A.M.; Piccolo M.C.; Perillo G.M.E. 2011. El rol de las lagunas bonaerenses en el paisaje pampeano. *Ciencia Hoy*, 21, 9-14.
- Gil, V.; Campos, A. 2012. Geomorfología y procesos de vertiente. Cuenca alta del río Sauce Grande (Buenos Aires, Argentina). *Cuaternario y Geomorfología*, 26(1), 133-150.
- Gómez, E.A.; Perillo, G.M.E., 1995. Sediment outcrops underneath shoreface-connected sand ridges, outer Bahía Blanca estuary, Argentina. *Quaternary of South America and Antarctica Peninsula*, 9(3), 27-42.
- Gillett, N.P.; Kell, T.D.; Jones, P.D. 2006. Regional climate impacts of the Southern Annular Mode. *Geophysical Research Letters*, 33(23), 1–4.
- Gonzalez, M.; Barros, V. 1997: Aspectos estadísticos del ciclo anual de precipitación y sus anomalías en Argentina subtropical. *Meteorologica*, 21, 15–26.
- Gottschalk, S.; Kahlert, M. 2012. Shifts in taxonomical and guild composition of littoral diatom assemblages along environmental gradients. *Hydrobiologia*, 694(1), 41-56.
- Greeley, R.; Iversen, J.D. 1985. Wind as a Geological Process on Earth, Mars, Venus and Titan. Cambridge Univ. Press, New York.
- Grill, S.C. 1993. Estratigrafía y paleoambientes del Cuaternario en base a palinomorfos en la cuenca del arroyo Napostá Grande, provincia de Buenos Aires. Tesis Doctoral (Inédita), Universidad Nacional del Sur, 145p.
- Grill, S.C. 1995. Análisis palinológico de un perfil cuaternario en la cuenca del arroyo Napostá Grande, Localidad García del Río, provincia de Buenos Aires. IV Jornadas Geológicas Bonaerenses, Junín, 99–107.
- Grill, S.C. 1997. Análisis palinológico de un perfil cuaternario en la cuenca media del arroyo Napostá Grande, provincia de Buenos Aires, Argentina. Implicancias paleoambientales. *Polen*, 8, 23–40.
- Grill, S.C.; Quattrocchio, M.E. 1996. Fluctuaciones eustáticas durante el Holoceno a partir del registro de paleomicroplancton, Arroyo Napostá Grande, sur de la provincia de Buenos Aires. *Ameghiniana*, 33 (4), 435–442.
- Grill, S.; Borronei, A.; Martínez, G.; Gutierrez, M.A.; Cornou, M.E.; Olivera, D. 2007. Palynofacial analysis in alkaline soils and paleoenvironmental implications: The Paso

- Otero 5 archaeological site (Necochea district, Buenos Aires province, Argentina). *Journal of South American Earth Sciences*, 24(1), 34-47.
- Grimm, E. 1987. CONISS: a Fortran 77 program for stratigraphically constrained cluster analysis by the method of incremental sum of squares. *Computers & Geosciences*, 13, 13–35.
- Grimm, A.M. 2011. Interannual climate variability in South America: impacts on seasonal precipitation, extreme events, and possible effects of climate change. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 25(4), 537-554.
- Grime, J.P. 1989. The stress debate: symptom of impending synthesis? *Biological Journal of the Linnean Society*, 37, 3–17.
- Guiry, M.D.; Guiry, G.M. 2018. AlgaeBase. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. <http://www.algaebase.org>; searched on 15 March 2018.
- Gustavsson, M.; Kolstrup, E.; Seijmonsbergen, A.C. 2006. A new symbol- and- GIS based detailed geomorphological mapping system: Renewal of a scientific discipline for understanding landscape development. *Geomorphology*, 77, 90-111.
- Gutiérrez, B.T.; Schillizzi, R. 2002. Asociaciones de diatomeas en paleoambientes cuaternarios de la costa sur de la provincia de Buenos Aires, Argentina. *Pesquisas em Geociências*, 29(1), 59-70.
- Haag, S.A. 2012. Hidrografía De La Laguna De Puan (Pcia De Buenos Aires). Tesis de grado. Universidad Nacional del Sur, 67p.
- Håkanson, L. 1977. The influence of wind, fetch, and water depth on the distribution of sediments in Lake Vänern, Sweden. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 14(3), 397-412.
- Håkanson L. 1981. *A Manual of Lake Morphometry*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg 1981. ISBN-13: 978-3-540-10480-3. 87p.
- Håkanson, L. 2004. *Lakes – form and function*. The Blackburn Press, Caldwell, New Jersey, 201pp. ISBN 1-930665-24-5.
- Håkanson L. 2012. Origin of lakes and their and physical characteristics. Chapter. *Encyclopedia of lakes and reservoirs*, Publisher: Springer-Varlag, Editors: Bengtsson, L, Herschy, R.W. and Fairbridge, R.W, pp.585-593.
- Håkanson, L.; Jansson, M. 1983. *Principles of lake sedimentology*. Springer, Berlin, 316 p.

- Håkansson, H.; Kling, H. 1989. A light and electron microscope study of previously described and new *Stephanodiscus* species (Bacillariophyceae) from central and western Canadian lakes, with ecological notes on the species. *Diatom Research*, 4(2), 269-288.
- Håkansson, H.; Regnell, J. 1993. Diatom succession related to land use during the last 6000 years: a study of a small eutrophic lake in southern Sweden. *Journal of Paleolimnology*, 8, 49–69.
- Hassan, G.S.; Tietze, E.; De Francesco, C.G. 2009. Modern diatom assemblages in surface sediments from shallow lakes and streams in southern Pampas (Argentina). *Aquatic sciences*, 71(4), 487-499.
- Hassan, G.S. 2010. Paleocological Significance [ie Significance] of Diatoms in Argentinean Estuaries. Nova Science Publishers.
- Hassan, G.S. 2013. Diatom-based reconstruction of Middle to Late Holocene paleoenvironments in Lake Lonkoy, southern Pampas, Argentina, *Diatom Research*, 28(4), 473-486. DOI: 10.1080/0269249X.2013.851118
- Hay, R.L., 1966. Zeolites and zeolitic reactions in sedimentary rocks. Geological Society of American Special Paper. 85.
- Herrada, M. 2018. La historia del Club de Pesca Tornquist. Noticias Torquist web:<http://noticiastornquist.com.ar/noticias/2016/05/13/la-historia-del-club-de-pesca-tornquist/>
- Hilton, J. 1985. A conceptual framework for predicting the occurrence of sediment focusing and sediment redistribution in small lakes. *Limnology and Oceanography*, 30, 1131–1143.
- Hodson, M.J.; White, P.J.; Mead, A.; Broadley, M.R. 2005. Phylogenetic Variation in the Silicon Composition of Plants. *Annals of Botany*, 96, 1027–1046.
- Hogg, A.G.; Hua, Q.; Blackwell, P.G.; Buck, C.E.; Guilderson, T.P.; Heaton, T.J.; Niu, M.; Palmer, J.; Reimer, P.J. 2013. SHCal13 Southern Hemisphere calibration, 0–50,000 years cal BP. *Radiocarbon*, 55(4), 1889-1903.
- Horning, N. 2004. Selecting the appropriate band combination for an RGB image using Landsat imagery Version 1.0. IN: Technical Report of the American Museum of Natural History, Center for Biodiversity and Conservation. New York.

- Hutchinson, G.E. 1957. *A Treatise on Limnology*, Vol. 1, Geography, Physics, Chemistry. Wiley, New York, 1016 pp.
- Hudon, C.; Legendre, P. 1987. The ecological implications of growth forms in epibenthic diatoms. *Journal of Phycology*, 23, 434–441.
- Hurtado, M.; Dillon, A.; Castillo, R. 1985. Incidencia de factores pedogenéticos en suelos del partido de Carlos Tejedor. *Primeras Jornadas Geológicas de la provincia de Buenos Aires, Actas I*, 23-35, Tandil
- INDEC 2010 Censo Nacional De Población, Hogares Y Viviendas 2010. <https://www.indec.gov.ar/index.asp>
- INTA. Visor GeoINTA. <http://visor.geointa.inta.gob.ar/> Fecha de consulta: mayo de 2018.
- Iriondo, M. 1989. Quaternary lakes of Argentina. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 70(1-3), 81-88.
- Iriondo, M. 1994. Los climas cuaternarios de la región pampena. *Comunicaciones del Museo Provincial de Ciencias Naturales Florentino Ameghino*, 4 (2), 1-48.
- Iriondo, M. 1999. Climatic changes in the South American plains: records of a continent-scale oscillation. *Quaternary International*, 57, 93-112.
- Iriondo, M.H.; García, N.O. 1993. Climatic variations in the Argentine plains during the last 18,000 years. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 101(d),209–220.
- Iriondo, M.; Brunetto, E.; Kröhling, D. 2009. Historical climatic extremes as indicators for typical scenarios of Holocene climatic periods in the Pampean plain. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 283(3–4), 107–119. DOI: 10.1016/j.palaeo.2009.09.005.
- Isla, F.; Cortizo, L.C.; Turno Orellano, H.A. 2001. Dinámica y evolución de las barreras medanosas, Provincia de Buenos Aires, Argentina. *Revista Brasileira de Geomorfología*, 2(1), 73-83.
- Jackson, D.A. 1993. Stopping rules in principal components analysis: a comparison of heuristical and statistical approaches. *Ecology*, 74, 2204-2214.
- Johnson, B.G. 2015. Recommendations for a system to photograph core segments and create stitched images of complete cores. *Journal of Paleolimnology*, 53(4),437–444.

- Julius, M.L.; Theriot, E.C. 2010. The diatoms: a primer. En *The diatoms: Applications for the environmental and earth sciences*. Cambridge University Press, Cambridge, 23-54.
- Kelly, M.G.; Bennion, H.; Cox, E.J.; Goldsmith, B.; Jamieson, J.; Juggins S.; Mann, D.G.; Telford R.J. 2005. *Common freshwater diatoms of Britain and Ireland: an interactive key*. Environment Agency, Bristol. (craticula.ncl.ac.uk/EADiatomKey/html/).
- Kerekes J. 1977. The Index of Lake Basin Permanence. *Internationale Revue der gesamten Hydrobiologie und Hydrographie*, 62(2), 291-293.
- Kilham, S.S.; Kilham P. 1975. *Melosira granulata* (Ehr). Ralfs: morphology and ecology of a cosmopolitan freshwater diatom. *Verhandlungen Internationalen Vereinigung für theoretische und angewandte Limnologie*, 19, 2716–2721.
- Kilhan, S.; Theriot, E.C.; Fritz, S.C. 1996. Linking planktonic diatoms and climate change in the large lakes of the Yellowstone ecosystem using resource theory. *Limnology and Oceanography*, 41,1052–1062
- Klimaszewski, M. 1965. The detailed Hydrographical map of Poland. *Przeglad Geograficzny* 28, supplement. Polish Academy of Sciences, Institute of Geography. 41–47.
- Kociolek, J.P. 2012. Diatoms of the Southern California Bight. http://dbmuseblade.colorado.edu/DiatomTwo/dscb_site/index.php. Accessed on day/Month/Year.
- Kodoma, Y. 1992. Large-scale common features of subtropical precipitation zones (the Baiu frontal zone, the SPCZ and the SACZ). Part I: characteristic of subtropical frontal zones. *Journal of Meteorology Society of Japan*. 70, 813–836.
- Krammer, K.; Lange-Bertalot, H. 1991. *Süsswasserflora von Mitteleuropa. Bacillariophyceae*, vol 1 part 4. Achnanthaceae. Gustav Fisher Verlag, Jena-Stuttgart
- Krammer, K.; Lange-Bertalot, H. 1999. *Süsswasserflora von Mitteleuropa. Bacillariophyceae*, vol 1 part 1 Naviculaceae. Gustav Fisher Verlag, Jena-Stuttgart
- Krammer, K.; Lange-Bertalot, H. 2000. *Süsswasserflora von Mitteleuropa. Bacillariophyceae*, vol 1 part 3. Centrales, Fragilariaceae, Eunotiaceae. Gustav Fisher Verlag, Jena- Stuttgart.
- Krüger, R.H.; Venazi, S.; Gimenez, M.A. 2011. Análisis de suelos. ¿Por casa como andamos?. Informe técnico de la EEA Bordenave. 4 p.

- Laguens, A. 1993. Locational structure of archaeological underground storage pits in northwest Córdoba, Argentina. *Revista do Museo de Arqueologia e Etnologia*, 3, 1733.
- Lange, K.; Liess, A.; Piggott, J.J.; Townsend, C.R.; Matthaei, C.D. 2011. Light, nutrients and grazing interact to determine stream diatom community composition and functional group structure. *Freshwater Biology*, 56(2), 264-278.
- Leland, H.V.; Berkas, W.R. 1998. Temporal variation in plankton assemblages and physicochemistry of Devils Lake, North Dakota. *Hydrobiologia*, 377, 57-71.
- Larsen, C.P.S.; MacDonald, G.M. 1993. Lake morphometry, sediment mixing and the selection of sites for fine resolution palaeoecological studies. *Quaternary Science Reviews*, 12, 781-792.
- Leavitt, P.R.; Fritz, S.C.; Anderson, N.J.; Baker, P.A.; Blenckner, T.; Bunting, L.; Catalan, J.; Conely, D.J.; Hobbs, W.O.; Jeppesen, E.; Korhola, A.; McGowan, S.; Rühland, K.; Rusak, J.A.; Simpson, G.L.; Solovieva, N.; Werne, J. 2009. Paleolimnological evidence of the effects on lakes of energy and mass transfer from climate and humans. *Limnology and Oceanography*, 54, 2330–2348.
- Lehman, J.T. 1975. Reconstructing the rate of accumulation of lake sediment: The effect of sediment focusing. *Quaternary Research*, 5, 541– 550.
- Leira, M.; Cantonati, M. 2008. Effects of water-level fluctuations on lakes: an annotated bibliography. In *Ecological effects of water-level fluctuations in lakes* (pp. 171-184). Springer, Dordrecht.
- Leira, M.; Filippi, M.L.; Cantonati, M. 2015. Diatom community response to extreme water-level fluctuations in two Alpine lakes: a core case study. *Journal of paleolimnology*, 53(3), 289-307.
- Leland, H.V.; Berkas, W.R. 1998. Temporal variation in plankton assemblages and physicochemistry of Devils Lake, North Dakota. *Hydrobiologia*, 377, 57–71.
- Lesta, P.J.; Turic, M.A.; Mainardi, E. 1978. Actualización de la información estratigráfica en la Cuenca del Colorado. En *Congreso Geológico Argentino*, 7, Actas 1: 701-713. Neuquén.
- Lesta, P.; Mainardi, E.; Stubelj, R. 1980. Plataforma continental argentina. En *2º Simposio de Geología Regional Argentina* (Turner J. C. M.; editor), 2: 1577-1601.
- Li, B.; Sun, D.; Xu, W.; Wang, F.; Liang, B.; Ma, Z.; Wang, X.; Li, Z.; Chen, F. 2017. Paleomagnetic chronology and paleoenvironmental records from drill cores from the

- Hetao Basin and their implications for the formation of the Hobq Desert and the Yellow River. *Quaternary Science Reviews*, 156, 69–89.
- Liebmann, B.; Kiladis, G.; Marengo, J.; Ambrizzi, T.; Glick, J.D. 1999. Submonthly convective variability over South America and the South Atlantic Convergence Zone. *Journal of Climate*, 11, 2898–2909.
- Lowe, R.L. 1974. Environmental requirements and pollution tolerance of freshwater diatoms. United States Environment Protection Agency, 333 pp.
- Luckman, B.H.; Villalba, R. 2001. Assessing the synchronicity of glacier fluctuations in the western cordillera of the Americas during the last millennium. In: Markgraf V (ed) *Interhemispheric Climate Linkages*. Academic Press, New York
- Mancini, M.V.; Paez, M.M.; Prieto, A.R.; Stutz, S.; Tonello, M.; Vilanova, I. 2005. Mid-Holocene climatic variability reconstruction from pollen records (32–52 S, Argentina). *Quaternary International*, 132(1), 47-59.
- Manera De Bianco, T.; Aramayo, S.A; Zavala, C.; Caputo R. 2008 Yacimiento Paleocnológico de Pehuen Co. Un patrimonio natural en peligro. Libro: "Sitios de Interés Geológico" Editores del libro: Comisión Sitios de Interés Geológico de la República Argentina (CSIGA). Instituto de Geología y Recursos Minerales. Servicio Geológico Minero Argentino. Artes Gráficas Papiros S.A.C.L., Buenos Aires. pp. 509 – 520
- Markgraf, V. 1991. Late Pleistocene environmental and climatic evolution in southern South America. *Bamberger Geographische Schriften Band*, 11, 271–281.
- Markgraf, V. 1993: Climatic history of Central and South America since 18,000 yr BP: comparison of pollen records and model simulations. En Wright, H.E., Kutzbach, J.E., Webb, T. III, Ruddiman, W.F., Street-Perrott, F.A. and Bartlein, P.J., editors, *Global climates since the Last Glacial Maximum*, Minneapolis: University of Minnesota Press, 357–385.
- Markgraf, V. 2000. Pole-Equator-Pole Paleoclimates of the Americas: PEP 1 A Review. In *Southern Hemisphere Paleo-and Neoclimates*, Springer, Berlin, Heidelberg. pp. 103-123.
- Marengo, J. A.; Rogers, J.C. 2001. Polar air outbreaks in the Americas: Assessments and impacts during modern and past climates. En *Interhemispheric climate linkages*, pp. 31-51).

- Mayewski, P.; Rohling, E.; Curt Stager, J.; Karlén, W.; Maasch, K.; Meeker, L.; Meyerson, E.A.; Gasse, F.; van Kreveland, S.; Holmgren, K.; Lee-Thorp, J.; Rosqvist, G.; Rack, F.; Staubwasser, M.; Schneider, R.R.; Steig, E. 2004. Holocene climate variability. *Quaternary Research*, 62(3), 243-255. doi:10.1016/j.yqres.2004.07.001
- Mc Kee, T.; Doesken, N.; Kleist, J. 1995. "Drought monitoring with multiple time scales", Ninth Conference on Applied Climatology, American Meteorological Society, 223-236.
- Melo, W.D.; Schillizzi, R.; Perillo, G.M.E.; Piccolo, M.C. 2003. Influencia del área continental pampeana sobre el origen y la morfología del estuario de Bahía Blanca. *Revista Asociación Argentina de Sedimentología* 10: 65-72.
- Melo, W.D.; Perillo, G.M.E.; Perillo, M.M.; Schilizzi, R.; Piccolo, M.C. 2013. Late Pleistocene-Holocene deltas in the Southern Buenos Aires Province, Argentina. In *Deltas: Landforms, Ecosystems and Human Activities* (Gordon Young and Gerardo M.E. Perillo; editors), IAHS Publ. 358: 187-195. Gothenburg
- Martínez, G. 2004. Resultados preliminares de las investigaciones arqueológicas realizadas en el curso inferior del río Colorado. Aproximaciones contemporáneas a la arqueología pampeana. Perspectivas teóricas, metodológicas, analíticas y casos de estudio. *FACSO-UNICEN, Olavarría*, 275-292.
- Metzeltin, D.; Lange-Bertalot, H. 1998. Tropical diatoms of South America I: About 700 predominantly rarely known or new taxa representative of the neotropical flora. *Iconographia Diatomologica* 5: 3-695, 220 pls..
- Millard, A.R. 2014. Conventions For Reporting Radiocarbon Determinations. *Radiocarbon*, 56(2), 555–559.
- Mitrovic, S.M.; Chessman, B.C.; Davie, A.; Avery, E.L.; Ryan, N. 2008. Development of blooms of *Cyclotella meneghiniana* and *Nitzschia* spp.(Bacillariophyceae) in a shallow river and estimation of effective suppression flows. *Hydrobiologia*, 596(1), 173-185.
- Mosciaro, A.M.; Dimuro, V.A. 2011. Zonas agroeconómicas homogéneas Buenos Aires Sur. Estudios socioeconómicos de la sustentabilidad de los sistemas de producción y recursos naturales. Area de Economía y Sociología- EEA INTA Balcarce. 298p. ISSN 1851-6955.
- Moro, R.; Fürstenberger, C. 1997. *Catalogo dos Principais Parametros Ecologicos de Diatomaceas Não-Marinhas*. Editora da Universidade Estadual de Ponta Grossa, Parana, Brazil. 282 pp.

- Muhs, D.R.; Zárate, M. 2001. Late Quaternary eolian records of the Americas and their paleoclimatic significance. In: Markgraf W (ed) Interhemispheric climate linkages. Academic Press, New York
- Muza, M.; Carvalho, L.; Jones, C.; Liebmann, B. 2009. Intraseasonal and interannual variability of extreme dry and wet events over Southeastern South America and Subtropical Atlantic during the Austral summer. *Journal of Climate*, 22,1682-1699.
- Mycielska-Dowgiało, E.; Ludwikowska-Kędzia, M. 2011. Alternative interpretations of grain-size data from Quaternary deposits. *Geologos*, 17(4),189-203.
- National Aeronautics and Space Administration (NASA), 1999. Landsat 7 Science Data Users Handbook. https://landsat.gsfc.nasa.gov/wp-content/uploads/2016/08/Landsat7_Handbook.pdf.
- Nederbragt, A.J.; Dunbar, R.B.; Osborn, A.T.; Palmer, A.; Thurow, J.W.; Wagner, T., 2006. Sediment colour analysis from digital images and correlation with sediment composition. Geological Society, London, Special Publications, 267(1), 113-128.
- New, M.G.; Hulme, M.; Jones, P.D. 1999: Representing 20th century space-time climate variability. I: Development of a 1961-1990 mean monthly terrestrial climatology. *Journal of Climate*, 12, 829-856.
- Nogues-Paegle, J.; Mo, K.C. 1997. Alternating wet and dry conditions over South America during summer. *Monthly Weather Review*. 125, 279–291.
- Nogues-Paegle, J.; Mo, K.C. 2002. Linkages between summer rainfall variability over south America and sea surface temperature anomalies. *Journal of Climate* 15:1389-1407.
- NRC (National Research Council) 2005. The Geological Record of Ecological Dynamics – Understanding the Biotic Effects of Future Environmental Change. National Academies Press, Washington, DC, 200 pp.
- Ojala, A.E., 2005. Application of X-ray radiography and densitometry in varve analysis. In *Image analysis, sediments and paleoenvironments* (pp. 187-202). Springer, Dordrecht.
- Oksanen, J.F.; Blanchet, G.; Friendly, M.; Kindt, R.; Legendre, P.; McGlinn, D.; Minchin, P.R.; O'Hara, R.B.; Simpson, G.L.; Solymos, P.; Henry, M.; Stevens, H.; Szoecs, E.; Wagner, H., 2017. *vegan: Community Ecology Package*. R package version 2.4-3. <https://CRAN.R-project.org/package=vegan>.
- Olcina, A.G.; Cantos, J.O. 2017. El Niño y la Niña y otros patrones de variabilidad de baja frecuencia. En *Tratado de climatología*. Universidad de Alicante.pp. 466-506.

- Olcina, A.G.; Cantos, J.O. 2017. Tratado de climatología. Universidad de Alicante. 949p.
- Oliva, F.; Moirano, J.; Saghessi, M. 1991 Estado de las investigaciones arqueológicas en el sitio Laguna de Puan 1. En: Boletín del Centro n° 2: 127-138. La Plata.
- Oliva, F.; Avila, J.D.; Catella, L.; Gallego, M.; Merino, M.; San Cristóbal, J. 2006. OCTI 1 Primera Etapa de la Propuesta de Manejo de los Recursos Culturales y Naturales de la Isla de Puan, Provincia de Buenos Aires. En: Apuntes del CEAR 1: 5-57. CEAR, FHUMyAR, UNR.
- Oliva, M.G.; Lugo, A.; Alcocer, J.; Cantoral-Uriza, E.A. 2008. Morphological study of *Cyclotella choctawhatcheeana* Prasad (Stephanodiscaceae) from a saline Mexican lake. *Saline systems*, 4(17), 1-9.
- Padisák, J. 1993. The influence of different disturbance frequencies on the species richness, diversity and equitability of phytoplankton in shallow lakes. *Hydrobiologia*, 249, 135–156.
- Padisák, J.; Crossetti, L.O.; Naselli-Flores L. 2009. Use and misuse in the application of the phytoplankton functional classification: a critical review with updates. *Hydrobiologia*, 621, 1–19.
- Panizza, M.C.; Oliva, F.; Devoto, M.G. 2016. Investigaciones arqueológicas en la casa del primer intendente de la localidad de Puan, provincia de Buenos Aires. *Teoría y Práctica de la Arqueología Histórica Latinoamericana*, 5, 131-144.
- Passy, S.I. 2007. Diatom ecological guilds display distinct and predictable behavior along nutrient and disturbance gradients in running waters. *Aquatic Botany*, 86(2), 171–178.
- Pearse, J.R.; Lindley, D.; Stevenson, D.C. 1981. Wind flow over ridges in simulated atmospheric boundary layers. *Boundary Layer Meteorol.*, 21, 77-92.
- Pedraza Gilsanz, J.D. 1996. Geomorfología: principios, métodos y aplicaciones (No. 551.4 PED).
- Perillo, G.M.E., 2001. Hacia una nomenclatura y clasificación de formas de fondo transversales formadas por flujos de agua. *Revista de la Asociación Argentina de Sedimentología* 8(2), 15-34.
- Piccolo, M.C.; Capelli, A.; Campo, A. 2002. La sequía de 1995 en la región pampeana argentina. In: *Desastres Naturales en América Latina*. Fondo de Cultura Económica. Cap. IX: México D.F., pp 189–206.

- Piovano, E.; Ariztegui, D.; Damatto-Moreira, S. 2002, Recent environmental changes in Laguna Mar Chiquita (Central Argentina): A sedimentary model for a highly variable saline lake: *Sedimentology*, 49, 1371-1384.
- Piovano, E. L., Larizzatti, F.E.; Fávoro, D.I.; Oliveira, S.M.; Damatto, S.R.; Mazzilli, B.P.; Ariztegui, D. 2004. Geochemical response of a closed-lake basin to 20th century recurring droughts/wet intervals in the subtropical Pampean Plains of South America. *Journal of Limnology*, 63(1), 21-32.
- Piovano, E.L.; Ariztegui, D.; Córdoba, F.; Cioccale, M.; Sylvestre, F. 2009. Hydrological variability in South America below the Tropic of Capricorn (Pampas and Patagonia, Argentina) during the last 13.0 Ka. En *Past climate variability in South America and surrounding regions* (pp. 323-351). Springer, Dordrecht.
- Piovano, E.; Ariztegui, D.; Córdoba, F.; Cioccale, M.; Sylvestre, F. 2009. Hydrological variability in South America below the Tropic of Capricorn (Pampas and eastern Patagonia, Argentina) during the last 13.0 ka. En F. Vimeux, F. Sylvestre y M. Khodri (Eds.), *Past climate variability from the Last Glacial Maximum to the Holocene in South America and Surrounding regions: From the Last Glacial Maximum to the Holocene*. Springer- *Developments in Paleoenvironmental Research Series*: 323-351.
- Piovano, E.L.; Córdoba, F.E.; Stutz, S. 2014. Limnogeology in Southern South America: an overview. *Latin American journal of sedimentology and basin analysis*, 21(2), 65-75.
- Piperno, D.R. 2006. *Phytolith. A comprehensive guide for archaeologists and paleoecologists*. Altamira Press. Lanham. 238 pp.
- Politis, G. 1984. Climatic variations during historical times in Eastern Buenos Aires Pampas. Argentina. *Quaternary of South America and Antarctic Peninsula*, 2, 133-161.
- Prasad, A.K.; Nienow, J.A. 2006. The centric diatom genus *Cyclotella*, (Stephanodiscaceae: Bacillariophyta) from Florida Bay, USA, with special reference to *Cyclotella choctawhatcheeana* and *Cyclotella desikacharyi*, a new marine species related to the *Cyclotella striata* complex. *Phycologia*, 45(2), 127-140.
- Prieto, A.R. 1996. Late Quaternary vegetational and climatic changes in the Pampa grassland of Argentina. *Quaternary research*, 45(1), 73-88.
- Prieto, M. del R.; Herrera, R.G. 1991. Las perturbaciones climáticas de fines del siglo XVIII en el área andina. Junta de Andalucía. Proyecto NOA 1, 7-35.

- Prieto, A.R.; Blasi, A.M.; De Francesco, C.G.; Fernández, C. 2004. Environmental history since 11,000 14-C y B.P. of the northeastern Pampas, Argentina, from alluvial sequences of the Lujan River. *Quaternary Research*, 62,146–161
- Quattrocchio, M.; Kostadinoff, J.; Martínez, G.; Prieto, A.P. 1994. Neotectonic evidence in Sauce Chico River, Buenos Aires Province. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 49 (3-4), 197-305.
- Quattrocchio, M. E.; Borrromei, A. M. 1998. Paleovegetational and paleoclimatic changes during the late Quaternary in southwestern Buenos Aires Province and southern Tierra del Fuego (Argentina). *Palynology*, 22(1), 67-82.
- Quattrocchio, M.E.; Borrromei, A.M., Deschamps, C.M.; Grill, S.C.; Zavala, C.A. 2008. Landscape evolution and climate changes in the Late Pleistocene–Holocene, southern Pampa (Argentina): evidence from palynology, mammals and sedimentology. *Quaternary International*, 181(1), 123-138.
- Quirós, R. 1988. Relationships between air temperature, depth, nutrients and chlorophyll in 103 Argentinian lakes. *Internationale Vereinigung fur theoretische und angewandte Limnologie Verhandlungen* 23:647-658.
- Quirós, R.; Rennella, A.; Boveri, M.; Rosso, J.J.; Sosnovsky, A. 2002. Factores que afectan la estructura y el funcionamiento de las lagunas pampeanas. *Ecología Austral* 12:175–185.
- Quirós, R. 2005. La ecología de las lagunas de las pampas. *Investigación y Ciencia*, 1(6) 1–13
- Quirós, R.; Boveri, M.B.; Petracchi, C.A.; Rennella, A.M.; Rosso, J.J.; Sosnovsky, A.; Von Bernard, H.T. 2006. Los efectos de la agriculturización del humedal pampeano sobre la eutrofización de sus lagunas (p: 1-16). En J.G. Tundisi, T. Matsumura-Tundisi, C. Sidagis Galli (eds.). *Eutrofização na América do Sul: Causas, conseqüências e tecnologias de gerenciamento e controle*, Instituto Internacional de Ecologia, Instituto Internacional de Ecologia e Gerenciamento Ambiental, Academia Brasileira de Ciências, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, Inter-Academy Panel on International Issues, InterAmerican Network of Academies of Sciences. 531p.
- R Core Team 2017. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>

- Rabassa, J. 1982. Variación regional y significado geomorfológico de la densidad de drenaje en la cuenca del Río Sauce Grande, Provincia de Buenos Aires. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 37, 239–256.
- Ramos, V.A. 1984. Patagonia: Un continente paleozoico a la deriva? *Actas del IX Congreso Geológico Argentino*, (S.C. de Bariloche), II: 311-325.
- Ramos, V.A. 1999. Las Provincias Geológicas del Territorio Argentino. En A: Caminos (ed.) *Geología Argentina*. Instituto de Geología y Recursos Naturales. *Anales* (29-3): 41-96.
- Randsalu-Wendrup, L.; Conley, D.J.; Carstensen, J.; Fritz, S.C. 2016. Paleolimnological records of regime shifts in lakes in response to climate change and anthropogenic activities. *Journal of Paleolimnology*, 56(1), 1-14.
- Reed, J.M. 1998. Diatom preservation in the recent sediment record of Spanish saline lakes: Implications for palaeoclimate study. *Journal of Paleolimnology*, 19, 129–137.
- Reta R.; Martos, P.; Perillo, G.M.E.; Piccolo, M.C.; Ferrante A. 2001. Características hidrográficas del estuario de la laguna Mar Chiquita. In: Iribarne O. (eds), *Reserva de Biosfera Mar Chiquita: Características físicas, biológicas y ecológicas*. Editorial Martín, Mar del Plata, Argentina, pp. 31–52.
- Reynolds, C.S. 1988. The concept of biological succession applied to seasonal periodicity of phytoplankton. *Verhandlungen des Internationalen Verein Limnologie*, 23, 683–691.
- Reynolds, C.S.; Padisák, J.; Sommer, U. 1993. Intermediate disturbance in the ecology of phytoplankton and the maintenance of species diversity: a synthesis. *Hydrobiologia* 249: 183–188.
- Reynolds, C.S. 2006. *Ecology of phytoplankton*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Rimet, F.; Bouchez, A. 2012a. Biomonitoring River Diatoms: Implications of Taxonomic Resolution. *Ecological Indicators*, 15, 92–99.
- Rimet, F.; Bouchez, A. 2012b. Life-forms, cell-sizes and ecological guilds of diatoms in European rivers. *Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems*, (406), p.1. Available at: <http://www.kmae-journal.org/10.1051/kmae/2012018>.
- Rimoldi, H.; Suriano, J. 1999. *Mapa Geológico y Minero de la provincia de Buenos Aires* (Escala: 1:750.000). SEGEMAR, Buenos Aires.
- Rivera, P.; Cruces, F.; Vila, I. 2002. Primera cita de *Stephanodiscus agassizensis* Hakansson & Kling (Bacillariophyceae) en Chile. *Gayana. Botánica*, 59(2), 79-86.

- Rodbell, D.; Seltzer, G.O.; Anderson, D.M.; Abbott, M.B.; Enfield, D.B.; Newman, J.H. 1999. An 15,000 year record of El Niño-driven alluviation in southwestern Ecuador. *Science*, 283, 516520.
- Rojas, L.A.; Hassan, G.S., 2017. Distribution of epiphytic diatoms on five macrophytes from a Pampean shallow lake: host-specificity and implications for paleoenvironmental reconstructions. *Diatom Research*, 32(3), pp.263–275.
- Round, F.E; Crawford ,R.M., Mann D.G. 1990. *The diatoms: biology & morphology of the genera*. Cambridge University Press.
- Rumrich, U.; Lange-Bertalot, H.; Rumrich, M. 2000. Diatoms of the Andes. From Venezuela to Patagonia/Tierra del Fuego and two additional contributions. En: Lange-Bertalot, H. (ed.), *Iconographia Diatomologica. Annotated Diatom Micrographs. Vol. 9. Phytogeography-Diversity-Taxonomy*. Koeltz Scientific Books, Königstein, Germany, 673 pp
- Ryding, S.O.; Rast, W. 1992. *El control de la eutrofización en lagos y pantanos*. Madrid: Pirámide.
- Ryves, D.B.; Battarbee, R.W.; Juggins, S.; Fritz, S.C.; Anderson, N.J. 2006. Physical and chemical predictors of diatom dissolution in freshwater and saline lake sediments in North America and West Greenland. *Limnology and Oceanography*, 51(3), 1355-1368.
- Sabancı, F.Ç. 2013. Species of mastogloia (bacillariophyceae) - new for the aegean coast of Turkey. *Mediterranean Marine Science*, 14(1), pp.129–140.
- Salso, J.H. 1966. La cuenca de Macachín, provincia de la Pampa. Nota preliminar. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 21(2): 107-117.
- Sánchez, M.L.; Lagomarsino, L.; Allende, L.; Izaguirre, I. 2014. Changes in the phytoplankton structure in a Pampean shallow lake in the transition from a clear to a turbid regime. *Hydrobiologia*, 752(1), 65-76.
- Sar, E.A.; Sala, S.E.; Sunesen, I.; Henninger, M.S.; Montastruc, M. 2009. Catálogo de los géneros, especies y taxa infraespecificos erigidos por J. Frenguelli. En *Diatom Monographs, Volume 10*, Andrzej Witkowski (Eds), ARG Gantner Verlag K. G. editorial, Alemania. 419 pp.
- Sayer, C.D.; Hoare, D.J.; Simpson, G.L.; Henderson, A.C.G.; Liptrot, E.R.; Jackson, M.J.; Appleby, P.G.; Boyle, J.F.; Jones, J.I.; Waldock, M.J. 2006. TBT causes regime shifts in shallow lakes. *Environmental Science Technology*, 40, 5269–5275.

- Schäbitz, F. 2003. Estudios polínicos del Cuaternario en las regiones áridas del sur de Argentina. *Revista del Museo Argentino de Ciencias Naturales nueva serie*, 5(2), 291-299.
- Sellés- Martinez, J. 2001. Geología de la Ventania (Provincia de Buenos Aires (Argentina)). *Journal of Iberian Geology*, 27, 43-69.
- Seluchi, M.E.; Saulo, C.; Nicolini, M.; Satyamurty, P. 2003. The northwestern Argentinean Low: a study of two typical events. *Monthly Weather Review*, 131, 2361–2378.
- Scheffer, M.; Hosper, S.H.; Meijer, M.L.; Moss, B.; Jeppesen, E. 1993. Alternative equilibria in shallow lakes. *Trends in ecology & evolution*, 8(8), 275-279.
- Scheffer, M.; Carpenter, S.; Foley, J.A.; Folke, C.; Walker, B. 2001. Catastrophic shifts in ecosystems. *Nature*, 413(6856), 591.
- Scheffer, M. 2004. *Ecology of shallow lakes*. Springer Science & Business Media.
- Schindler, D.; Knapp, R.; Leavitt, P. 2001. Alteration of nutrient cycles and algal production resulting from fish introductions into mountain lakes. *Ecosystems* 4: 308–321.
- Scian, B. 2010. Clima de Bahía Blanca y sudoeste bonaerense. En: *Ambientes y recursos naturales del partido de Bahía Blanca: clima, geomorfología, suelos y aguas*. 1ª ed. Editor: Paoloni, J.D., Universidad Nacional del Sur, Ediuns, 81-87 pp.
- Seitz, C.; Vélez, M.I.; Perillo, G.M.E., 2019. Cenozoic Geologic Evolution of the Lower Colorado River Basin, Northern Patagonia, Argentina. *Andean Geology*, 46(1), 131-152.
- Sheppard, R.A.; Gude, A.J. 1968, Distribution and genesis of authigenic silicate minerals in tuffs of Pleistocene Lake Tecopa, Inyo County California. U.S. Geological Survey Professional Paper 597, 38 p.
- Smol, J.P. 2002. *Pollution of Lakes and Rivers – A paleoenvironmental perspective*. Arnold, London. 250 pp.
- Song, C.; Bai, J.; Zhao, Y.; Jing, H.; Meng, Q. 2005. The color of lacustrine sediments recorded climatic changes from 13 to 4. 5 Myr in Linxia Basin. *Acta Sedimentologica Sinica*, 23, 507-513 (In Chinese with English abstract).
- Spaulding, S.A.; Lubinski, D.J.; Potapova, M. 2010. *Diatoms of the United States*. <http://westerndiatoms.colorado.edu> Accessed on 12 March, 2018.

- Spalletti, L.A.; Isla, F.I., 2003. Características y evolución del delta del Rio Colorado "colú-leuvú", Provincia de Buenos Aires, República Argentina. *Revista de la Asociación Argentina de Sedimentología*, 10(1), 23-37.
- Stenger-Kovács, C.; Lengyel, E.; Crossetti, L.O.; Üveges, V.; Padisák, J. 2013. Diatom ecological guilds as indicators of temporally changing stressors and disturbances in the small Torna-stream, Hungary. *Ecological Indicators*, 24, 138-147.
- Stone, J.R.; Fritz, S. 2004. Three-dimensional modeling of lacustrine diatom habitat areas: improving paleolimnological interpretation of planktic: benthic ratios. *Limnology and Oceanography*, 49(5), 1540–1548.
- Stutz, S.; Borel, C.M.; Fontana, S.L.; Tonello, M.S. 2012. Holocene changes in trophic states of shallow lakes from the Pampa plain of Argentina. *The Holocene*, 22(11), 1263-1270.
- Stutz, S.; Tonello, M.S.; Sagrario, M.G.; Navarro, D.; Fontana, S.L. 2014. Historia ambiental de los lagos someros de la llanura Pampeana (Argentina) desde el Holoceno medio: inferencias paleoclimáticas. *Latin American Journal of Sedimentology and Basin Analysis*, 21(2), 119-138.
- Sun, D.; Bloemendal, J.; Rea, D.K.; Vandenberghe, J.; Jiang, F.; An, Z.; Su, R. 2002. Grain-size distribution function of polymodal sediments in hydraulic and aeolian environments, and numerical partitioning of the sedimentary components. *Sedimentary Geology*, 152(3-4), 263-277.
- Talbot, M.R.; Allen, P.A. 1996. Lakes. In: Reading, H.G., Ed., *Sedimentary Environments: Processes, Facies and Stratigraphy*, 3rd Edition, Blackwell Science, Oxford, 83-124.
- Tapolczai, K.; Bouchez, A.; Stenger-Kovács, C.; Padisák, J.; Rimet, F. 2016. Trait-based ecological classifications for benthic algae: review and perspectives. *Hydrobiologia*, 776(1), 1-17.
- Thornthwaite, C.W. 1948. An approach toward a rational classification of climate. *Geographical Review*, 38, 55-94.
- Timms, B.V. 1992. *Lake Geomorphology*. Australia: Gleneagles Publishing.
- Tonello, M.S.; Prieto, A.R. 2010. Tendencias climáticas para los pastizales pampeanos durante el Pleistoceno tardío-Holoceno: Estimaciones cuantitativas basadas en secuencias polínicas fósiles. *Ameghiniana*, 47(4), 501–514.

- Tonni, E.P.; Cione, A.L.; Figini, A.J. 1999: Predominance of arid climates indicated by mammals in the pampas of Argentina during the Late Pleistocene and Holocene. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 147, 257–81.
- Tonni, E.P.; Cione, A.L.; Figini, A.J. 2001. Chronology of Holocene Pedogenetic Events in the Pampean Area of Argentina. *Current Research in the Pleistocene*, 18, 124–127.
- Tricart, J. 1965. *Principes et Méthodes de la Géomorphologie*. Masson & Cie, Paris. 466p
- Tricart, J.F.L. 1973. *Geomorfología de la Pampa Deprimida*. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Buenos Aires, Argentina. 202p.
- Trøels-Smith J. 1955. Karakterisering af lø se jordarter Danmarks Geologiske Undersøgelse Series IV. 3(10), 73 pp.
- Tuchman, M.L.; Theriot, E.; Stoermer, E.F. 1984. Effects of low level salinity concentrations on the growth of *Cyclotella meneghiniana*Kütz. (Bacillariophyta). *Archiv für Protistenkunde*, 128(4), 319–326. Disponible en: [http://dx.doi.org/10.1016/S0003-9365\(84\)80003-2](http://dx.doi.org/10.1016/S0003-9365(84)80003-2).
- Tucker, M. E. 2003. *Sedimentary rocks in the field*. John Wiley & Sons.
- Twiss, P.C. 1992. Predicted world distribution of C3 and C4 grass phytoliths. In: Rapp G.Jr. and Mullholland H. (eds), *Phytoliths Systematics*. Plenum Press, New York, pp. 113–127.
- Urien, C.M.; Zambrano, J.J. 1996. Estructura del margen continental. En Ramos V.A. y M.A. Turic (Eds), *Geología y recursos naturales de la plataforma continental Argentina*. 13 Congreso Geológico Argentino y 3 Congreso de Exploración de Hidrocarburos, Relatorio 3: 29-65.
- Valero-Garcés, B.L.; Kelts, K. 1995. A sedimentary facies model for perennial and meromictic saline lakes: Holocene Medicine Lake Basin, South Dakota, USA. *Journal of Paleolimnology*, 14, 123–149.
- Valero-Garcés, B.L.; Moreno, A. 2011. Iberian lacustrine sediment records: responses to past and recent global changes in the Mediterranean region. *Journal of Paleolimnology*, 46, 319-325.
- Valero-Garcés, B.; Morellón, M.; Moreno, A.; Corella, J.P.; Martín-Puertas, C.; Barreiro, F.; Pérez, A.; Giralt, S.; Mata-Campo, M.P. 2014. Lacustrine carbonates of iberian karst lakes: sources, processes and depositional environments. *Sedimentary Geology*, 299, 1-29.

- Van Dam, H.; Mertens, A.; Sinkeldam, J. 1994. A coded checklist and ecological indicator values of freshwater diatoms from The Netherlands. Netherlands. *Journal of Aquatic Ecology*, 28(1), 117–133.
- Van der Grinten, E.; Janssen, M.; Simis, S.G.H.; Barranguet, C.; Admiraal, W. 2004. Phosphate regime structures species composition in cultured phototrophic biofilms. *Freshwater Biology*, 49, 369–381.
- Van Geest, G.J.; Roozen, F.; Coops, H.; Roijackers, R.M.M.; Buijse, A.D.; Peeters, E.; Scheffer, M. 2003. Vegetation abundance in lowland flood plan lakes determined by surface area, age and connectivity. *Freshwater Biology*, 48, 440–454.
- Velasco, I.; Fritsch, J.M. 1987: Mesoscale convective complex in the Americas. *Journal of Geophysical Research*, 92, 9591–9613.
- Vera, C.; Higgins, W.; Amador, J.; Ambrizzi, T.; Garreaud, R.; Gochis, D.; Gutzler, D.; Lettenmaier, D.; Marengo, J.; Mechoso, C.; Noguès-Paegle, J.; Silva Diaz, P.L.; Zhang, C. 2006. Towards a unified view of the American Monsoon System. *Journal of Climate*, 19, 4977-5000.
- Vicente-Serrano, S.M.; Beguería, S.; López-Moreno, J.I. 2010. A multiscalar drought index sensitive to global warming: The standardized precipitation evapotranspiration index. *Journal of Climate*, 23(7), 1696-1718. <http://dx.doi.org/10.1175/2009JCLI2909.1>.
- Vicente-Serrano, S.M.; Beguería, S. 2016. SPEI Global Drought Monitor. Disponible en: <http://sac.csic.es/spei/home.html>. Acceso, 15 de Enero 2016.
- Viglizzo, E.F.; Lértora, F.; Pordomingo, A.J.; Bernardos, J.N.; Roberto, Z.E.; Del Valle, H. 2001. Ecological lessons and applications from one century of low external-input farming in the pampas of Argentina. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 83, 65-81.
- Vilmi, A.; Tolonen, K.T.; Karjalainen, S.M.; Heino, J. 2017. Metacommunity structuring in a highly-connected aquatic system: effects of dispersal, abiotic environment and grazing pressure on microalgal guilds. *Hydrobiologia*, 790(1), 125-140.
- Villamil, C.B.; Scofield, R. 2003. Evaluación preliminar de la diversidad vegetal en el partido de Villarino (provincia de Buenos Aires). *Actas de las II Jornadas Interdisciplinarias del Sudoeste Bonaerense*, 3, 209-219.
- Villalba, R. 1994. Tree-ring and glacial evidence for the Medieval Warm Epoch and the Little Ice Age in Southern South America. *Climate Change*, 26, 183–197

- Visconti, G. 2007. Sedimentología de la Formación Cerro Azul (Mioceno superior) de la provincia de La Pampa, Argentina. Tesis Doctoral, Universidad de La Pampa, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, (inédita), 208 p., La Plata.
- Vogt, H.; Vogt, T.; Calmels, A.P., 2010. Influence of the post-Miocene tectonic activity on the geomorphology between Andes and Pampa Deprimida in the area of Provincia de La Pampa, Argentina. *Geomorphology*, 121(3), 152-166.
- Wallsten, M.; Forsgren, P.O. 1989. The effects of increased water-level on aquatic macrophytes. *Journal of Aquatic Plant Management*, 27, 32-37.
- Wang, K.; Li, Q.; Yang, Y.; Zeng M.; Li, P.; Zhang, J. 2015. Analysis of spatio-temporal evolution of droughts in Luanhe River Basin using different drought indices. *Water Science and Engineering*, 8(4), 282-290. <http://dx.doi.org/10.1016/j.wse.2015.11.004>
- Williamson, C.E.; Dodds, W.; Kratz, T.K.; Palmer, M.A. 2008. Lakes and streams as sentinels of environmental change in terrestrial and atmospheric processes. *Frontier in Ecology and the Environment*, 6, 247–254.
- Williamson, C.E.; Saros, J.E.; Schindler, D.W. 2009. Sentinels of change. *Science*, 323 (5916):887-888.
- Wu, Y.; Li, S. 2004. Significance of lake sediment color for short time scale climate variation. *Advance in Earth Sciences*, 19, 789-792 (en Chino con resumen en inglés).
- Yrigoyen, M.R. 1975. Geología del subsuelo y plataforma continental. En Congreso Geológico Argentino, No 6. Relatorio: 139-168. Bahía Blanca.
- Yrigoyen, M.R. 1999. Los depósitos cretácicos y terciarios de las cuencas del Salado y del Colorado. En *Geología Argentina* (R. Caminos; Editor), Servicio Geológico Minero Argentino, Instituto de Geología y Recursos Minerales, 29, 645-650. Buenos Aires.
- Zambrano, J.J. 1972. La cuenca del Colorado. *Geología Regional Argentina* (Leanza, A.F.; Editor), Academia Nacional de Ciencias: 419-437. Córdoba.
- Zambrano, J.J. 1974. Cuencas sedimentarias en el subsuelo de la provincia de Buenos Aires y zonas adyacentes. *Revista Asociación Geológica Argentina*, 29(4), 443-469.
- Zárate, M.A. 1991. Late Pleistocene and Holocene landscape evolution in the southeastern Buenos Aires province, Argentina. *Bamberger Geographische Schriften*, Band 11 S. 135–138.
- Zárate, M. 2003. Loess of southern South America. *Quaternary Science Review*, 22, 1987–2006.

- Zárate, M.; Blasi, A. 1993. Late Pleistocene-Holocene eolian deposits of the Southern Buenos Aires Province, Argentina: a preliminary model. *Quaternary International*, 17, 15-20.
- Zárate, M.; Espinosa, M.; Ferrero, L. 1998: Paleoenvironmental implications of a Holocene diatomite. *Quaternary of South America and Antarctic Peninsula*, 12, 135–152.
- Zárate, M.; Kemp, R.A.; Espinosa, M.; Ferrero, L. 2000. Pedosedimentary and palaeoenvironmental significance of a Holocene alluvial sequence in the southern Pampas, Argentina. *The Holocene*, 10(4), 481-488.
- Zárate, M.A.; Tripaldi, A. 2012. The aeolian system of central Argentina. *Aeolian Research*, 3(4), 401-417.
- Zavala, C. 1993. Estratigrafía de la localidad de Farola del Monte Hermoso (Plioceno-reciente), provincia de Buenos Aires. 12º Congreso Geológico Argentino y 2º Congreso de Exploración de Hidrocarburos, Actas 2, 228- 235.
- Zavala, C.; Quattrocchio, M. 2001. Estratigrafía y evolución geológica del río Sauce Grande (Cuaternario), provincia de Buenos Aires, Argentina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 56 (1), 25-37.
- Zavala, C.; García, L.; Di Meglio, M. 2005. Redes de drenaje y paleoclimas en el Cuaternario del sur de la provincia de Buenos Aires. XVI Congreso Geológico Argentino. Artículo N° 156. 2pp. La Plata.
- Zech, W; Zech, M.; Zech, R.; Peinemann, N.; Morrás, H.J.M.; Moretti, L., Ogle, N.; Kalimf, R.M.; Fuchs, M.; Schadh, P.; Glaser, B. 2008 Late Quaternary palaeosol records from subtropical (38°S) to tropical (16°S) South America and palaeoclimatic implications. *Quaternary International*, 196, 107-120. doi:10.1016/j.quaint.2008.01.005a
- Zhang, Y.; Wallace, J.M.; Battisti, D.S. 1997. ENSO-like inter-decadal variability: 1900-93. *Journal of Climate*, 10, 1004-1020.
- Zhou, J.; Lau, K.M. 1998. Does a monsoon climate exist over South America? *Journal of Climate* 11:1020-1040.
- Zunino, J. 2018. Lagunas someras como ecosistemas centinelas de la variabilidad climática: respuesta de las comunidades fitoplanctónicas. Tesis doctoral. Universidad Nacional del Sur, 166 pp.

ANEXOS

ANEXO I: Ecología de las diatomeas y clasificación en base al gremio ecológico.

Referencias: E: Epifítica; B: Bentónica; Aer: Aerófila; P: Planctónico; Tp: Ticoplanctónico; H: Halobio; OI: Oligohalobio Indiferente; OH: Oligohalobio Halobio; M: Mesohalobio; Alf: Alcalófilo; Acb: Acidobiótico; N: Circumneutro; I: Indiferente; Eu: Eutrófico; Mt: Mesotrófico; Ot: Oligotrófico; PB: Gremio de perfil Bajo; PA: Gremio de perfil Alto; Mo: Gremio Móvil (basado en van Dam et al., 1994; Moro y Fürstenberger, 1997; Hassan et al., 2009).

PUAN

Nº	Especie de Diatomea	Autor	Forma de vida	Salinidad	pH	Nutrientes	Gremio Ecológico
1	<i>Achnanthes marginulata</i>	Grunow en Cleve & Grunow 1880	A	-	Acf	-	PB
2	<i>Amphora copulata</i>	(Kützing) Schoeman & Archibald 1986	E/B	OI	N-Alf	Eu	PB
3	<i>Anomoeoneis sphaerophora</i> cf. <i>costata</i>	(Kützing) Schmid 1977	L/B	M	Alf	-	Mo
4	<i>Cocconeis placentula</i>	Ehrenberg 1838	E	OI	Alf	Eu/Mt	PB
5	<i>Denticula elegans</i>	Kützing 1844	Aer/B	OH	Alf	Ot	Mo
6	<i>Denticula valida</i>	Pedicino Grunow van Heurck 1885	Aer/B	-	-	-	Mo
7	<i>Hantzschia amphioxys</i>	(Ehrenberg) Grunow 1880	Aer	OI	I-Alf	Eu/Dys	Mo
8	<i>Luticula mutica</i>	(Kützing) Mann 1990	Aer/B	OH	Alf	Eu	Mo
9	<i>Pinnularia borealis</i>	Ehrenberg 1843	B	OI	I	Mt	Mo
10	<i>Pinnularia viridis</i>	(Nitzsch) Ehrenberg 1843	B	OI	I-Alf	Mt	Mo
11	<i>Rhopalodia gibba</i>	(Ehrenberg) Otto Müller 1895	Aer/B	OI	Alf	Eu	Mo

12	<i>Rhopalodia gibberlula</i>	(Ehrenberg) Otto Müller 1895	E	OH	Alf	Eu	Mo
13	<i>Chaetocero cf. muelleri</i>	Lemmermann 1898	P	M	Alf	Eu	-
15	<i>Amphora coffeaeformis</i>	(C.Agardh) Kützing 1844	E/B	M	Alf	Eu	PB
16	<i>Amphora veneta</i>	Kützing 1844	E/B	OH	Alf	Eu	PB
17	<i>Pinnularia cf. gigas</i>	Ehrenberg 1843	B	-	Acf	Ot	Mo
18	<i>Campylodiscus clypeus</i>	((Ehrenberg) Ehrenberg ex Kützing 1844)	B	M	Alf	Eu	Mo
19	<i>Diploneis elliptica</i>	(Kützing) Cleve 1894	L/B	I	Alf	-	PA
20	<i>Fragilaria ulna</i>	(Nitzsch) Lange-Bertalot 1980	E	OI	Alf	Eu	PB
21	<i>Hippodonta hungarica</i>	(Grunow) Lange-Bertalot, Metzeltin y Witkowski 1996	B	OI	Alf	Mt	Mo
22	<i>Mastogloia elliptica</i>	(C.Agardh) Cleve 1893	E/B	M	Alf	-	Mo
23	<i>Navicula capitatoradiata</i>	H.Germain 1981	E/B	HI	Alf	Eu	Mo
24	<i>Navicula phyllepta</i>	Kützing 1844	E/B	OM	-	-	Mo
25	<i>Nitzschia cf. lacuum</i>	Lange-Bertalot 1980	E/B	MI	Alf	Ot	Mo
26	<i>Nitzschia compressa</i>	(Bailey) Boyer 1916	B	M-H	I	I-Ot	Mo
27	<i>Nitzschia minuta</i>	Bleisch 1860	B	OI	-	-	Mo
28	<i>Nitzschia sp. 1</i>	-	-	-	-	-	Mo
29	<i>Nitzschia sp. 2</i>	-	-	-	-	-	Mo
30	<i>Nitzschia sp. 3</i>	-	-	-	-	-	Mo
31	<i>Pinnularia gibba</i>	(Ehrenberg) Ehrenberg 1843	P/B	OI	Acf- I	Ot- Eu	Mo
32	<i>Planotidium sp.</i>	-	-	-	-	-	PB
33	<i>Rhopalodia musculus</i>	(Kützing) Otto Müller 1900	E	M	I	Eu	Mo
34	<i>Surirella striatula</i>	Turpin 1828	B	M	I	Eu	Mo

35	<i>Surirella ovalis</i>	Brebisson 1838	P/B	M	Alf	Eu	Mo
36	<i>Tryblionella apiculata</i>	Gregory 1857	P/B	M	Alf	Eu	Mo
37	<i>Cyclotella meneghiniana</i>	Kützing 1844	Tp	M/OH	Alf	Eu	PL
38	<i>Cymbella cf. affinis</i>	Kützing 1844	L/B	I	Alf	Ot-Eu	PB
39	<i>Navicula vulpina</i>	Kützing 1844	L/B	OI	Alf	Mt	Mo
40	<i>Nitzschia cf. perminuta</i>	(Grunow) M.Peragall o 1903	B	OI	Alf	Ot-Eu	Mo
41	<i>Nitzschia cf. scalpelliformis</i>	Grunow 1880	B	M	Acb	I	Mo
42	<i>Nitzschia vermicularis</i>	(Kützing) Hantzsch 1860	B	I	Alf	Ot-Eu	Mo
43	<i>Pseudostaurosira brevistriata</i>	(Grunow in Van Heurck) Williams et Round (1987)	E/B	OI	Alf	Ot- Eu(Hy)	PA
44	<i>Nitzschia cf. levidensis</i>	(W.Smith) Grunow 1881	B	-	Alf	Euri	Mo

LOS CHILENOS

Nº	Especie de Diatomea	Autor	Forma de vida	Salinidad	pH	Nutrientes	Gremio Ecológico
1	<i>Denticula sp.</i>		Aer	-	-	-	Mo
2	<i>Hantzschia amphioxys</i>	(Ehrenberg) Grunow 1880	Aer	OI	I-Alf	Eu/Dys	Mo
3	<i>Luticula mutica</i>	(Kützing) Mann 1990	Aer/B	OH	Alf	Eu	Mo
4	<i>Navicula veneta</i>	Kützing 1844	B	M/OH	Alf	Eu	Mo
5	<i>Pinnularia borealis</i>	Ehrenberg 1843	B	OI	I	Mt	Mo
6	<i>Rhopalodia gibba</i>	(Ehrenberg) Otto Müller 1895	Aer/B	OI	Alf	Eu	Mo
7	<i>Amphora copulata</i>	(Kützing) Schoeman & Archibald 1986	E/B	OI	N-Alf	Eu	PB
8	<i>Cocconeis placentula</i>	Ehrenberg 1838	E	OI	Alf	Eu/Mt	PB
9	<i>Achnanthes sp.</i>	-	-	-	-	-	PB
10	<i>Amphora coffeaeformis</i>	(C.Agardh) Kützing 1844	E/B	M	Alf	Eu	PB

11	<i>Anomoeoneis sphaerophora</i>	(Kützing) Pfitzer 1871	B	OH	Alf	Eu	PB
12	<i>Craticula cf. buderi</i>	(Hustedt) Lange- Bertalot in Rumrich et al., 2000	B	M	Alf	Eu	Mo
13	<i>Cymatopleura solea</i> var. <i>apiculata</i>	(W.Smith) Ralfs in Pritchard 1861	B	M	-	Eu	Mo
14	<i>Cymbella proxima</i>	Reimer in Patrick & Reimer 1975	B	OH	-	-	PA
15	<i>Diploneis krammeri</i>	Lange- Bertalot & E.Reichardt 2000	B	OH	Alf	Ot	PA
16	<i>Ephithemia adnata</i>	(Kützing) Brébisson 1838	E	OI	Alb	Eu/Mt	Mo
17	<i>Epithemia sorex</i>	Kützing 1844	E	OH	Alf	Eu	Mo
18	<i>Fragilaria ulna</i>	(Nitzsch) Lange- Bertalot 1980	E	OI	Alf	Eu	PB
19	<i>Fragilaria vaucheriae</i>	(Kützing) Peters.(1938)	E	I	Alf	Eu	PB
20	<i>Gomphoneis olivaceum</i>	(Hornemann) P. Dawson ex Ross & Sims 1978	E	OH	-	Eu/Dys	PA
21	<i>Gomphonema gracile</i>	Ehrenberg (1838)	B	OI	Alf/I	Ot	PA
22	<i>Gomphonema pseudoaugur</i>	Lange- Bertalot (1979)	B	-	Alf	-	PA
23	<i>Gyrosigma acuminatum</i>	(Kützing) Rabenhorst 1853	B	OH	Alb	Eu	Mo
24	<i>Hippodonta hungarica</i>	(Grunow) Lange- Bertalot, Metzeltin y Witkowski 1996	B	OI	Alf	Mt	Mo
25	<i>Navicula capitatoradiata</i>	H.Germain 1981	E/B	HI	Alf	Eu	Mo
26	<i>Navicula cf. stankovici</i>	Hustedt 1945	B	-	-	-	Mo
27	<i>Navicula peregrina</i>	(Ehrenberg) Kützing 1844	B	M	Alf	Eu	Mo
28	<i>Navicula phyllepta</i>	Kützing 1844	E/B	OM	-	-	Mo
29	<i>Navicula quechua</i>	Lange- Bertalot & U.Rumrich	B	-	-	-	Mo
30	<i>Navicula sp.</i>	-	-	-	-	-	Mo
31	<i>Navicula sp.</i>	-	-	-	-	-	Mo

32	<i>Navicula tripunctata</i>	(O.F. Müller) Bory 1827	E/B	OI	Alf	Eu	Mo
33	<i>Nitzschia compressa</i>	(Bailey) Boyer 1916	B	M-H	I	I-Ot	Mo
34	<i>Nitzschia inconspicua</i>	Grunow 1862	B	M	Alf	Eu	Mo
35	<i>Nitzschia obtusa</i> var. <i>sodalis</i>	Frenguelli, 1934	E	-	-	-	Mo
36	<i>Nitzschia palea</i> var. <i>tenuirostris</i>	Grunow in Van Heurck 1881	B	-	-	-	Mo
37	<i>Nitzschia solgensis</i>	Cleve-Euler 1952	B		Alf	Ot	Mo
38	<i>Nitzschia</i> sp. 1	-	-	-	-	-	Mo
39	<i>Nitzschia</i> sp. 2	-	-	-	-	-	Mo
40	<i>Nitzschia</i> sp.3	-	-	-	-	-	Mo
41	<i>Nitzschia incognita</i>	Legler & Krasske 1940	B	OH	-	-	Mo
42	<i>Pinnularia</i> <i>brevicostata</i> var. <i>misionera</i>	Frenguelli 1953	B	-	-	-	Mo
43	<i>Pinnularia gibba</i>	(Ehrenberg) Ehrenberg 1843	P/B	OI	Acf- I	Ot- Eu	Mo
44	<i>Pinnularia</i> sp.1	-	-	-	-	-	Mo
45	<i>Placoneis</i> cf. <i>pseudanglica</i>	(Lange- Bertalot) E.J.Cox 1988	-	-	-	-	Mo
46	<i>Rhopalodia acuminata</i>	Krammer in Lange- Bertalot y Krammer 1987	E	OI	-	-	Mo
47	<i>Surirella brightwellii</i>	W. Smith 1853	E	OI	Alf	Po/ Hy	Mo
48	<i>Surirella</i> cf. <i>nevadensis</i>	Hanna y Grant, 1931	B	H	Alf	-	Mo
49	<i>Surirella rorata</i>	Frenguelli 1935	-	-	-	-	Mo
50	<i>Surirella</i> sp.	-	-	-	-	-	Mo
51	<i>Surirella striatula</i>	Turpin 1828	B	M	I	Eu	Mo
52	<i>Tryblionella apiculata</i>	Gregory 1857	P/B	M	Alf	Eu	Mo
53	<i>Cyclotella Meneghiniana</i>	Kützing 1844	Tp	M/OH	Alf	Eu	PL
54	<i>Nitzschia</i> cf. <i>communis</i>	Rabenhorst 1860	E/B	OI	Alf/Alb	Euri	Mo
55	<i>Nitzschia</i> cf. <i>perminuta</i>	(Grunow) M.Peragallo 1903	B	OI	Alf/Alb	Ot/Mt	Mo
56	<i>Pseudostaurosira</i> <i>brevistriata</i>	(Grunow in Van Heurck) Williams et Round (1987)	E/B	OI	Alf	Ot- Eu(Hy)	PA
57	<i>Staurosira construens</i> var. <i>venter</i>	(Ehrenberg) Hamilton 1992	Tp	OH	Alf	Eu/Mt	PA

58	<i>Chaetocero sp.</i>	-	-	-	-	-	PL
59	<i>Nitzschia cf. commutata</i>	Grunow in Cleve y Grunow 1880	P	-	-	-	Mo
60	<i>Stephanodiscus agassizensis</i>	Håkansson y Kling 1989	P	M	Alf	Eu-Mt	PL
61	<i>Actinocyclus curvatulus</i>	Janisch in A.Schmidt et al., 1878	P	-	-	-	PL
62	<i>Aulacoseira granulata</i> var. <i>australiensis</i>	(Grunow) Moro 1991	P	OI	Alf	Ot-Mt	PL
63	<i>Aulacoseira granulata</i> var. <i>granulata</i>	(Ehrenberg) Simonsen 1979	P	OI	Alf	Eu	PL
64	<i>Aulacoseira granulata</i> var. <i>angustissima</i>	(Otto Müller) Simonsen 1979	P	OI	Alf	Eu	PL
65	<i>Cyclotella</i> aff. <i>comensis</i>	Grunow in Van Heurck 1882	P	OI	Neu	Ot	

SAUCE GRANDE

Nº	Especie de Diatomea	Autor	Forma de vida	Salinidad	pH	Nutrientes	Gremio Ecológico
1	<i>Hantzschia amphioxys</i>	(Ehrenberg) Grunow 1880	Aer	OI	I-Alf	Eu/Dys	Mo
2	<i>Luticula mutica</i>	(Kützing) Mann 1990	Aer/B	OH	Alf	Eu	Mo
3	<i>Amphora copulata</i>	(Kützing) Schoeman y Archibald 1986	E/B	OI	N-Alf	Eu	PB
4	<i>Cocconeis placentula</i>	Ehrenberg 1838	E	OI	Alf	Eu/Mt	PB
5	<i>Epithemia sorex</i>	Kützing 1844	E	OH	Alf	Eu	Mo
6	<i>Navicula cryptocephala</i>	Kützing 1844	B	I	Alf	Eu	Mo
7	<i>Anomoeoneis sphaerophora</i>	(Kützing) Pfitzer 1871	B	OH	Alf	Eu	PB
8	<i>Campylodiscus clypeus</i>	((Ehrenberg) Ehrenberg ex Kützing 1844)	B	M	Alf	Eu	Mo
9	<i>Cymbella proxima</i>	Reimer in Patrick y Reimer 1975	B	-	-	-	PA
10	<i>Epithemia adnata</i>	(Kützing) Brébisson 1838	E	OI	Alb	Eu/Mt	Mo
11	<i>Epithemia turgida</i>	(Ehrenb.) Kütz. 1844	E	I	Alf	Eu	Mo

13	<i>Ulnaria cf. ulna</i>	(Nitzsch) Lange- Bertalot 1980	E	OI	Alf	Ot- Eu(Hy)	PB
14	<i>Hippodonta hungarica</i>	(Grunow) Lange- Bertalot, Metzeltin y Witkowski 1996	B	OI	Alf	Mt	Mo
15	<i>Mastogloia elliptica</i>	(C.Agardh) Cleve 1893	E/B	M	Alf	-	Mo
16	<i>Navicula peregrina</i>	(Ehrenberg) Kützing 1844	B	M	Alf	Eu	Mo
17	<i>Nitzschia cf. obtusa var. sodalis</i>	Frenguelli, 1934	E	M	-	-	Mo
18	<i>Nitzschia cf. lacuum</i>	Lange- Bertalot 1980	E/B	MI	Alf	Ot	Mo
19	<i>Nitzschia cf. liebetruthii</i>	Rabenhorst (1864)	-	-	-	-	Mo
20	<i>Nitzschia sp. 1</i>	-	-	-	-	-	Mo
21	<i>Staurosira construens var. venter</i>	(Ehrenberg) Hamilton 1992	Tp	OH	Alf	Eu/Mt	PA
22	<i>Rhopalodia gibba</i>	(Ehrenberg) Otto Müller 1895	Aer/B	OI	Alf	Eu	Mo
23	<i>Surirella rorata</i>	Frenguelli 1935	P/L	S	-	-	Mo
24	<i>Surirella striatula</i>	Turpin 1828	B	M	I	Eu	Mo
25	<i>Tryblionella apiculata</i>	Gregory 1857	P/B	M	Alf	Eu	Mo
26	<i>Pseudostaurosira cf. subsalina</i>	Hustedt E.A.Morales 2005	P/Tp	H	Alf	Mt/Eu	PA
27	<i>Staurosira cf. longirostris</i>	(Frenguelli) Metzeltin, Lange- Bertalot y García- Rodríguez (2005)	P	OH	Alf	-	PA
28	<i>Cyclotella meneghiniana</i>	Kützing 1844	Tp	M/OH	Alf	Eu	Mo
29	<i>Navicula cryptotenella</i>	Lange- Bertalot in Krammer y Lange- Bertalot 1985	Li	I	Alf	Eu	Mo
30	<i>Nitzschia amphibia</i>	Grunow 1862	P/B	I	Alf	Eu	Mo
31	<i>Nitzschia cf. paleacea</i>	(Grunow) Grunow in Van Heurck 1881	E/B	I	Alf	Eu	Mo
32	<i>Pinnularia maior</i>	(Kützing) Rabenhorst 1853	B	OH/I	Acf/I	Ot	Mo
33	<i>Planothidium delicatulum</i>	(Kützing) Round y	E	M	-	Eu	PB

		Bukhtiyarova 1996					
34	<i>Pseudostaurosira brevistriata</i>	(Grunow in Van Heurck) Williams et Round (1987)	E/B	OI	Alf	Ot- Eu(Hy)	PA
35	<i>Rhopalodia musculus</i>	(Kützing) Otto Müller 1900	E	M	I	Eu	Mo
36	<i>Staurosira aff. venter</i>	(Ehrenberg) Cleve y J.D.Möller 1879	B	OH/I	Alf	Mt/Eu	PA
37	<i>Staurosirella pinnata</i>	(Ehrenberg) Williams y Round 1987	P/B	I	Alf	Mt/Eu	PA
38	<i>Stephanodiscus agassizensis</i>	Håkansson y Kling 1989	P	OI	Alf	Eu-Mt	PL
39	<i>Actinocyclus curvatulus</i>	Janisch in A.Schmidt et al., 1878	P	M	-	-	PL
40	<i>Aulacoseira granulata var. australiensis</i>	(Grunow) Moro 1991	P	OI	Alf	Ot-Mt	PL
41	<i>Aulacoseira granulata var. granulata</i>	(Ehrenberg) Simonsen 1979	P	OI	Alf	Eu	PL
42	<i>Aulacoseira granulata var. angustissima</i>	(Otto Müller) Simonsen 1979	P	OI	Alf	Eu	PL

LA SALADA

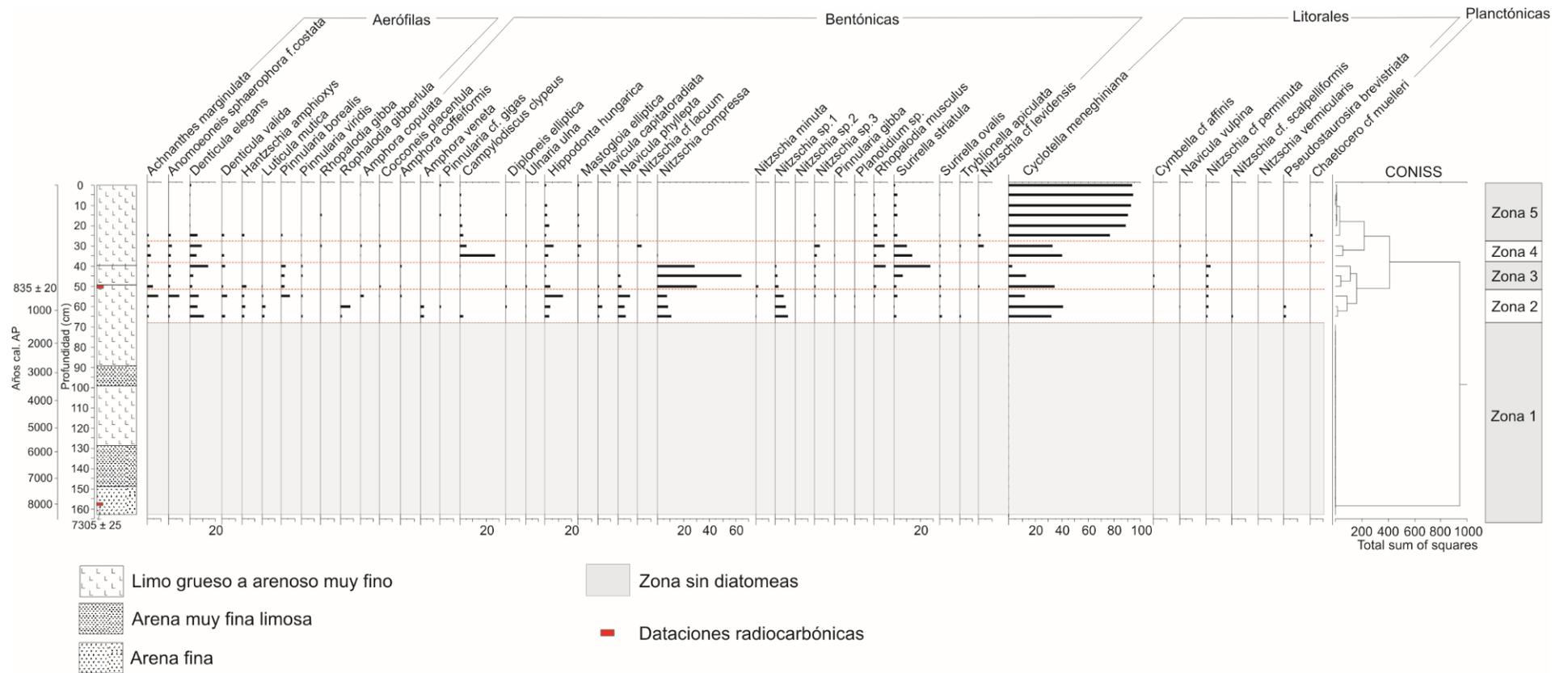
Nº	Especie de Diatomea	Autor	Forma de vida	Salini- dad	pH	Nutrien- tes	Gremio Ecoló- gico
1	<i>Achnanthes cf. exigua</i>	Grunow in Cleve y Grunow 1880	E/P	M	Alf	Eu	PB
2	<i>Diploneis interrupta</i>	(Kützing) Cleve 1894	Aer	M	Alf	-	PB
3	<i>Hantzschia amphioxys</i>	(Ehrenberg) Grunow 1880	Aer	OI	I-Alf	Eu/Dys	Mo
4	<i>Luticula mutica</i>	(Kützing) Mann 1990	Aer/B	OH	Alf	Eu	Mo
5	<i>Amphora copulata</i>	(Kützing) Schoeman y Archibald 1986	E/B	OI	N-Alf	Eu	PB
6	<i>Cocconeis placentula</i>	Ehrenberg 1838	E	OI	Alf	Eu/Mt	PB
7	<i>Achnanthes brevipes</i>	C.Agardh 1824	P/E	M	Alf	-	PA

8	<i>Achnanthes sp.</i>	-	B	-	-	-	PA
9	<i>Achnanthidium sp.1</i>	-	-	-	-	-	PB
10	<i>Achnanthidium sp.2</i>	-	-	-	-	-	PB
11	<i>Amphora coffeaeformis</i>	(C.Agardh) Kützing 1844	E/B	M	Alf	Eu	PB
12	<i>Pinnularia cf. gigas</i>	Ehrenberg 1843	B	-	Acf	Ot	Mo
13	<i>Campylodiscus clypeus</i>	((Ehrenberg) Ehrenberg ex Kützing 1844)	B	M	Alf	Eu	Mo
14	<i>Craticula pampeana</i>	(Frenguelli) Lange- Bertalot en Lange- Bertalot et al., 2003	B	OI	Alf	-	Mo
15	<i>Denticula sp.</i>		B	-	-	-	Mo
16	<i>Diploneis elliptica</i>	(Kützing) Cleve 1894	L/B	I	Alf	-	PA
17	<i>Ephithemia adnata</i>	(Kützing) Brébisson 1838	E	OI	Alb	Eu/Mt	Mo
18	<i>Ephithemia sp</i>	-	E	-	-	-	Mo
19	<i>Gomphonema truncatum</i>	Ehrenberg 1832	E	OI		Eu/Dys	PA
20	<i>Gyrosigma acuminatum</i>	(Kützing) Rabenhorst 1853	B	OH	Alb	Eu	Mo
21	<i>Hippodonta hungarica</i>	(Grunow) Lange- Bertalot, Metzeltin y Witkowski 1996	B	OI	Alf	Mt	Mo
22	<i>Mastogloia elliptica</i>	(C.Agardh) Cleve 1893	E/B	M	Alf	-	Mo
23	<i>Mastogloia pumila</i>	(Grunow) Cleve 1895	B	M	-	-	Mo
24	<i>Navicymbula cf. pusilla</i>	(Grunow) Krammer 2003	B	M	-	-	PB?
25	<i>Nitzschia compressa</i>	(Bailey) Boyer 1916	B	M-H	I	I-Ot	Mo
26	<i>Nitzschia sp. 1</i>	-	-	-	-	-	Mo
27	<i>Nitzschia sp. 2</i>	-	-	-	-	-	Mo
28	<i>Opephora cf. pacifica</i>	(Grunow) Petit 1888	E/B	M	-	-	PA
29	<i>Pinnularia borealis</i>	Ehrenberg 1843	B	OI	I	Mt	Mo
30	<i>Pinnularia sp.</i>	-	-	-	-	-	Mo
31	<i>Rhopalodia gibba</i>	(Ehrenberg) Otto Müller 1895	Aer/B	OI	Alf	Eu	Mo

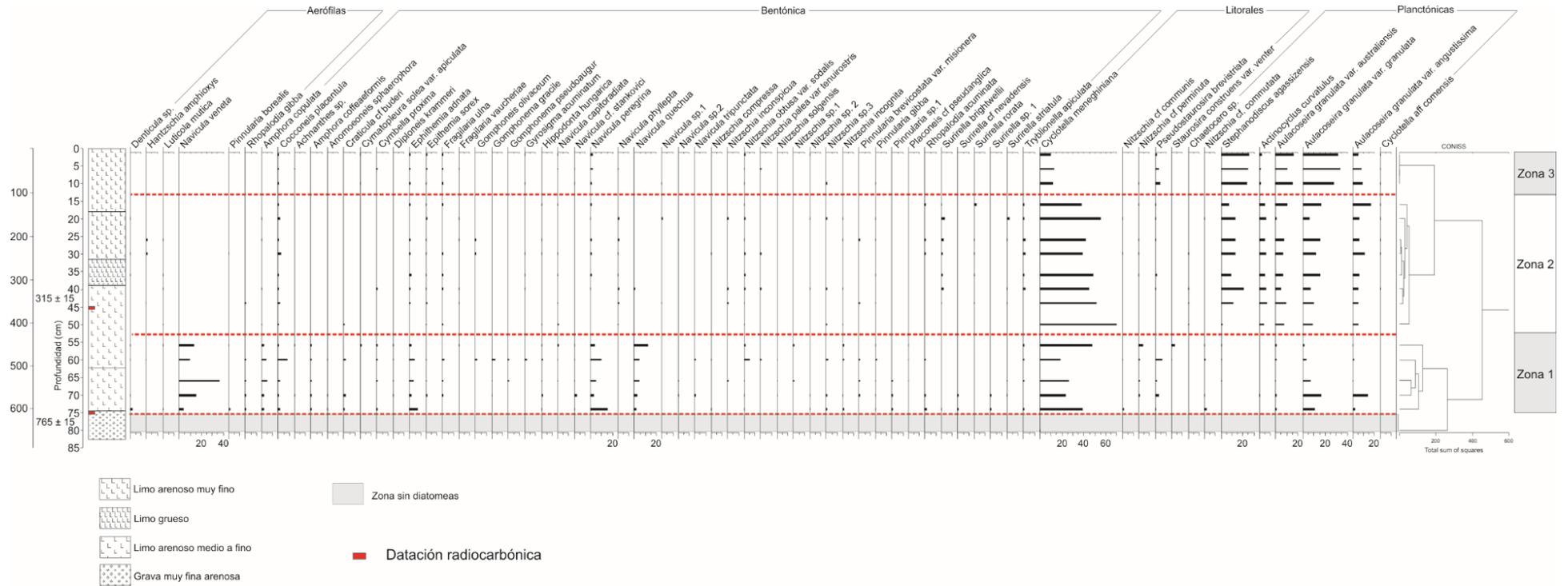
32	<i>Rhopalodia musculus</i>	(Kützing) Otto Müller 1900	E	M	I	Eu	Mo
33	<i>Surirella striatula</i>	Turpin 1828	B	M	I	Eu	Mo
34	<i>Surirella ovalis</i>	Brebisson 1838	P/B	M	Alf	Eu	Mo
35	<i>Tabularia fasciculata</i>	(C.Agardh) D.M.Williams y Round 1986	E	M	-	Eu	PA
36	<i>Tryblionella apiculata</i>	Gregory 1857	P/B	M	Alf	Eu	Mo
37	<i>Nitzschia cf. lacuum</i>	Lange-Bertalot 1980	E/B	MI	Alf	Ot	Mo
38	<i>Navicula cryptotenella</i>	Lange-Bertalot en Krammery Lange-Bertalot 1985	Li	I	Alf	Eu	Mo
39	<i>Navicula vulpina</i>	Kützing 1844	L/B	OI	Alf	Mt	Mo
40	<i>Nitzschia amphibia</i>	Grunow 1862	E/B	OI		Eu	Mo
41	<i>Nitzschia cf. communis</i>	Rabenhorst 1860	E/B	OI	Alf/Alb	Euri	Mo
42	<i>Pseudostaurosira brevistriata</i>	(Grunow in Van Heurck) Williams et Round (1987)	E/B	OI	Alf	Ot-Eu(Hy)	PA
43	<i>Melosira varians</i>	C.Agardh 1827	Tp	OH		Eu	PA
44	<i>Cyclotella meneghiniana</i>	Kützing 1844	Tp	M/OH	Alf	Eu	PL
45	<i>Chaetocero cf. muelleri</i>	Lemmermann 1898	P	M	Alf	Eu	PL
46	<i>Cyclotella choctawhatcheeana</i>	Prasad en Prasad, Neinow y Livingston 1990	P	M	Alf	Ot	PL
47	<i>Cyclotella sp.</i>	-	-	-	-	-	PL
48	<i>Fragilaria nanana</i>	Lange-Bertalot 1993	P	OH	neu	Ot/Mt	PL

ANEXO II: Diagrama de distribución de diatomeas

Anexo II-a: Diagrama de distribución de diatomeas de la laguna de Puan



Anexo II-b: Diagrama de distribución de diatomeas la laguna de Los Chilenos.



Anexo II-d: Diagrama de distribución de diatomeas de La Salada

