



Universidad Nacional Del Comahue

Centro Regional Universitario Bariloche

**ESTUDIO DE LOS QUIRONÓMIDOS SUBFÓSILES COMO INDICADORES
DE LAS VARIACIONES EN EL CLIMA REGIONAL A AMBOS LADOS DE LA
DIAGONAL ÁRIDA (PATAGONIA Y PAMPA) EN LOS ÚLTIMOS 1000 AÑOS.**

Trabajo de Tesis para optar al Título de Doctor en Biología

Licenciada María Fernanda Montes de Oca

Director de tesis: Doctora, Julieta Inés Massafferro

Codirector: Doctora, Cecilia Laprida

2017

RESUMEN

Las reconstrucciones paleoambientales y paleoclimáticas a partir de indicadores (*proxies*) archivados en los sedimentos acumulados en los lagos, permiten conocer la dinámica de estos ecosistemas y la respuesta de los mismos frente a la variabilidad ambiental pasada a distintas escalas que van desde milenios a decenios de años. Los cambios en el clima y la actividad antrópica son las principales forzantes de cambio en los ambientes lacustres. Los restos subfósiles de las larvas de quironómidos (Diptera: Chironomidae) son útiles paleoindicadores (paleoproxies) biológicos porque responden a los cambios en las condiciones ambientales del pasado. Además, son utilizados en estudios *multiproxy* ya que proveen información independiente que, combinada con otros *proxies*, genera una respuesta integrada de las condiciones ambientales que reinaron en el pasado. Los últimos estudios paleolimnológicos del norte de la Patagonia y centro de Argentina indican la existencia de un contraste regional en cuanto a precipitaciones y temperaturas que se evidencia a lo largo de la Diagonal Árida Argentina. Esta franja escinde dos grandes conjuntos de sistemas lacustres con diferente regulación hídrica y con respuesta paleohidrológicas contrarias frente a fases climáticas conocidas, como por ejemplo la Pequeña Edad de Hielo. El objetivo principal de esta tesis fue estudiar las variaciones ambientales (naturales y antrópicas) registradas durante los últimos ca. mil años a ambos lados de la Diagonal Árida (DA) con el fin de aportar nuevas evidencias del contraste climático regional (anti-fase). Para ello se estudiaron y compararon los ensambles de quironómidos subfósiles contenidos en secuencias sedimentarias lacustres ubicadas a un lado y otro de la DA. Las secuencias sedimentarias seleccionadas fueron Laguna la Barrancosa (37° S) en el suroeste de la provincia de Buenos Aires, región Pampeana y Lagunas Verde y Toncek (41° S) en el noroeste de Patagonia. Para reconstruir la historia ambiental de cada laguna y relacionarla con los eventos climáticos de los últimos 1000 años, se incorporó información provista por otros *proxies* sedimentarios como los pigmentos fotosintéticos fósiles (derivados de clorofila y carotenoides totales), la materia orgánica y en los casos que fue posible, información geoquímica (N, C, S) y de ostrácodos.

Los resultados obtenidos en cada secuencia sedimentaria a partir de los indicadores estudiados permitieron definir diferentes intervalos de tiempo o períodos con distintas condiciones ambientales. Se definieron 3 períodos climáticos en la historia ambiental de la laguna La Barrancosa: Un primer período oscilante entre condiciones secas y húmedas, entre

~610-1278 AD, coincidentes en parte con la Anomalía Climática Medieval; un segundo período, entre ~1278-1947 AD dominado por condiciones más secas asociada al período la Pequeña Edad de Hielo; y finalmente un tercer período, el más actual, entre 1947-2012 AD, dominado por condiciones húmedas en su primera parte y coincidente con el Salto Climático del siglo XX. La dinámica ambiental, en la historia más reciente de la laguna ubicada en el suroeste de la provincia de Buenos Aires, estuvo marcada por una fuerte impronta de las actividades antrópicas en la región y por el incremento de las precipitaciones con inicio en la década del 1940. Durante el siglo XV, se infirió el establecimiento de un ambiente temporal sub-salino y un balance hidroclimático negativo. Durante la década de 1970, La Barrancosa se habría establecido como una laguna permanente en estado trófico “claro”, asociado al incremento en las precipitaciones regionales (Salto Climático del siglo XX) y al cambio ecológico regional que impulsó el cambio en los patrones de circulación y precipitaciones de esa región. Desde 1990, los procesos de eutrofización en la laguna se aceleraron, probablemente como consecuencia del incremento en la actividad agrícola que registró el área y por el uso de técnicas agrícolas modernas basadas en el uso intensivo de fertilizantes y pesticidas. Otras actividades como la siembra de la especie *Odontesthes bonariensis*, podría haber favorecido los procesos de eutrofización en la laguna. En la Laguna Verde se definieron 3 períodos climáticos diferentes: el primero de ellos entre ~1561-~1670 AD dominado por condiciones frías y húmedas coincidente, en parte, con el transcurso de la Pequeña Edad de Hielo en Patagonia; un segundo período ~1670- ~1878 AD dominado en su última parte por condiciones mayormente secas; y por último el tercer período, el más actual entre ~1878-2012 AD coincidente en su última parte con el calentamiento global del siglo XX registrando condiciones climáticas más cálidas que en el período anterior. Por último el registro sedimentario de la laguna Toncek, permitió definir 2 períodos climáticos, el primero de ellos (~1644-1960 AD) dominado mayormente por condiciones frías. En la primera parte de este período y hasta ~ 1870 AD habrían dominado condiciones húmedas y frías coincidente también con el transcurso de la Pequeña Edad de Hielo. Y un segundo período 1960 AD-2012 AD, coincidente con el calentamiento global del siglo XX que habría permitido un leve incremento en la productividad de la lagunas. Las importantes diferencias en cuanto a riqueza y abundancia que se observan en los registros de quironómidos subfósiles de las lagunas Verde y Toncek, se relacionan principalmente a condiciones locales (ubicación por encima y por debajo de la línea de crecimiento arbóreo, tipo de cuenca cerrada o abierta, presencia o ausencia de macrófitas) que, entre otras diferencias, definen la contribución de material orgánico, con gran impacto en la dinámica del ambiente y en la composición faunística.

En términos generales, las paleocomunidades de quironómidos de cada ambiente reflejaron cambios importantes en su composición y abundancia frente a eventos climáticos, hidrológicos y antrópicos ocurridos durante los últimos 1000 años en el sudoeste de la provincia de Buenos Aires y últimos 500 años en el sector noroeste de Patagonia. Sin embargo, en todos los registros los cambios más notorios se evidenciaron en los últimos 100 años de la historia evolutiva de cada laguna y particularmente en los ambientes del Noroeste de Patagonia por el impacto recurrente de caída de cenizas en el área, proveniente del área cercana chilena durante los últimos 200 años. Las reconstrucciones paleoambientales efectuadas a un lado y otro de la DA permitieron observar patrones de respuesta opuestos en cuanto a cambios en los niveles de agua y productividad durante el período climático frío denominado Pequeña Edad de Hielo. Los cambios hidroclimáticos de los últimos 1000 años, fueron más notorios en el ambiente pampeano, Laguna La Barrancosa, ubicado en el suroeste de la provincia de Buenos Aires. Por otro lado en todos los registros, se observaron cambios de productividad en los últimos 100 años, los cuales estarían asociados a una combinación de 1) aumento de temperatura durante el calentamiento global del siglo XX (desde ~1900) y 2) incremento en las actividades antrópicas (con mayor evidencia en la región pampeana) combinadas con las características propias y locales de cada ambiente (régimen hídrico, cuenca, procesos intrínsecos).

ABSTRACT

The paleoenvironmental and paleoclimatic reconstructions based on proxies from lake sediments provide information about the dynamic of lakes and the responses of these ecosystems to past climatic variability, at different time scales from millennia to decades. Changes in climate and anthropogenic activities are the main drivers of changes in aquatic ecosystems. Subfossil chironomids (Diptera: Chironomidae) are useful paleoindicators due to their specific response to past environmental conditions. In addition, they can be used in multiproxy studies as an independent information of past environmental conditions. Last paleoclimate records from northern of Patagonia and central of Argentina indicated a regional contrast related to precipitations and temperature along the so call “Diagonal Arida” Argentina. This narrow climatic band distinguishes two groups of lakes systems with different hydrological regime and with diverse paleohydrological responses to short climatic phases such as the Little Ice Age. The aim of this Thesis was to study the environmental variations (natural and anthropic) recorded during the last ca. 1000 years on both sides of the “Diagonal Arida” (DA) in order to provide new evidences of the asynchronous regional climate (anti-phase). To meet the objectives, chironomid assemblages from lakes la Barrancosa (37 °S), southwest of the province of Buenos Aires (Pampean region) and from lakes Verde and Toncek (41 °S) in northwestern Patagonia were analyzed and compared to reconstruct the environmental history of each lake and the dominant climatic phases during the last 1000 years. Complementary information from geochemical parameters such as fossil pigments (CD, TC), organic matter and, when it was available, nutrients and ostracods were used to reconstruct the paleolimnological conditions of the each lake.

Results from the multiproxy analysis from each sedimentary sequence, allowed to detect different periods associated each one to different environmental conditions. Three climatic periods were defined on the paleoenvironmental history of lake La Barrancosa. The first period, between ~610-1278 AD, dry/ wet climatic fluctuations were inferred. The last part of this period was associated to the Warm Medieval Anomaly. The second period, between ~1278-1947 AD, a negative hydrological balance was detected which was associated to the Little Ice Age. Finally, the third period, between 1947-2012 AD, wet climatic conditions were inferred associated to the increase of regional precipitation since 1940 ca. The environmental dynamics of lake La Barrancosa reveals a hydroclimatic variability and human impact trends in the area during the 20th century. During the 15th century, the Barrancosa sedimentary record allowed to infer negative hydrological balance and the

establishment of a temporary, sub-saline environment. An ecological regional shift at the 1970s marks the onset of the mid-20th century climatic amelioration driven by changes in circulation patterns and precipitations, allowed the establishment of a clear waters shallow lake. Since 1990, the eutrophication processes were accelerated, probably as a consequence of the great increase in the agriculture around the lake and the transition from the traditional to modern techniques based on extensive use of fertilizers and pesticides in the region. Other activities such as the introduction of the fish species *Odontesthes bonariensis*, could have favoured eutrophication processes in this lake. The subfossil chironomid records from lakes Verde and Toncek documented changes in the assemblage composition and absolute abundance in the last ca. 500 yrs in response to a combination of diverse environmental drivers. Three climatic periods were defined in the paleoenvironmental history of lake Verde. The first period, between 1561-~1670 AD was dominated by cold and wet climatic conditions and associated, in part, with the Little Ice Age; a second period, between ~1670- ~1878 AD, was dominated dry climatic conditions mainly in the last part of the period and, a third period, between ~1878-2012 AD, dominated by warm climatic conditions associated with the current global warming period. The paleolimnological record of lake Toncek was divided in two climatic periods. The first period, between ~1644-1960 AD, was dominated mostly by cold conditions coincident with Little Ice Age, a second period, between 1960 AD and 2012 AD, was synchronous to the current general trend of increasing temperatures associated with current global warming period. These climatic conditions allowed more productive conditions. Ash falls from nearby volcanoes appear to be one of the factors of change in the chironomid assemblages mainly in lake Toncek although in the last ca. 50 years, climate warming and human impacts have also been responsible for changes in the midge communities of each lake. Superimposed to volcanism, others environmental factors interplay in the lake ecosystem, such as hydrology, watershed characteristics and quality and quantity of organic matter as key to understanding changes in the composition and diversity of biota in remote lakes through time.

Summarizing, the paleocommunities of chironomids of each environment studied reflected important changes in its composition and abundance related to climatic, hydrological and anthropic drivers acting during the last 1000 years in the southwest of the province of Buenos Aires and, in the last 500 years in the northwest of Patagonia although the most important changes, in the last two lakes were evident in the last 100 years. During the last 200 years, the impact of volcanic tephra from nearby Chilean volcanoes caused important change

to the chironomid records from the northern patagonian lakes. The paleoenvironmental reconstructions from the studied lakes allowed to detect different response patterns in terms of water level changes, climate and productivity changes at both sides of the “Diagonal Arida” especially during the so called LIA. Hydroclimatic changes during the last 1000 years were more evident in the Pampas lake, La Barrancosa. On the other hand, in all the records, productivity changes were observed in the last 100 years which could be linked to 1) general trend of increasing temperatures observed in South America since 1900AD and 2) to anthropic drivers (mainly at lake La Barrancosa) combined with local environmental characteristics such as hydrology, catchment area, intrinsic process, between others.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) por el financiamiento de mis tareas de investigación que me permiten concretar mis estudios de posgrado.

Al Programa de estudios Aplicados a la Conservación del Parque Nacional Nahuel Huapi (CENAC) del Parque Nacional Nahuel Huapi y al Laboratorio de Sondeos de Ambientes Continentales y Marinos (SACMa) del Instituto de Estudios Andinos Don Pablo Groeber, Facultad Cs. Exactas y Nat. – Univ. de Buenos Aires, por el espacio laboral y el equipamiento puesto a mi disposición. Así mismo agradezco

A la doctora Julieta Massaferrero por el soporte, experiencia aportada en estos años y por haber confiado e introducirme en este oficio de investigar. A la doctora Cecilia Laprida, por el apoyo durante la elaboración de esta tesis y por haberme recibido afectuosamente en su laboratorio.

Luego de los agradecimientos de mayor formalidad, me permito recurrir a un lenguaje más cálido para agradecer a las siguientes personas: a mi familia toda, por su apoyo, cariño y paciencia incondicional a lo largo de estos años, por haberme brindado confianza y hacerme sentir que con esfuerzo podría lograr lo que me propusiera. A Ramiro por la paciencia infinita ya que en reiteradas oportunidades hemos postergado actividades familiares, para poder concretar esta tesis. Gracias abuelos y tías, por cuidar con tanto cariño a Lucecita durante mis horas de trabajo. No está demás resaltar una vez más, que sin el esfuerzo de ustedes nada hubiera sido posible. MUCHAS GRACIAS.

A mis compañeros de laboratorio CENAC y equipo del Departamento de Conservación PNNH, por compartir a diario en las tareas de oficina y por el soporte emocional en esos momentos difíciles que tiene la tarea de investigar, gracias por el apoyo durante todos estos años.

Por último, quisiera agradecer al sistema educativo Argentino y a la Universidad Nacional del Comahue que gracias a una educación universitaria pública y gratuita de alta calidad, permitió mi formación de grado, así como mi desarrollo profesional en el área de la investigación y la Biología.

ÍNDICE

RESUMEN	3
ABSTRACT	6
INDICE	10
ABREVIATURAS	16
INTRODUCCIÓN	17
<i>Variabilidad climática de los últimos 2000 años</i>	18
<i>Lagos como archivos paleoambientales</i>	19
<i>Sedimentos lacustres</i>	19
<i>Indicadores (Proxies) lacustres.</i>	21
<i>Estudios paleoclimáticos en Argentina, últimos 1000 años.</i>	22
<i>Diagonal Árida y Anti fase climática.</i>	24
<i>Patagonia y Pampas, valor e importancia de los estudios paleoclimáticos. .</i>	26
Hipótesis	28
Objetivos	29
QUIRONÓMIDOS COMO INDICADORES PALEOAMBIENTALES	31
<i>Biología y aspectos ecológicos</i>	32
<i>Taxonomía de los quironómidos</i>	36
<i>Quironómidos como proxy paleoambiental</i>	41
ÁREAS DE ESTUDIO	44
Suroeste de la provincia de Buenos Aires.	46
<i>Descripción general.</i>	46
<i>Características limnológicas de las lagunas del suroeste bonaerense.</i>	47
Noroeste de Patagonia	49
<i>Descripción general</i>	49
<i>Características limnológicas de las lagunas del noroeste patagónico</i>	50
METODOLOGÍA	52

Selección de los sitios de estudio	52
Extracción de los testigos sedimentarios	53
Descripción de los perfiles sedimentarios y submuestreo	55
Daticiones	56
<i>Datación del testigo sedimentario de la laguna pampeana La Barrancosa del suroeste bonaerense.</i>	57
<i>Datación de los testigos sedimentarios de las lagunas del noroeste de Patagonia, Lagunas Verde y Toncek</i>	58
Análisis sedimentarios.	59
<i>Indicadores geoquímicos</i>	59
Materia orgánica y nutrientes	59
Pigmentos fósiles	60
Ostrácodos	60
<i>Quironómidos</i>	61
Análisis estadísticos	61
RESUTADOS	64
Laguna La Barrancosa, TLB	64
Introducción	64
Sitio de estudio, laguna La Barrancosa	64
Descripción de los resultados del testigo sedimentario TLB	67
<i>Cronológica, TLB</i>	68
<i>Análisis de los sedimentos, materia orgánica (MO), pigmentos fósiles (CD, TC) y ostrácodos, TLB</i>	70
<i>Análisis de quironómidos subfósiles, TLB</i>	73
<i>Análisis estadísticos, TLB</i>	75
Discusión, reconstrucción de la historia ambiental de la laguna La Barrancosa	77
Conclusión (laguna La Barrancosa)	87
Laguna Verde, TLV	88
Introducción	88
Sitio de estudio, laguna Verde	89
Descripción de los resultados del testigo sedimentario TLV	92
<i>Cronológica, TLV</i>	92

<i>Análisis de los sedimentos, materia orgánica (MO), pigmentos fósiles (CD, TC) y ostrácodos, TLV</i>	94
<i>Análisis de quironómidos subfósiles, TLV</i>	95
<i>Análisis estadísticos, TLV</i>	98
Discusión, reconstrucción de la historia ambiental de la laguna Verde	101
Conclusiones (laguna Verde)	109
Laguna Toncek TLTK	110
Introducción	110
Sitio de estudio, laguna Toncek	111
Descripción de los resultados del testigo sedimentario TLTK	113
<i>Cronológica, TLTK</i>	113
<i>Análisis de los sedimentos, materia orgánica (MO), pigmentos fósiles (CD, TC) y ostrácodos, TLTK</i>	115
<i>Análisis de quironómidos subfósiles, TLTK</i>	116
<i>Análisis estadísticos, TLTK</i>	119
Discusión reconstrucción de la historia ambiental de la laguna Toncek	122
Conclusiones (laguna Toncek)	127
DISCUSIÓN GENERAL	128
Contraste climático a un lado y otro de la DA	128
<i>Período climático frío, Pequeña Edad de Hielo (PEH)</i>	128
<i>Variabilidad ambiental de los últimos 100 años</i>	130
CONCLUSIONES GENERALES	152
BIBLIOGRAFÍA	155
TABLAS	160
LÁMINAS	166

Índice de Figuras

INTRODUCCIÓN

Figura 1. Principales Componentes de la circulación atmosférica estacional en América del Sur.	25
Figura 2. Ciclo de vida de Chironomidae.	32
Figura 3. Morfología de la larva de Chironomidae.	33
Figura 4. Morfología de la pupa de Chironomidae.	35
Figura 5. Adulto de Chironomidae, extraído	36
Figura 6. Subfamilia Chironominae. Vista Ventral.	38
Figura 7. Subfamilia Chironominae, Tribu Tanitarsini.	39
Figura 8. subfamilia Tanypodinae.	39
Figura 9. Subfamilia Orthoclaadiinae.	40
Figura 10. Subfamilia Podonominae.	41

ÁREAS DE ESTUDIO

Figura 11. Sitios de estudios	45
-------------------------------	----

METODOLOGÍA

Figura 12. Muestreador activado por gravedad	54
Figura 13. Extracción de la columna de sedimento de una laguna	55

RESULTADOS

Figura 14. Sitio de estudio pampeano, extraído de Plastani <i>et al.</i> , en prensa	67
Figura 15. Cronología de los sedimentos de TLB basado en los métodos de datación ¹⁴ C (a) y ²¹⁰ Pb (b).	69
Figura 16. Perfiles estratigráfico de Materia Orgánica (MO), pigmentos fósiles (CD y TC), nitrógeno (N), carbono total (C), Azufre (S), índices C/N y CD/TC y ostrácodos del testigo TLB	72
Figura 17. Diagrama estratigráfico del ensamble de quironómidos subfósiles presentes en el testigo TLB	74
Figura 18. Dendrograma del análisis de agrupamiento (cluster), TLB.	75
Figura 19. Análisis de Correspondencia Canónica, TLB	76
Figura 20. Perfiles de puntuación “sample scores” otorgados en el análisis de Componentes Principales (PCA) efectuados para el ensamble quironómidos subfósiles e indicadores geoquímicos del testigo TLB	77
Figura 21. Registro de Quironómidos subfósiles, contenido de MO, Pigmentos fósiles	86

(CD y TC) y Ostrácodos, TLB.

Figura 22. Sitio de estudio, laguna Verde	91
Figura 23. Fechado de los sedimentos del testigo TLV, basado en el método ^{210}Pb (a) y empleando el programa BACON (b).	93
Figura 24. Perfiles estratigráficos de: derivados de clorofila (CD) y total de carotenoides, (TC), índice CD/TC y materia orgánica (OM) contenidos en el testigo TLV.	95
Figura 25. Ensemble de quironómidos subfósiles presentes en el testigo TLV	97
Figura 26. Dendrograma del análisis de agrupamiento (cluster), TLV.	98
Figura 27. Análisis de Redundancia (RDA), TLV	100
Figura 28. Perfiles de puntuación “scores” otorgados en análisis de Componentes Principales (PCA) efectuados para el ensemble quironómidos subfósil y para los indicadores geoquímicos (CD, TC y MO), TLV.	101
Figura 29. Registro de quironómidos subfósiles, contenido de MO, pigmentos fósiles (CD y TC) de TLV.	108
Figura 30. Sitio de estudio, laguna Toncek	112
Figura 31. Fechado de los sedimentos del testigo TLTK, basado en el método ^{210}Pb (a) y empleando el programa BACON (b)	114
Figura 32. Perfiles estratigráficos de: derivados de clorofila (CD) y total de carotenoides, (TC), índice CD/TC y materia orgánica (OM) contenidos en el testigo TLTK.	116
Figura 33. Ensemble de quironómidos subfósiles presentes en el testigo TLV	118
Figura 34. Dendrograma del análisis de agrupamiento (cluster), TLTK	119
Figura 35. Análisis de Redundancia (RDA), TLTK	120
Figura 36. Perfiles de puntuación “scores” otorgados en análisis de Componentes Principales (PCA) efectuados para el ensemble quironómidos subfósil y para los indicadores geoquímicos (CD, TC y MO), TLTK	121
Figura. 37. Registro de quironómidos subfósiles, contenido de MO, pigmentos fósiles (CD y TC) de TLTK	126

Indice de Tablas

INTRODUCCIÓN

Tabla 1 Lista taxonómica de los quironómidos más frecuentes de Argentina	156
--	-----

RESULTADOS

Tabla: 2 Fechado de los sedimentos del testigo TLB, laguna La Barrancosa por los métodos de datación ^{14}C y ^{210}Pb .	157
--	-----

Tabla 3 Análisis estadístico indirectos y directos, TLB.	157
--	-----

Tabla 4 Fechado de los sedimentos del testigo TLB, laguna Verde a partir del modelo edad profundidad BACON (Blaauw & Christen, 2011) y método ^{210}Pb .	158
---	-----

Tabla 5 Análisis estadístico indirectos y directos, TLV.	159
--	-----

Tabla 6 Fechado de los sedimentos del testigo TLB, laguna Toncek a partir del modelo edad profundidad BACON (Blaauw & Christen, 2011) y método ^{210}Pb .	160
--	-----

Tabla 7. Análisis estadístico indirectos y directos, TLTK.	161
--	-----

ABREVIATURAS

ACM: Anomalía Cálida Medieval

CCQ: Cápsulas Cefálicas de larvas de Quironómidos subfósiles

CD: Derivados de Clorófila

DA: Diagonal Árida

ENSO: El Niño Oscilación del Sur

IPCC, International Panel of Climate Change

MO: Materia orgánica

PEH: Pequeña Edad de Hielo

SMS: Sistema Monzónico Sudamericano

S XX: Siglo veinte

TC: Total de Carotenoides

TLB: Testigo sedimentario de la laguna La Barrancosa

TLV: Testigo sedimentario de la laguna Verde

TLTK: Testigo sedimentario de la laguna Toncek

Escalas temporales:

AD: *Anno Domini*

AP: años antes del presente, considerándose el presente el año 1950.

cal años AP: años calibrados, en años antes del presente, considerándose el presente el año 1950

^{14}C : radioisótopo de carbono

^{210}Pb : radioisótopo de plomo

INTRODUCCIÓN

La estimación del comportamiento y funcionamiento presente-futuro de los ecosistemas terrestres, que garantiza la vida y la seguridad de las sociedades humanas en la tierra, depende estrechamente del entendimiento de su respuesta a las distintas forzantes tanto naturales como aquellas inducidas por el hombre (Jones & Mann, 2004; Thompson *et al.*, 2013; Saulnier Talbot, 2016). Las variaciones en el complejo sistema climático mundial se debe generalmente, a cambios en los patrones de precipitaciones y en la temperatura media de la superficie de la tierra, los cuales a su vez influyen fuertemente en el ciclo del agua y en los ecosistemas acuáticos del planeta (IPCC, 2007).

La variabilidad climática registrada a lo largo del Holoceno provee de un escenario único para modelar e intentar predecir cambios futuros, debido a que es un período donde las condiciones del clima (principalmente temperaturas medias y precipitaciones) han sido similares a las del presente (Anderson *et al.*, 2007). Las reconstrucciones paleoclimáticas permiten conocer la variabilidad natural del clima en un pasado, que se extiende más allá del registro instrumental (>70 años), para un mejor entendimiento de la evolución climática espacio-temporal (regional) y sus forzantes (Smol, 2010). Las reconstrucciones paleoclimáticas emplean archivos paleoambientales, como los testigos de hielo, sedimentos marinos, anillos de árboles o los sedimentos lacustres entre otros.

Los sedimentos lacustres archivan información sobre una gran variedad de procesos que han operado a distinta escala temporal y espacial sobre la cuenca de drenaje y sobre el mismo ambiente lacustre. Algunos de estos procesos (historia geológica de la cuenca, evolución de sus comunidades, disturbios naturales y no naturales, variaciones hidrológicas, etc.) han sido en ocasiones, tan complejos como la dinámica ambiental de la cuenca lacustre. La reconstrucción paleoambiental y paleoclimática exige un completo conocimiento de los procesos y factores que intervienen tanto en el origen, flujo, mecanismos de depositación, distribución, diagénesis general de los sedimentos; y también de los procesos limnológicos generales que se presentan en los ambientes lacustres (hidroquímica del agua, redes tróficas, etc.) (Smol, 2010). Todo este conocimiento permite inferir y estudiar la sensibilidad de los ambientes lacustres al cambio climático del último tiempo (Mills *et al.*, 2016).

Variabilidad climática de los últimos 2000 años.

La variabilidad climática mundial de los últimos 2000 años, ha estado signada por abruptos cambios en las condiciones hidrológicas con mayor impacto en las regiones tropicales y subtropicales, así como por una amplificada tendencia de aumento de la temperatura del aire, en los últimos centenares de años (Bradley *et al.*, 2003; Abram *et al.*, 2014). Considerando que, durante este período de tiempo se produce el desarrollo de la civilización, los cambios en el clima tienen significativa importancia tanto por las transformaciones que pueden ocasionar en los ecosistemas como en las sociedades humanas globales (IPCC, 2007).

Los últimos miles de años, se caracterizaron por la ocurrencia de una serie de oscilaciones en los mantos de hielo de las regiones montañosas de todo el mundo (período “Neoglaciario”), con inicio alrededor de ~4000-5000 cal AP (Bradley *et al.*, 2003). En los últimos mil años en una escala global, se reconocen dos períodos de condiciones anómalas, cálidas y frías, con notable influencia en los ecosistemas y las sociedades (Mann *et al.*, 2009), la Anomalía Climática Medieval (ACM) y la Pequeña Edad de Hielo (PEH). El período cálido ACM, ~950-1250 años cal AP, con importante registro en el Hemisferio Norte (Mann *et al.*, 2009) evidenció un aumento de la temperatura, en menor magnitud que durante el *Óptimo Climático* (Bradley 2000) pero sustancialmente superior a los registros instrumentales de la última parte del siglo XX (1961–1990) (Mann *et al.*, 2009). El período frío PEH, ~1400-1700 años cal AP, marcó una importante disminución de la temperatura en casi todo el Hemisferio Norte (Mann *et al.*, 2009). Este último período fue el más frío de todo el Holoceno (Bradley *et al.*, 2003), las temperaturas en algunas regiones del Hemisferio Norte no superaron los 0,5 °C-1,0 °C (Mann *et al.*, 2009).

Controversialmente, registros instrumentales de todo el mundo y para los últimos 50 años, indican un aumento de la temperatura media anual (Mann *et al.*, 2000; Bradley *et al.*, 2003), poniendo en discusión si este aumento, es parte de la variabilidad “natural” del sistema climático y como consecuencia del impacto antrópico de los últimos centenares de años en el planeta (IPCC 2007; Bradley *et al.*, 2003). Desde una perspectiva global, la variabilidad climática de los últimos centenares de años ha tenido un comportamiento regional complejo

(Bradley *et al.* 2003) y por ejemplo su magnitud, sincronidad y forzantes no han sido claramente delineados para el sur de América del Sur (Moreno *et al.*, 2009, Moy *et al.*, 2009).

Lagos como archivos paleoambientales

Los ambientes lacustres son sensibles a los cambios ambientales y climáticos (Battarbee, 2000). Muchos de estos cambios pueden ocurrir durante largos períodos, mientras que otros, suelen ser rápidos y catastróficos (naturales o inducidos por el hombre) (Last & Smol, 2006; Smol, 2008). Estos cambios afectan el funcionamiento de los ambientes lacustres, alterando sus propiedades fisicoquímicas, sus comunidades biológicas, la dinámica lacustre en general, etc. (Cohen, 2003). En una escala de milenios a centenares de años la variabilidad climática es la principal causa de cambio, en los ecosistemas acuáticos y terrestres (Smol, 2010).

Sedimentos lacustres

Los sedimentos que se depositan en los ambientes lacustres están compuestos por material que proviene de diferentes fuentes: pueden ser de origen Alóctono: material atmosférico, de la cuenca de drenaje que llega por escorrentía o vertidos por el hombre; o de origen Autóctono, propia del lago, originada en procesos químicos-biológicos que ocurren dentro del cuerpo de agua (Cohen, 2003; Smol, 2008). Todo el material se deposita de forma continua y ordenada en los fondos de las cubetas lacustres, en una relación tiempo-profundidad donde los sedimentos más profundos corresponden a períodos más antiguos que los cercanos a la interfase agua-sedimento (Last & Smol, 2006). El estudio de los sedimentos lacustres y de los componentes (biológicos y no biológicos) preservados en ellos, representa entonces, una fuente de información que documenta a diferente escala de tiempo, los cambios ambientales, hidrológicos-climáticos ocurridos en el pasado (Cohen, 2003; Saulnier Talbot, 2016).

Las reconstrucciones paleoambientales y paleoclimáticas basadas en el estudio de sedimentos lacustres emplean columnas de sedimentos, que se extraen de los fondos de las cubetas. Estas columnas, son submuestreadas en intervalos discretos y se les realiza una serie

de análisis físico-geoquímicos, biológicos y cronológicos, que permiten revelar el período en el que se depositó cada capa de sedimentos y las condiciones ambientales que prevalecieron durante su depositación (Cohen, 2003). En algunos casos, es posible evaluar impactos antropogénicos ocurridos en un pasado cercano, en períodos donde los instrumentos no existían (Bradley, 2000); estableciendo una línea de base que permite comparar las condiciones ambientales previas a algún impacto natural o antropogénico (erupción volcánica, lluvia ácida, construcción de represas, etc.). Estas reconstrucciones, requieren que las propiedades medidas en los “archivos naturales” sean traducidas cuantitativamente a parámetros ambientales. Por ello, los estudios de calibración o “training set” en los cuales se efectúan mediciones directas de parámetros como temperatura, salinidad, composición de la cubierta vegetal de las cuencas, junto a estudios ecológicos sobre la biodiversidad de organismos planctónicos y bentónicos, sus requerimientos ecológicos y su distribución geográfica actual en cuerpos de agua, constituyen en una herramienta de base importante, para llevar a cabo inferencias paleoclimáticas y paleoambientales.

La información ambiental y principalmente la climática, es almacenada en los sedimentos lacustres en forma de propiedades físicas, químicas o biológicas conocidas como *proxies* (Cohen, 2003). Por definición, todos los registros *proxies* contienen algún tipo de señal climática, pero esta señal puede ser débil o tener algún tipo de “ruido” generado por otro tipo de señal “no climática”. Por esta razón que es importante comprender los modos de formación del registro en estos “archivos naturales” y de los distintos tipos de datos *proxy* disponibles; también sobre los métodos, ventajas y limitaciones que existen para analizar a cada uno de ellos. Los *proxies* a menudo se clasifican según la naturaleza del fenómeno involucrado en su formación (biológico, geomórfico, geoquímico, geofísico) y por su resolución temporal (anual, decadal, centenal, multimilenial). En los sedimentos lacustres, existen *proxies* como los restos óseos de animales acuáticos, restos de insectos acuáticos, pigmentos del fitoplancton y restos de macrófitas, composición isotópica de diversas sustancias orgánicas e inorgánicas, etc. (Last & Smol, 2001). Las variaciones en los *proxies* son interpretadas por comparación con lo que ocurre en sus contrapartes contemporáneas, bajo condiciones actuales y en otros cuerpos de agua de dinámica semejante (comparación con análogos modernos) y son analizadas mediante diferentes métodos numéricos y estadísticos, que permiten realizar reconstrucciones paleoambientales no solo cualitativas sino también cuantitativas. Generalmente, las reconstrucciones paleoambientales y paleoclimáticas combinan el estudio de varios *proxies*, debido a las diferencias en cuanto a sensibilidad y

respuesta frente a la forzante climática, los diversos orígenes y características que tiene cada tipo de *proxy*; la información que ofrece cada uno se integra en una reconstrucción llamada “*multiproxy*”, que resulta en estudios con robusta información paleoambiental e importante resolución temporal (desde décadas a milenios) (Birks & Birks, 2006).

Indicadores (proxies) lacustres

Los análisis de indicadores físicos, químicos y biológicos archivados en los sedimentos lacustres pueden proveer información sobre la naturaleza del lago, su cuenca, el clima y los impactos antrópicos (Cohen, 2003). Sumado a un submuestro en intervalos discretos, es posible obtener una resolución detallada desde décadas o subdécadas de los cambios ocurridos en el pasado (Batterbee, 2000). Una datación lo más exacta posible de los sedimentos lacustres es fundamental en cualquier reconstrucción paleoclimática y paleoambiental que se realice. Sin estimaciones confiables de las edades de los eventos en el pasado, es imposible deducir si éstos ocurrieron simultáneamente o si ciertos eventos fueron previos o posteriores a otros, y tampoco es posible evaluar de manera exacta la tasa a la cual los cambios ambientales han ocurrido en el pasado (Last & Smol, 2006). El análisis cronoestratigráfico de las columnas de sedimentos, requiere el conocimiento acerca de las limitaciones que pueden encontrarse en los procedimientos de datación usados así como el contexto estratigráfico de la muestra a analizar. Entre los distintos métodos utilizados para efectuar la cronoestratigrafía de los sedimentos, la datación mediante radiocarbono ^{14}C es la más útil, debido a que este radioisótopo se encuentra distribuido en todo el mundo en los más diversos tipos de muestras y su aplicabilidad temporal comprende períodos que llegan a escalas de milenios, a diferencia del método basado en la actividad de ^{210}Pb que comprende los últimos 150 años (Appleby, 2001). Por otro lado, el análisis de la composición y textura de los sedimentos, permite obtener información sobre el material de origen, los agentes de transporte, mecanismos de depositación, erosión, compactación etc. Y un análisis básico de los componentes geoquímicos de los sedimentos, como fósforo, nitrógeno, carbono, pigmentos fósiles etc. informa sobre por ejemplo, procesos como carga de nutrientes, paleoproduktividad (Cohen, 2003; Last & Smol, 2006). Mientras que el análisis de *proxies* biológicos (por ej.: restos orgánicos de larvas de Quironómidos (Diptera), valvas de ostrácodos (Ostrácoda), frústulo de diatomeas), permite inferir sobre las condiciones

ecológicas necesarias que debieron prevalecer para su desarrollo, ofreciendo un escenario integrado de las condiciones ambientales que reinaron durante su presencia en el ambiente acuático (Smol *et al.*, 2001).

Estudios paleoclimáticos en Argentina, últimos 1000 años.

Durante las últimas décadas, se ha incrementado considerablemente el número de investigaciones sobre reconstrucción paleoclimática en Argentina. Las primeras reconstrucciones se basaron en estudios sedimentológicos, con escaso control geocronológico (Rabassa *et al.*, 1985; Cioccale, 1999; Iriondo, 1999) resultando en contradicciones a escala temporal, entre los diferentes eventos paleoclimáticos reconstruidos. A partir de dicha problemática, los recientes estudios de reconstrucción han avanzado significativamente, adoptando un enfoque moderno incorporando *proxies* biológicos combinados, en estudios multidisciplinarios o *multiproxies* (Laprida *et al.*, 2014) que ofrecen reconstrucciones paleoclimáticas de con importante resolución, temporal y ambiental. Tanto el centro de la Argentina como la región sur de Patagonia concentra el mayor número de estudios paleolimnológicos *multiproxy* (Piovano *et al.*, 2009; Cordoba *et al.*, 2014; Laprida *et al.*, 2014), ofreciendo detalles de las variaciones climáticas (principalmente Holoceno) en escalas centenares a multidecadicas y definiendo su incidencia en la evolución geocológica de cada región y en el desarrollo de la historia de las poblaciones humanas que fueron ocupando cada región (Gilli *et al.*, 2005).

Para la región Pampeana, los estudios de reconstrucción paleoambiental del Holoceno indican, condiciones mayormente cálidas durante su primer parte (Tonello & Prieto, 2010). Mientras que durante la última parte del Holoceno medio (8500-4000 años cal AP) se propone un desmejoramiento en las condiciones climáticas (Iriondo & García, 1993;) con un incremento en la aridez regional, alternado con breves períodos húmedos-cálidos (Mancini *et al.*, 2005; Tonello & Prieto, 2010). Las condiciones reinantes durante el Holoceno medio son un tema de debate, principalmente en las investigaciones arqueológicas de la zona centro de Argentina, debido al impacto que habría tenido el clima en el asentamiento y distribución de las poblaciones humanas en esa región del país (Rojo *et al.*, 2010). Por otro lado, se indica que las condiciones paleoclimáticas e hidrológicas generales que dominaron durante el

Holoceno tardío (últimos 4500 años) habrían sido similares a las actuales (Tonello & Prieto, 2010; Stutz *et al.*, 2010).

Varias reconstrucciones paleoclimáticas en la región pampeana, coinciden en un aumento de las precipitaciones entre ~800 AD y 1200 AD, durante el transcurso del evento mundialmente conocido como la Anomalía Climática Medieval (ACM) (Piovano *et al.*, 2009; Laprida *et al.*, 2014; Guerra *et al.*, 2015). Mientras que, se indica un déficit hídrico y una marcada salinización de los ambientes pampeanos durante ~1550-1850 AD, asociado al período climático frío conocido mundialmente como la Pequeña Edad de Hielo (PEH) (Rabassa *et al.*, 1985; Piovano *et al.*, 2002, 2006, 2009; Laprida *et al.*, 2009; Laprida & Valero Garces 2009; Stutz *et al.*, 2014; Cordoba *et al.*, 2014) ocurrido en dos pulsos, el primero entre los siglos XV-XVI y el segundo entre los siglos XVIII-XIX (Cioccale, 1999). Según los relatos históricos (Deschamps *et al.*, 2013) y registros sedimentológicos, la finalización de PEH, tuvo un gran impacto en la región en un máximo climático “seco” denominado “*Dust Bowl Pampean*” (Viglizzo & Frank, 2006; Tripaldi *et al.*, 2013; Cordoba *et al.*, 2014) alrededor del 1930-1939. Este último intervalo de intensa sequía, tuvo gran impacto negativo en la economía agrícola de la región (Viglizzo & Frank, 2006). Se registra un incremento pronunciado en las precipitaciones durante 1940-1949 y un incremento extraordinario durante la década del 1970, en lo que se denominó *Hydroclimatic Jump* (Cordoba *et al.*, 2014), también con gran impacto en la actividad económica de la región (Piovano *et al.*, 2004; Viglizzo & Frank, 2006; Pasquini *et al.*, 2006). Recientemente, algunas investigaciones proponen un retorno a las condiciones secas que dominaron en un pasado (Barrucand *et al.*, 2007; Podesta *et al.*, 2009).

Para el noroeste de Patagonia, los estudios de reconstrucción paleoambiental del Holoceno temprano y medio, indican condiciones climáticas inestables (Bianchi *et al.*, 1997; Cusminsky *et al.*, 2011; Massaferrero & Vandergoes, 2013; Laprida *et al.*, 2014; y referencias allí incluidas); con dominio de condiciones húmedas, mayormente durante el Holoceno medio, inferidas a partir de evidencias palinológicas, dendrocronológicas, sedimentológicas que interpretan una expansión del bosque Andino y un avance de las capas de hielo glacial, en altas altitudes (Aristegui *et al.*, 1997; Bianchi *et al.*, 1997; Villalba *et al.*, 1997; Massaferrero *et al.*, 2008; Masiokas *et al.*, 2009, 2010; entre otros). Durante la última parte del Holoceno, se habrían establecido los ambientes y el clima actual de la región (Markgraf *et al.*, 2003).

Estudios arqueológicos, indican una baja actividad en las poblaciones humanas durante el transcurso de condiciones áridas asociadas a ACM (Goñi *et al.*, 2000) coincidente con Stine (1994), quien asoció durante el período ~1021-1228 AD, una disminución importante en el nivel de agua del lago Cardiel (49°S 71°O). Por otro lado posterior a este evento, entre ~1500 y 1870 AD, registros dendrocronológicos y estudios *multiproxies* indican, frecuentes expansiones de los hielos glaciares en el noroeste Patagónico y en relación al dominio de condiciones frías y húmedas asociadas a la PEH (Villalba, 1990; Rabassa, 2010; Aristegui *et al.*, 2007; Serra *et al.*, 2016) con una máxima expansión de los hielos glaciares y del bosque húmedo de *Nothofagus* durante ~1450-~ 1870 (Villalba *et al.*, 1997; Masiokas *et al.*, 2009, 2010). Mientras que estudios *multiproxy* sugieren un intervalo cálido con disminución de las precipitaciones entre ~1849 AD y ~1900 AD (Villalba, 1990; Bertrand *et al.*, 2008; Serra *et al.*, 2016), las evidencias dendro-geomorfológicas, apuntan a un aumento de la temperatura desde 1912 hasta la actualidad (Masiokas *et al.*, 2009; Neukom *et al.*, 2014); A partir del 1960, según los datos instrumentales se registra una disminución en las precipitaciones primaverales, asociado a la variabilidad de “El Niño-Oscilación del Sur (El Niño–Southern Oscillation-*ENSO*, como comúnmente se lo conoce) (Castañeda & González, 2008). Estos últimos registros, son coincidentes con una notable y rápida recesión de las márgenes de hielo en el sector Andino y con la elevación de la línea de precipitaciones nivas registrada en las últimas tres décadas (Rabassa, 2010).

Diagonal Árida y Anti fase climática

Sobre el territorio Argentino se denota la existencia de una barrera “fisiográfica” natural y continua, denominada la DIAGONAL ÁRIDA (DA) (Bruniard, 1982). En Argentina, esta franja con gran desarrollo latitudinal, se extiende desde los 27° S región Noroeste hacia los 40°-42° S región Patagónica-costa Atlántica sur. Se caracteriza por un marcado déficit hídrico con precipitaciones cercanas a los 250 mm/año (Piovano *et al.*, 2009). El origen de esta franja reside en una combinación de factores climatológicos, orográficos y oceanográficos (Bruniard, 1982; Abraham *et al.*, 2014); marca el límite entre los regímenes de precipitaciones de verano del Atlántico y las fuertes tormentas de invierno del Pacífico (Piovano *et al.*, 2009). Esta franja escinde dos grandes conjuntos de sistemas lacustres con diferente regulación hídrica (Piovano *et al.*, 2009). Se diferencia, un conjunto de lagunas ubicadas por encima de

la DA, cuyo balance hídrico es regulado por los sistema de circulación atmosférica que aportan humedad desde Atlántico (Zhou & Lau, 2001; Vera *et al.*, 2006) muy relacionados al Sistema Monzónico Sudamericano o Southern Annular Mode (Cordoba *et al.*, 2014). Y por otro lado, se diferencia un segundo conjunto de lagunas, ubicados por debajo de la DA, cuyo balance hídrico es regulado por los sistema de circulación atmosférica que aportan humedad desde el Pacífico y relacionados al cinturón de vientos del oeste o *westerlies* como comúnmente se los conoce (Markgraf *et al.*, 2003; Moreno *et al.*, 2009). (Figura 1).

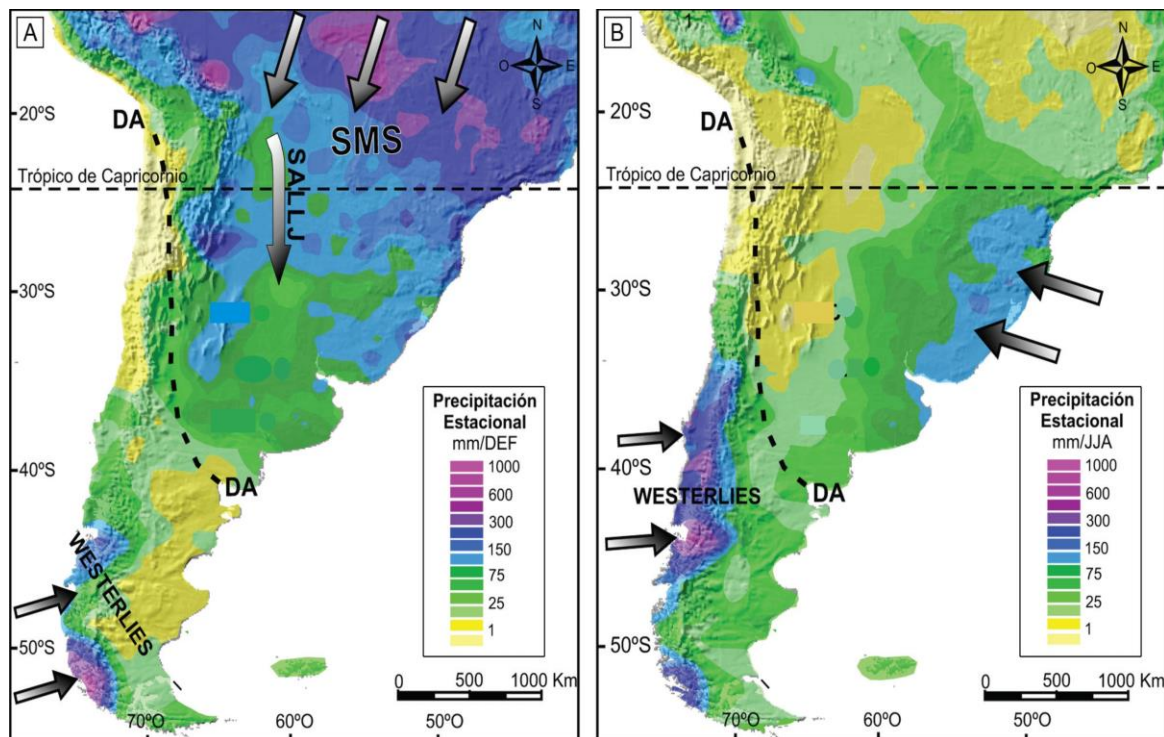


Figura 1. Principales Componentes de la circulación atmosférica estacional en América del Sur. Extraído de Piovano *et al.*, 2009. a) verano b) invierno.

El período climático frío conocido como la Pequeña Edad de Hielo (PEH), que se registra tanto en la región pampeana como patagónica estaría vinculado según los evidencias polínicas (Mancini *et al.*, 2005), y según las estimaciones cuantitativas de la precipitación anual efectuadas para el Holoceno medio (~400 mm) (Garreaud, 2007) en Sudamérica, con el desplazamiento hacia el Ecuador del cinturón de vientos del oeste (*westerlies*) (en verano se sitúan al sur de los 40°). Este desplazamiento, habría estado forzado por un modo negativo del Sistema Monzónico Sudamericano que habría causado también una mayor amplitud en las precipitaciones a lo largo de la DA (~150 mm) la cual sería superior a la actual (~250 mm)

(Tonello & Prieto, 2010). Una ubicación más septentrional respecto a la actual (40°-60° latitud sur) de los vientos del oeste (*westerlies*) habría bloqueado el ingreso de la fuente de humedad desde el Atlántico en el centro de la Argentina (Mancini *et al.*, 2005; Rojo *et al.*, 2010). Un incremento en la intensidad de los vientos *westerlies* en las latitudes cercana a los 40° S, podría implicar un aumento en las precipitaciones orogénicas; y a medida que estos vientos descienden y continúan su trayectoria sobre corrientes de aire irían perdiendo humedad produciendo condiciones climáticas paulatinamente más secas en las áreas más alejadas de la cordillera.

Patagonia y Pampa valor e importancia de los estudios paleoclimáticos

En un contexto climático global, estas regiones se caracterizan por su vulnerabilidad, derivada de su posición latitudinal en el Hemisferio Sur, sus climas extremos y de alta variabilidad intrínseca, su amplia cobertura de hielo y su ubicación geográfica respecto a los océanos Australes y a la corriente Circumpolar Antártica (CCA) siendo la única masa terrestre que atraviesa el Sistema Monzónico Sudamericano; importante control en la circulación oceánica global y por lo tanto del clima global (Piovano *et al.*, 2009; Neukomn *et al.*, 2010). Además, comparado con el Hemisferio Norte la región sur de América del sur, posee una baja densidad de registro *proxy* para abordar ampliamente los cambios ambientales de los últimos 1000 años (Villalba, 1990) manifestando la necesidad de construir desde una perspectiva más regional la variabilidad climática pasada (Piovano *et al.*, 2009) con este fin, las reconstrucciones que se presentan en esta tesis doctoral contribuirían a aumentar los datos acerca de la evolución climática de la región Pampeana y del noroeste de Patagonia. Por otro lado, la localización de ambas regiones, permite un escenario ideal para testear el sincronismo de eventos climáticos entre el Hemisferio Norte y el Sur (Rabassa, 2010) y las respuestas ambientales que han tenido sus ambientes durante los últimos eventos climáticos conocidos.

Por otra parte, la separación de las dos regiones por el paralelo 38°S, que representa una transición climática entre las fuentes de humedad transportadas por las grandes masas de aire provenientes del Pacífico de aquellas provenientes del Atlántico; así como el efecto estacional de “El Niño Oscilación del Sur” (ENOS) en cada región (Garreaud & Battisti, 1999); presenta un escenario ideal para testear la respuesta contraria (anti fase) de los ambientes

ubicados a un lado y otro del paralelo 38°S y de la DA. Cualquier variación que se presente en los respectivos sistemas de regulación hídrica, tendrá un efecto sobre los sistemas naturales y por ende, quedará registrado en los sedimentos de cualquier cuerpo de agua de cada región.

La llanura pampeana es una región de gran importancia económica, que concentra la mayor parte de la población y de la producción cerealera y ganadera de nuestro país, actividades en estrecha relación con el clima (Viglizzo *et al.*, 2011). Las sequías e inundaciones que se presentan frecuentemente en la región alteran el balance hídrico de los ambientes e impacta profundamente en la producción agrícola regional. Esto último enfatiza la importancia y la necesidad del desarrollo de estudios de variabilidad climática en distintas escalas de frecuencia, incluyendo el período preinstrumental. Mientras que la región patagónica es la única masa continental emergida que se proyecta más allá de los 40°S, evidenciando la importancia de sus registros para la comprensión del sistema climático global. Sumado a que la región ha estado sometida a una extensa glaciación en el pasado, sus registros proporcionan información significativa sobre la dinámica tanto del clima del Holoceno como de la desglaciación regional (Masiokas *et al.*, 2010). Además, los ambientes patagónicos están fuertemente influenciados por los vientos del oeste y sus cambios; hecho que ha sido evidenciado a distintas escalas temporales en la región (Moreno *et al.*, 2009).

Tanto las secuencias sedimentarias de la región pampeana como de la región noroeste de Patagonia, abarcan los últimos miles de años y son los archivos ambientales más detallados y continuos para cada región, permitiendo llevar a cabo reconstrucciones paleoambientales y paleoclimáticas con importante resolución temporal (Fontana, 2005; Massaferro *et al.*, 2008; Piovano *et al.*, 2009; Stutz *et al.*, 2010, 2012) que contribuyen al entendimiento de la evolución climática de ambas regiones, donde los registros instrumentales continuos de temperatura, precipitación y otras variables relacionadas con el clima sólo están disponibles a partir de los últimos 50 años.

Los ambientes lacustres pampeanos, mayormente endorreicos y cuya evolución hidrogeoquímica depende pura y exclusivamente del balance entre la evaporación, la precipitación y los aportes freáticos, constituyen archivos inmejorables de los cambios paleoclimáticos de esa región (Laprida *et al.*, 2014). Adicionalmente, en las últimas décadas, se han incrementando los estudios limnológicos y paleolimnológicos sobre los cambios en el estado trófico de los ambientes lacustres pampeanos (Quirós, 1995; Grosman *et al.*, 1996; Quirós & Drago, 1999; Piovano *et al.*, 2002, 2004; Dangavs 2005; Vignatti *et al.*, 2007;

Torremorell *et al.*, 2007; Allende *et al.*, 2009; Izaguirre *et al.*, 2010; Sosnovsky *et al.*, 2010; Aimar *et al.*, 2010; Echaniz *et al.*, 2010, 2012; Bohn *et al.*, 2012; Stutz *et al.*, 2012,2014; Laprida *et al.*, 2014) y del impacto derivado de las actividades humanas desarrolladas durante el siglo XX (Boveri & Quirós, 2003, 2007; Renella & Quirós, 2006; Quirós *et al.* ,2002, 2006; Sosnovsky & Quirós 2006, 2009; Kopprio *et al.*, 2014; Echaniz & Vignatti, 2013; Plastani *et al.*, en prensa), destacando todos ellos el valor de la información ambiental y paleoambiental que pueden ofrecer y que puede ser empleada para la gestión, manejo y conservación de los ambientes someros pampeanos. Mientras que, los ambientes lacustres de alta montaña ubicados en áreas remotas del noroeste Patagónico constituyen excelentes sensores de las variaciones climáticas y de alteraciones que ocurren en sus cuencas de drenaje (Montes de Oca *et al.*, 2017). Además, la gran abundancia de ambientes lacustres permite además obtener una variedad de indicadores climáticos altamente sensibles, como es el caso del polen, diatomeas, coleópteros y quironómidos (Massaferro *et al.*, 2008). Así como marcadores independientes como los relacionados a los eventos volcánicos frecuentes en la zona (Fontijín *et al.*, 2014). Adicionalmente, también en las últimas décadas, se han incrementado los estudios que abordan distintos aspectos de los lagos ubicados en el área protegida Parque Nacional Nahuel Huapi (Zagarese *et al.*, 2000; Modenutti *et al.*, 2010; Díaz *et al.*, 2007; Rogora *et al.*, 2008; Pérez *et al.*, 2013; Diéguez *et al.*, 2013; Bastidas Navarro *et al.*, 2014; Queimaliños & Díaz, 2014; García *et al.*, 2015; entre otros) resaltando su valor en estudios de impacto climático y antrópico dado su carácter casi remoto e incipiente impacto humano (Massaferro & Vandergoes, 2013).

Hipótesis

Los estudios de reconstrucción paleoambiental, efectuados en la Argentina indican para la última parte del Holoceno variaciones en el clima, fluctuando entre períodos secos y húmedos (Cioccale 1999; Markgraf *et al.*, 2003; Gilli *et al.*, 2005; Haberzettl *et al.*, 2005; Aristegui *et al.*, 2008; Laprida *et al.*, 2009; Piovano *et al.*, 2009; Masiokas *et al.*, 2010; Stutz *et al.*, 2014; entre otros).

A partir de estas evidencias se plantea la Hipótesis 1: *Las variaciones ambientales ocurridas en el pasado reciente en las regiones de Pampa y Noroeste de Patagonia, han quedado registradas en sus sedimentos lacustres.*

Por otro lado, algunos estudios paleolimnológicos señalan patrones de contraste regional opuestos en cuanto a precipitaciones y temperaturas, a un lado y otro de la DA (anti-fase) y a partir del Holoceno medio (Mancini *et al.*, 2005; Piovano *et al.*, 2009) e indican para los ambientes lacustres ubicados a un lado y otro de la DA, respuestas paleohidrológicas opuestas frente a fases climáticas conocidas (Anomalía Climática Medieval, Pequeña Edad del Hielo, calentamiento global del siglo XX) y en relación a los diferentes sistemas atmosféricos de regulación hídrica que posee cada región (Mancini *et al.*, 2005; Markgraf *et al.*, 2003; Piovano *et al.*, 2004, 2009; Ariztegui *et al.*, 2007).

Para corroborar estas interpretaciones, se plantea la Hipótesis 2: *Las paleocomunidades de quironómidos ubicados a ambos lados de la DA, muestran cambios (en cuanto composición y abundancia) en respuesta a las variaciones climáticas de los últimos mil años; y estos cambios responden a una antifase climática, delimitada por su ubicación a un lado y otro de la DA.* Por ejemplo, en fases frías, como la Pequeña Edad de Hielo, se espera que los ensambles de quironómidos subfósiles de los ambientes pampeanos estén representados por morfotaxones litorales o de baja profundidad y el ensamble de quironómidos de lagunas del Noroeste Patagónico, por morfotaxones de ambientes profundos o de aguas altas.

Objetivos

El objetivo general de esta Tesis Doctoral es estudiar las variaciones ambientales ocurridas en los últimos mil años en la región pampeana y noroeste de la Patagonia, Argentina, a partir del análisis del ensamble de quironómidos subfósiles presentes en secuencias sedimentarias lacustres. Mientras que los objetivos particulares son:

1. Ampliar el conocimiento taxonómico de los quironómidos subfósiles en el suroeste de la provincia de Buenos Aires (región Pampeana).
2. Analizar los ensambles de quironómidos subfósiles y comparar con los resultados provenientes de otros indicadores paleoambientales, pigmentos fósiles, materia

orgánica y en los casos posibles, nutrientes (N, C, S) y ostrácodos, contenidos en secuencias sedimentarias de ambientes lacustres ubicados, en el Noroeste de Patagonia y Suroeste de la Provincia de Buenos Aires, regiones climáticamente sensibles de la Argentina y con diferente hidrología.

3. Reconstruir la historia ambiental y trófica de una laguna del suroeste de Buenos Aires (laguna *La Barrancosa*) y de dos lagunas del noroeste de la Patagonia (lagunas *Toncek* y *Verde*), a partir de indicadores biológicos, geoquímicos y sedimentológicos.
4. Analizar la composición de los ensambles subfósiles de quironómidos del sudoeste bonaerense (Pampa) y noroeste Patagónico, en respuesta a las variaciones ambientales (climáticas y antropogénicas) de los últimos mil años.
5. Comparar la historia ambiental de la laguna del suroeste de Buenos Aires (Pampa) y de las lagunas del noroeste de la Patagonia, con el fin de aportar nuevas evidencias del contraste climático regional (anti-fase) a ambos lados de la Diagonal Árida durante los últimos mil años.
- 6.

QUIRONÓMIDOS COMO INDICADORES PALEOAMBIENTALES

Los insectos acuáticos quironómidos (Diptera: Chironomidae) son indicadores biológicos importantes (Walker, 2001), con características que permiten su uso en estudios paleolimnológicos y de reconstrucción climática pasada (Walker *et al.*, 1991). Son buenos indicadores de la calidad de agua, tienen un importante rol ecológico, siendo generalmente la familia de insectos más numerosa y diversa en los ambientes acuáticos que ocupan (Armitage, 1995; Langdon *et al.*, 2010). Presentan ciclos de vida relativamente cortos que permite a los ensambles, responder rápidamente a los cambios en su ambiente, en términos de diversidad y composición. Además, las cápsulas cefálicas quitinosas de sus larvas poseen caracteres morfológicos variados y se preservan en los sedimentos lacustres, permitiendo estudios de alta resolución.

Aunque su autoecología indica que la abundancia de especies se relaciona muy bien con variables ambientales como pH, salinidad, estado trófico/productividad, oxígeno disuelto, profundidad (Rossaro, 1991; Walker, 1995, 2001; Quinlan & Smol, 2001; Langdon *et al.*, 2006, 2010) se ha demostrado en más oportunidades (principalmente en Europa y América del Norte) que su distribución y abundancia está en relación directa con la temperatura y que dicha relación puede usarse para inferir cambios en el clima, a partir del análisis de los ensambles fósiles de quironómidos en sedimentos lacustres (Walker *et al.*, 1991; Battarbee, 2000; Eggermont & Heiri, 2012). En el Hemisferio Norte, se han empleado los restos fósiles de estos insectos, para cuantificar cambios en el clima ocurridos durante el Tardiglacial y el Holoceno (Levesque *et al.*, 1996; Brooks & Birks, 2001; Walker & Cwynar, 2006; entre otros), mientras que para el Hemisferio Sur los trabajos tomaron mayor impulso en las últimas décadas, permitiendo reconstruir cambios climáticos en la región desde la transición Tardiglacial/Holoceno (Verschuren & Eggermont, 2006).

Estos insectos holometábolos cumplen gran parte de su vida dentro del agua (Walker, 2001). Sus estados inmaduros (huevo, larva y pupa) se desarrollan en el agua mientras que el adulto es volador (Fig. 2). La duración del ciclo de vida depende de las condiciones y cambios que presente el ambiente, pero comúnmente la mayoría de las especies tropicales completan varios ciclos o generaciones en un año (multivoltinas) mientras que las especies de regiones templadas suelen completar un ciclo o dos por año (uni o bivoltinas) (Walker, 2001)

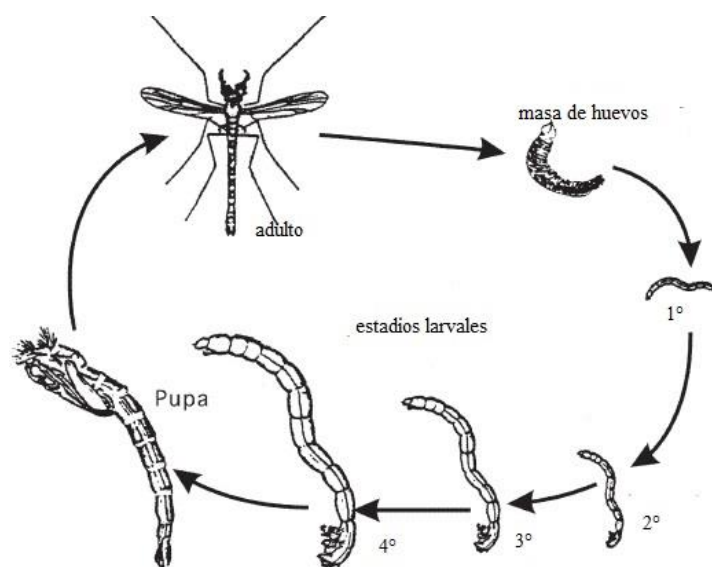
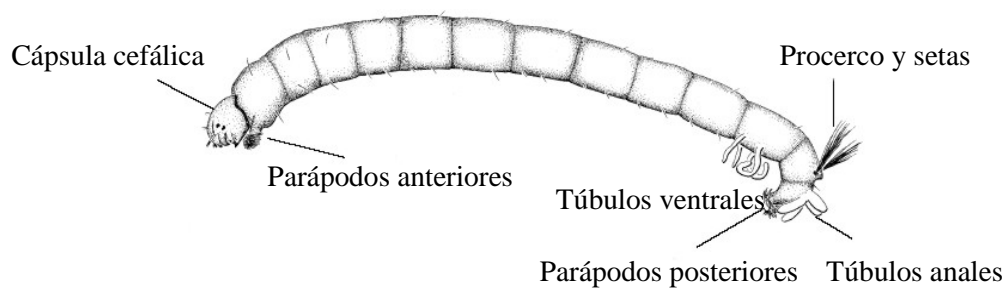


Figura 2. Ciclo de vida de Chironomidae, extraído parcialmente de Walker, (1987).

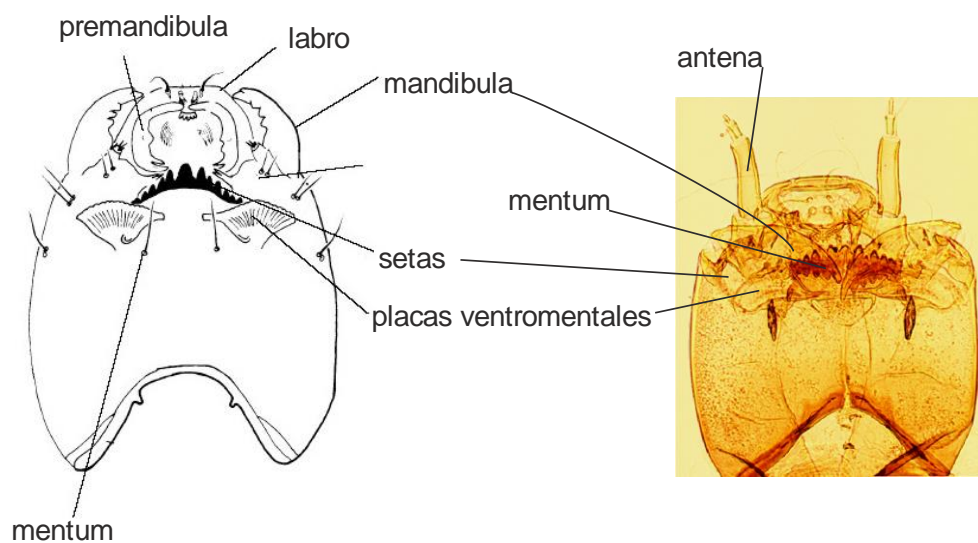
Las hembras liberan sus huevos en grupos de hasta 300 formando masas aglutinadas sobre la superficie del agua y en ocasiones, cerca de la vegetación sumergida. El desarrollo de este estado inmaduro depende principalmente de la temperatura (Oliver, 1971). Una vez eclosionada, la larva permanece en el fondo del cuerpo de agua o sobre algún sustrato (Walker, 1987).

El estado larval (Fig. 3) de los quironómidos consta de 4 fases o estadios de desarrollo, estas fases se diferencian entre sí principalmente en el tamaño de las larvas; durante éste estado inmaduro se acumulan reservas energéticas necesarias para continuar con el ciclo y es donde se produce una importante distribución de las larvas dentro del cuerpo de agua, hacia sustratos adecuados (Walker, 1987). El cuerpo de la larva es delgado y cilíndrico, con la cabeza bien esclerotizada y diferenciada, posee un par de patas falsas en el primer

segmento torácico denominadas *Parápodos anteriores*, y otro par, en el último segmento abdominal, *Parápodos posteriores*, en ocasiones estas falsas patas pueden estar fusionadas o reducidas (Cranston, 2000). Además, este último segmento abdominal posee un penacho de setas, *procercos* y en ocasiones evaginaciones denominadas *Túbulos anales* que asisten en la respiración tegumentaria. La configuración de las piezas bucales de posición prognata, dientes del *mentum*, dientes de las mandíbulas y placas ventromentales, junto a otras características de la cápsula cefálica (antenas, setas), son las principales características que permiten identificar a las larvas hasta el nivel taxonómico de género y especie.



a) aspecto general de la larva



b) cápsula cefálica de la larva, vista ventral

Figura 3. Morfología de la larva de Chironomidae. Extraído de Massaferró *et al.*, (2012).

La diversa alimentación de las larvas, admite clasificarlas ecológicamente en grupos funcionales alimentarios, una clasificación comúnmente empleada en macroinvertebrados acuáticos (Cummins & Klug, 1979). Es importante destacar que conocer la dieta de las larvas y la oferta alimenticia del ambiente permite analizar el rol ecológico que tendrán las especies presentes en el ambiente a estudiar y que junto a otras características como estrategias de vida, interacciones del tipo competencia, predación etc. determinan la estructura de la comunidad acuática, la diversidad, abundancia y los patrones de distribución de los organismos en los sistema que habitan. La gran mayoría de larvas de quironómidos son clasificadas como detritívoras, consumiendo materia orgánica particulada fina; desde un enfoque ecológico estos quironómidos generalmente bentónicos son elementos clave de las comunidades acuáticas, ya que son mayormente alimentadores de depósito (Armitage *et al.*, 1995) y transfieren la materia orgánica de los sedimentos a la red trófica del sistema (Walker, 2001). Sin embargo también pueden encontrarse quironómidos depredadores (mayormente de la subfamilia Tanypodinae), consumiendo oligoquetos, restos de artrópodos, rotíferos, etc.; los llamados *scrapers* que consumen diatomeas, y raspadores o *shreders* que consumen tejido vegetal (comúnmente pertenecientes a la subfamilia Chironominae). También, dentro de los quironómidos puede encontrarse aquellos que poseen una considerable flexibilidad en el modo de alimentarse, este cambio en el hábito alimenticio se relaciona con cambios en la composición del sedimento (Armitage *et al.*, 1995).

El estado de pupa (Fig. 4) de los quironómidos es de corta duración si se lo compara con el estado anterior, suele durar desde horas a unos pocos días y depende principalmente de la temperatura del ambiente (Oliver, 1971). En este estado se llevan a cabo cambios morfológicos profundos para el desarrollo del adulto (Walker, 2001). El cuerpo de la pupa se divide en cefalotórax (formado por la unión de cabeza y tórax) y abdomen. En la zona anterior, presenta un par de expansiones pro-torácicas *cuernos torácicos* que le permite el intercambio de gases. La morfología de estos cuernos junto a la de los lóbulos anales del último esternito (o segmento abdominal) y a la presencia de espinas y setas a lo largo del abdomen, son caracteres taxonómicos importantes para su identificación (Cranston, 2000). La pupa es casi inmóvil y no se alimenta, en el momento de la eclosión del adulto, ésta se desplaza a la superficie del agua impulsada por el aire acumulado, entre la muda de la pupa y la piel del adulto (Oliver, 1971). Mientras que el imago se prepara para emerger, para lo cual expule aire de su sistema respiratorio que le permite romper la exuvia pupal por una línea de fractura o ecdisis y salir volando al momento de emerger.

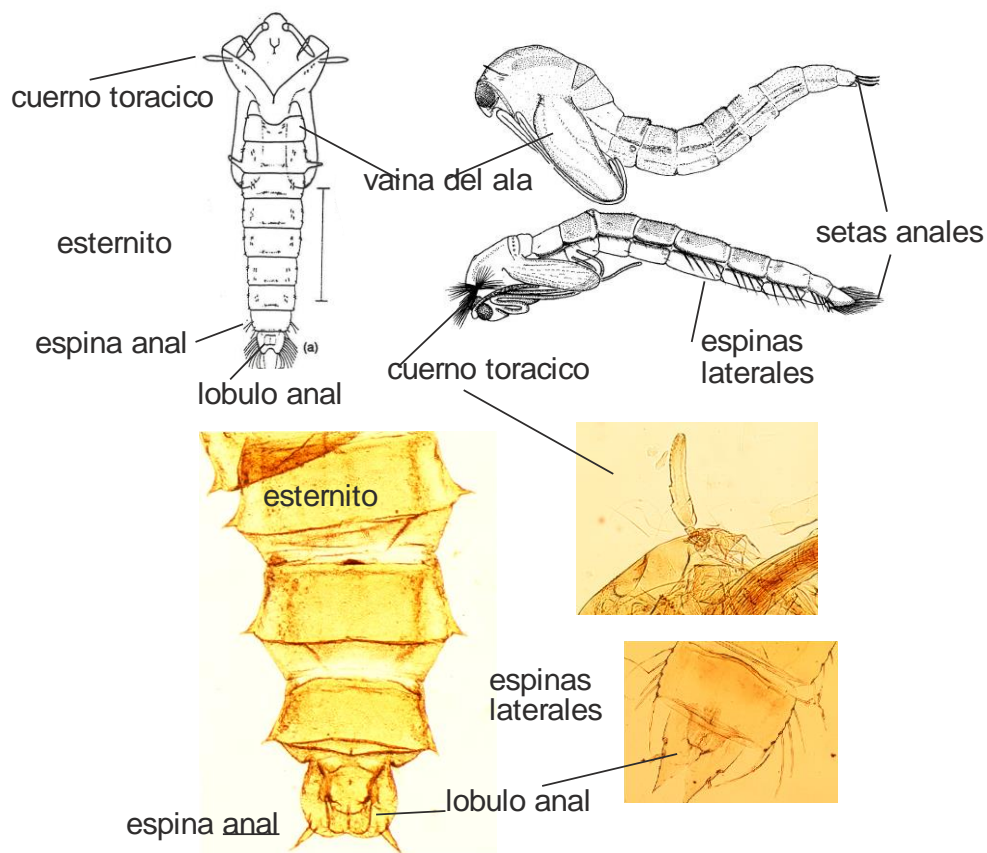


Figura 4. Morfología de la pupa de Chironomidae. Extraído de Massaferró *et al.*, (2012).

El último estado del ciclo de vida de los quironómidos, estado adulto, es de corta duración y se caracteriza por presentar individuos alados pequeños (largo de alas < a 7,5 mm), diurnos, que suele no alimentarse. Vuelan en lugares abiertos cercanos al agua, formando enjambres para lograr el apareamiento y completar el ciclo de vida (Paggi, 2001) y también, dispersarse a otros ambientes.

El cuerpo del adulto se divide en cabeza, tórax y abdomen (Fig. 5). Los caracteres morfológicos importantes que permiten la identificación de las especies son principalmente: la genitalia (estructuras del sistema reproductor) ubicada en los últimos segmentos abdominales, la venación del par de alas, la distribución de los pelos del tórax que en algunos casos permite observar dibujos u ornamentaciones, el número de segmentos de las antenas,

pelos y la presencia o ausencia de algunos procesos en los artejos de las patas (como espinas y pelos) (Spies & Reiss, 1996; Paggi *et al.*, 2001).

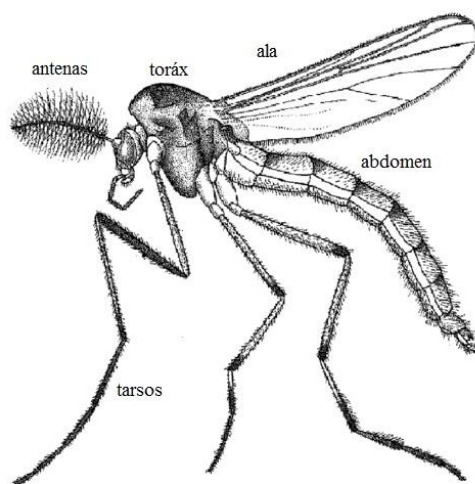


Figura 5 Adulto de Chironomidae, extraído parcialmente Cranston, (2000)

Los quironómidos poseen distribución cosmopolita, desarrollándose en diversos ambientes desde lénticos a lóticos, permanentes a estacionarios. La amplia distribución y tolerancia a condiciones adversas ha sido lograda en base a cambios en el hábito alimenticio, la construcción de tubos a modo de refugio, fisiológicos (presencia de Hemoglobina como pigmento respiratorio) y cambios morfológicos relativamente leves (Armitage *et al.*, 1995).

Taxonomía de los quironómidos

La Familia Chironomidae (Insecta: Diptera) posee 11 subfamilias de las cuales 9 están representadas en Sudamérica (Spies & Reiss, 1996) con aproximadamente 618 especies descriptas (Ferrington, 2008). Las reconstrucciones paleoambientales efectuadas en latitudes medias de América del Sur, presenta como principal dificultad la baja resolución taxonómica y la escasa información ecológica existente de este grupo de dípteros (Verschuren & Eggermont, 2006). Pese a los esfuerzos de las últimas décadas en superar esta dificultad, que se traduce en la elaboración de guías de identificación para los quironómidos Sudamericanos

(Paggi, 2001; Donato *et al.*, 2009; Massaferrero, *et al.* 2013; Mauad *et al.*, 2016), el conocimiento taxonómico aún sigue siendo escaso.

Las Subfamilias Chironominae, Tanypodinae, Orthocladiinae contienen el mayor número de especies presentes en Argentina, siendo Chironominae y Tanypodinae las subfamilias mas frecuentes en todo el territorio (Tabla 1) (Massaferrero *et al.*, 1991; Paggi, 2001; Verschuren & Eggermont, 2006; Donato *et al.*, 2008, Tejerina & Malizia, 2012, Massaferrero & Vandergoes, 2013; entre otros). Podonominae es una familia indicada como de ambientes fríos casi propia de la región Patagónica; nuevos registros extienden la distribución actual del género *Parochlus* y *Podonomus* hacia la región centro de Argentina, pero siempre en el sector Andino o muy cerca del mismo (Rodríguez *et al.*, 2009; Siri & Donato, 2012).

El conocimiento de la fauna de quironómidos en el Centro y Norte de la Argentina esta limitado mayormente a ambientes lóticos, donde han sido estudiados por sus diferentes hábitos alimenticios, bionometría, como por su uso como bioindicadores (Paggi, 1999; Fernández *et al.*, 2001; Medina & Paggi, 2004; Tejerina & Malizia, 2012; Galizzi *et al.*, 2012; entre otros). De las 9 subfamilias presentes en la Argentina, solo Chironominae, Orthocladiinae y Tanypodinae fueron las más estudiadas en los últimos años (Marchese & Paggi, 2004). La región patagónica, posee un porcentaje alto de géneros endémicos (20%) (Donato *et al.*, 2009). Para el Parque Nacional Nahuel Huapi (PNNH) se indica la presencia de 104 especies reunidas en 6 subfamilia y 48 géneros, con muchas especies nuevas y otras que aún no han sido descriptas (Donato *et al.*, 2008). La fauna de quironómidos de Patagonia presenta estrecha afinidad con las subfamilias presentes en la región de Australasia, teniendo en común por ejemplo los géneros: *Riethia* Kieffer, *Austrocladius* Freeman, *Botryocladus* Cranston & Edwards, *Parapsectrocladius* Cranston, entre otros (Donato *et al.*, 2009). En los últimos 15 años en el área del PNNH, se han incrementado los estudios actuales y paleolimnológicos que han abordado la taxonomía y biodiversidad de este grupo, generando listas (Donato *et al.*, 2008) y guías de identificación taxonómica actuales (Massaferrero *et al.*, 2012) y de la fauna subfósil (Massaferrero *et al.*, 2013). Pero pese a estos esfuerzos, se requiere de estudios ecológicos sobre el grupo para un completo el entendimiento de los requerimientos y distribución de este grupo de dípteros en los ambientes Patagónicos en general.

En cuanto a la identificación taxonómica, las observaciones de los caracteres morfológicos se hacen comúnmente sobre las larvas de la última fase (fase 4), debido a su

mayor tamaño que permite observar en detalle la morfología de los caracteres taxonómicos. A continuación se describen a rasgos generales de las cápsulas cefálicas de las larvas, de las principales subfamilias presentes en Argentina.

Subfamilia Chironominae

Las cápsulas cefálicas de esta subfamilia (Fig. 6) se caracterizan por poseer aspecto general rectangular a cuadrado, con placas ventromentales visibles en forma de triángulo invertido o abanico. La configuración de los dientes del mentón así como, las crenaciones, estraciones que pueda presentar el par de placas ventrales son caracteres taxonómicos importantes en esta subfamilia.

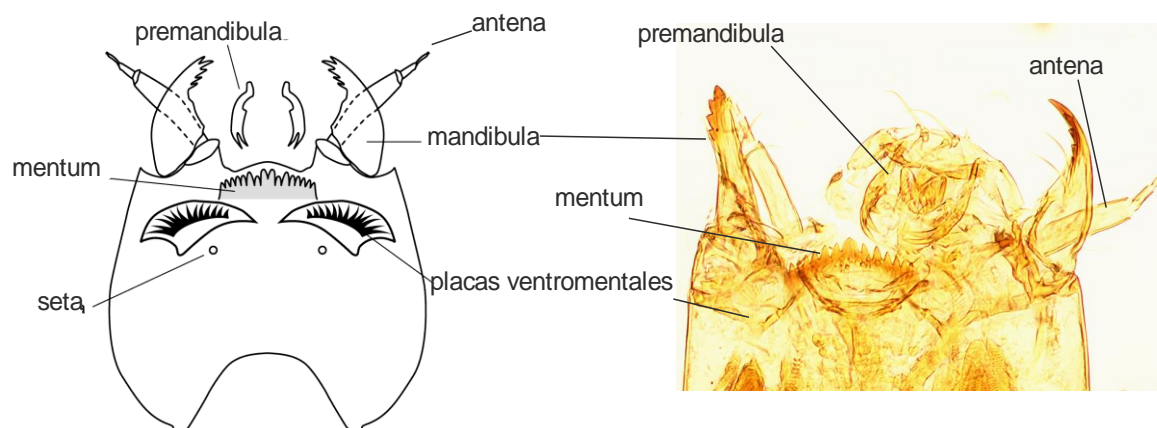


Figura 6. Subfamilia Chironominae. Vista Ventral. Extraído de Massaferró *et al.*, (2012)

La tribu Tanytarsini (Fig.7) presente en esta subfamilia, se caracteriza por poseer placas ventromentales de forma elongada curva.

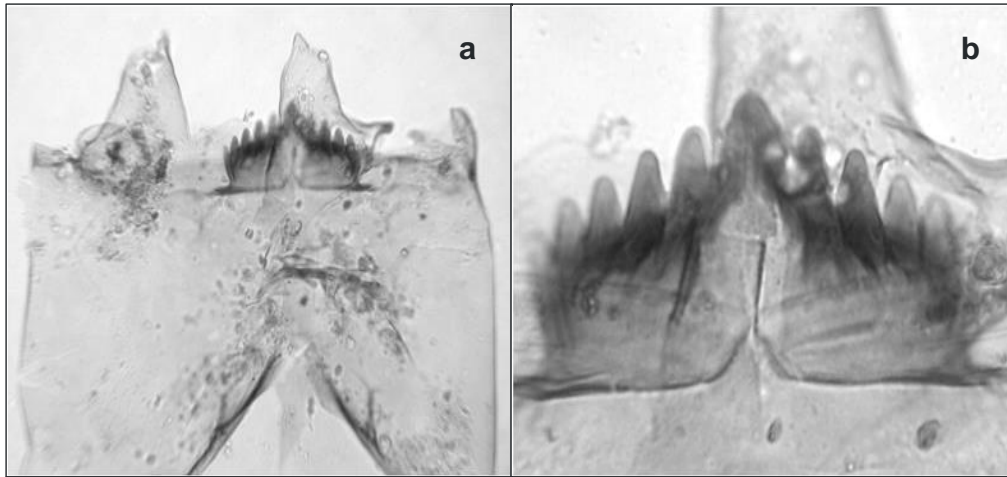


Figura 7. Subfamilia Chironominae, Tribu Tanytarsini. Extraído de Massaferró *et al.*, (2013) a) aspecto general b) detalle del *mentum*.

Subfamilia Tanypodinae

Las cápsulas cefálicas de esta subfamilia se caracterizan por su forma alargada, de aspecto general rectangular y antenas retráctiles formada por 4 segmentos (Fig. 8). Presentan un prementón, con una lígula con distintos grados de esclerotización y número de dientes, acompañada generalmente por un par de estructuras alargadas las paralígulas. La setación de la cápsula es otro carácter taxonómico importante en esta subfamilia.

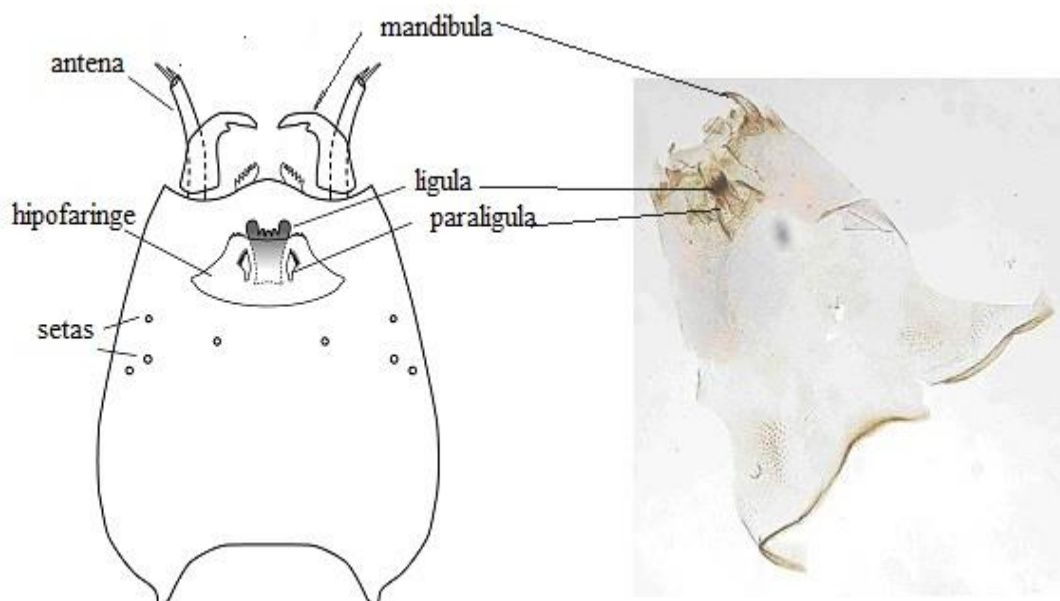


Figura 8. subfamilia Tanypodinae. Extraído de Massaferró *et al.*, (2012)

Subfamilia Orthoclaadiinae

Las cápsulas cefálicas de esta subfamilia varían en forma y tamaño así como en grado de esclerotización (Fig. 9). Presentan placas ventromentales poco desarrollada y antenas formada por 4 a 7 segmentos. El mentón generalmente fuertemente esclerotizado posee distinta configuración de dientes y setas que permite su identificación taxonómica.

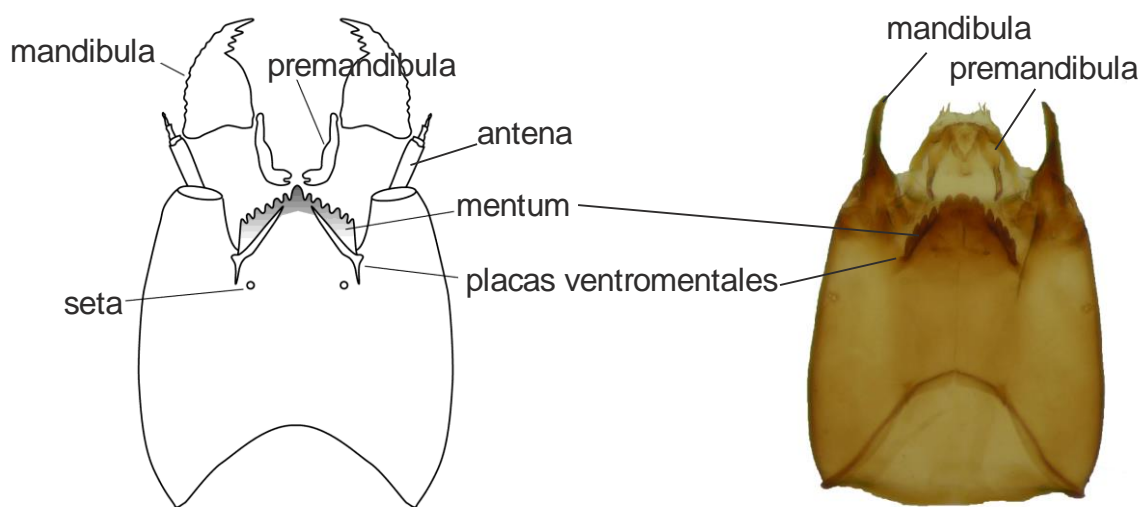


Figura 9. Subfamilia Orthoclaadiinae. Extraído de Massaferró *et al.*, (2012)

Subfamilia Podonominae

Las cápsulas cefálicas de esta subfamilia varían en forma y tamaño pero generalmente están bien esclerotizadas (Fig. 10). Las placas ventromentales están muy poco desarrolladas a ausentes y el mentón se encuentra esclerotizado con distinta configuración de dientes y presencia de setas.

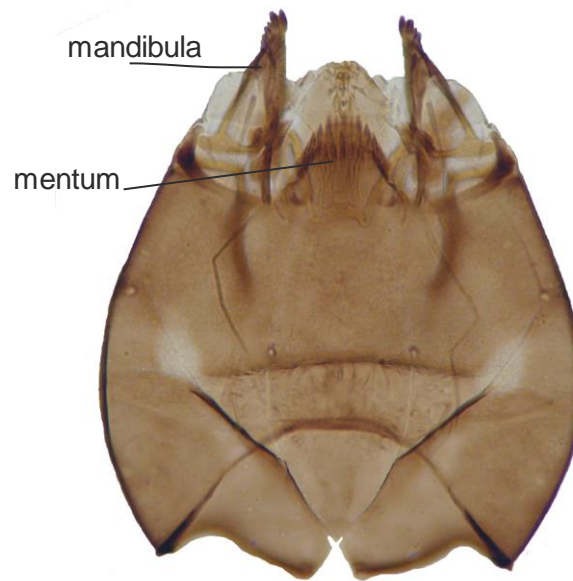


Figura 10. Subfamilia Podonominae. Extraído de Massaferró *et al.*, (2012)

Los quironómidos como proxy paleoambiental

Los quironómidos han sido empleados como indicadores de cambios en el estado trófico de los lagos someros del Hemisferio Norte (Lotter *et al.*, 1998; Langdon *et al.*, 2006) y en relación a las variaciones temporales en la carga de nutrientes, que pueden presentarse en el cuerpo de agua (Little & Smol, 2000; Langdon *et al.*, 2010). Un aumento importante de la materia orgánica y nutrientes (principalmente fósforo) en los sedimentos y en la columna de agua, aumenta la productividad lacustre (Brooks *et al.*, 2001; Scheffer, 2004). Este aumento causa comúnmente un déficit de oxígeno en la interfase agua-sedimento, alterando en varias ocasiones la comunidad acuática y la tasa de sedimentación en el ambiente. Debido a que la distribución de los quironómidos en el sedimento está limitado por la disponibilidad de oxígeno (Brodersen & Quinlan, 2006), un aumento en la productividad del lago resulta en una disminución general de la abundancia de quironómidos; beneficiando taxones disóxicos como *Chironomus* y *Procladius* (Little & Smol, 2000; Quinlan & Smol, 2001). Si bien la productividad de los lagos se relaciona en primera instancia con el clima, puede estar influenciada por diversas causas, directas (por ej. ingreso de nutrientes al cuerpo de agua) o indirectas (por ej. efecto cascada en cadena trófica, cambios en las características

fisicoquímicas del cuerpo de agua) (Scheffer, 2004), que interactúan de forma tan compleja que en muchas ocasiones en los estudios paleoambientales, es difícil desglosar.

Varios estudios paleolimnológicos, han indicado el uso de los restos subfósiles de quironómidos en relación a la variación del nivel del agua de lagos. Las grandes variaciones en los volúmenes de agua de un lago, por cambios en la relación precipitación/evaporación afecta en primer lugar, las zonas litoral de la cubeta y las comunidades que allí habitan (Scheffer, 2004). Un aumento en el nivel de agua, afecta directamente a las especies litorales beneficiando a aquellas pelágicas o de zona profunda, mientras que una disminución del nivel de agua, beneficia a las especies litorales. En Patagonia, los estudios paleoclimáticos indican una clara separación de los taxones afines a la zonas litorales/semiterrestres como *Dicerotendipes*, *Glyptotendipes*, *Polypedilum*, *Limnophyes*, *Smittia* (Massaferro *et al.*, 2009; Massaferro & Larocque, 2013; Massaferro *et al.*, 2014; Williams *et al.*, 2016) de aquellas comunes en zonas más profundas, *Chironomus*, *Tanytarsus*, *Procladius* (Massaferro *et al.*, 2008).

Se reconoce ampliamente la importancia de la temperatura como principal factor que interviene en la distribución y abundancia de los miembros de la familia Chironomidae (Rossaro, 1991; Armitage, 1995; Brodersen & Lindegaard, 1997). Este grupo de dípteros ha sido catalogado como “paleotermómetros” (Larocque *et al.*, 2001) permitiendo efectuar reconstrucciones climáticas desde el Tardiglacial (Verschuren & Eggermont, 2006). En el Hemisferio Norte, se han efectuado numerosos estudios para construir lo que se denomina “set de calibración” o “training set”, a partir del cual surgen funciones de transferencia que permiten cuantificar los cambios en la temperatura pasada de las diferentes regiones de ese hemisferio (Walker *et al.*, 1991; Brooks & Birks, 2001; Larocque *et al.*, 2001; Eggermont & Heiri, 2011; entre otros). Massaferro *et al.*, (2014) presentan la primera reconstrucción cuantitativa de la temperatura pasada para el Noroeste de Patagonia, aunque indica un error de aproximadamente 5°C, debido a la incompleta información taxonómica y ecológica del grupo que aún se presenta en la región.

Por otro lado, varios estudios paleolimnológicos han podido cuantificar el impacto de la depositación pasada de tefras, sobre los ecosistemas acuáticos y su comunidad (Lotter & Birks, 1993; Eastwood *et al.*, 2002; Cruces *et al.*, 2006; Hamme *et al.*, 2010; Lin *et al.*, 2011; entre otros); indicando entre algunos de sus efectos, cambios en la turbidez del agua, incremento de la productividad primaria acuática por aporte de nutrientes “fósforo”, cambios

en la abundancia y diversidad de la comunidad bentónica, entre otros. Los estudios paleoecológicos efectuados en la Patagonia, indican que las recientes erupciones volcánicas junto a la variación de la temperatura, son los principales agentes de cambio, en términos de abundancia y composición, de los ensambles de quironómidos patagónicos (Massaferro, 2005; Araneda *et al.*, 2007; Urrutia *et al.*, 2010; Massaferro *et al.*, 2016; Williams *et al.*, 2016)

ÁREA DE ESTUDIO

Para este estudio se seleccionaron ambientes lacustres ubicados en áreas que se encuentren separadas geográficamente por la Diagonal Árida (DA) y que pertenezcan al conjunto de *lagos pampeanos*, influenciados hídricamente por los sistemas de circulación atmosférica que transporta humedad provenientes del Atlántico (Vera *et al.*, 2006) y al conjunto de *lagos patagónicos* influenciados por el sistema de circulación atmosférica que transporta humedad desde el Pacífico (Garreaud *et al.*, 2009). Además, se priorizó que los cuerpos de agua contaran con estudios de base previos, ya sean limnológicos, geológicos, o paleoambientales, que permitan por un lado obtener una referencia del estado trófico actual y por otro, asegurar la extracción de una columna continua de sedimentos de fondo continua, cerciorando una reconstrucción altamente detallada de los cambios ambientales (naturales o antrópicos) ocurridos durante el periodo en que se centró esta investigación.

Los sitios seleccionados fueron: laguna *La Barrancosa* (37° S, 60° O), localizada por encima de la DA y al suroeste de la provincia de Buenos Aires, enmarcada en el conjunto de ambientes lacustres de la llanura pampeana y que a partir de aquí denominaremos *laguna del suroeste bonaerense*; y por otro lado, las lagunas Verde (41°02' S, 71°34' O) y Toncek (41°11' S, 71°29' O), localizadas por debajo de la DA y al noroeste de la región Patagónica, en la provincia de Río Negro, enmarcadas en el conjunto de ambientes lacustres patagónicos y que a partir de aquí denominaremos *lagunas del noroeste de Patagonia* (Fig. 11).

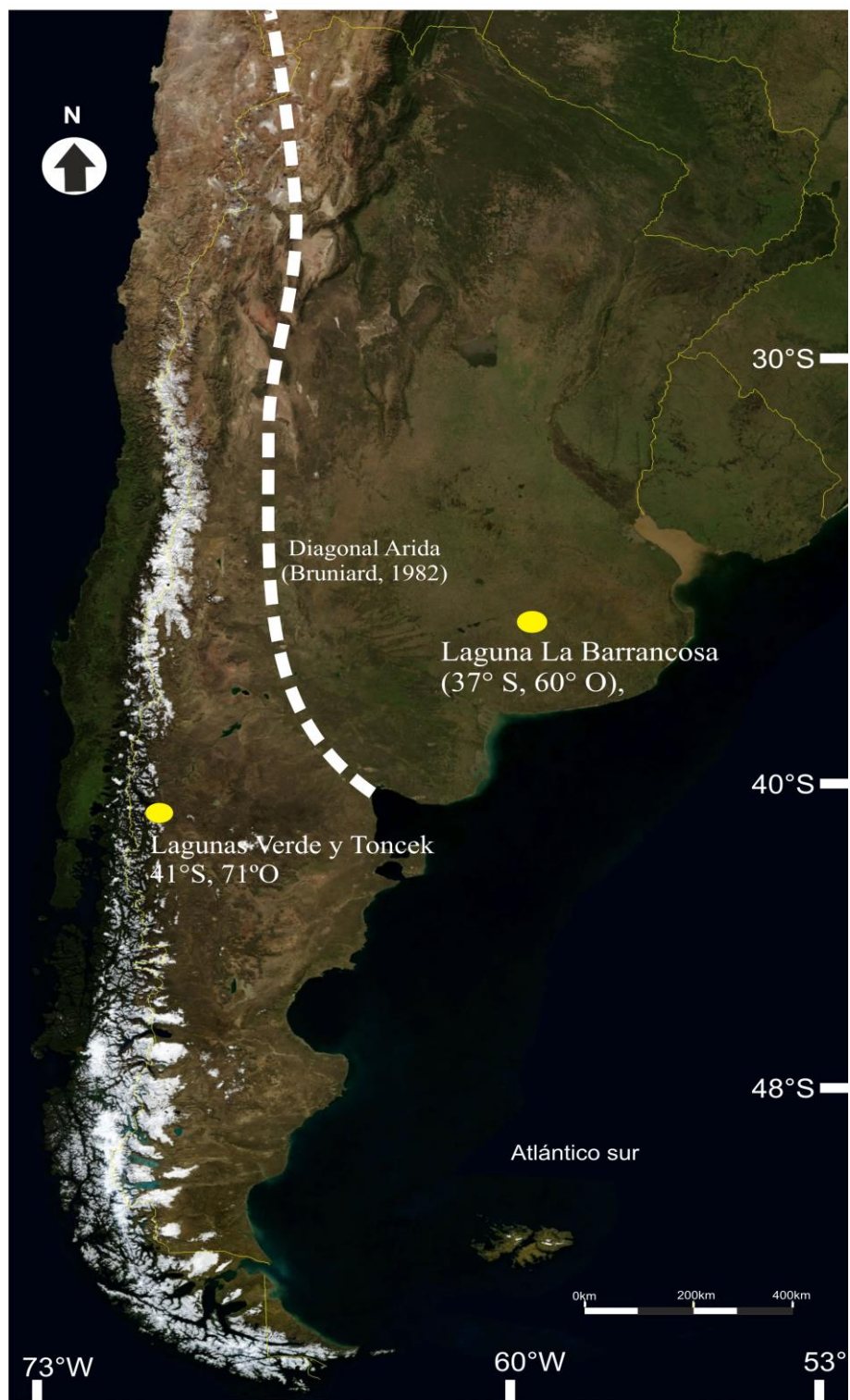


Figura 11. Ubicación de los sitios de estudio

A continuación se describen aspectos generales de la fisiografía-fitogeografía, clima y limnología de las áreas donde se localizan los lagos seleccionados. La descripción particular de cada sitio de estudio se presenta en los capítulos 4, 5 y 6.

Suroeste de la provincia de Buenos Aires

Descripción general

La llanura pampeana argentina (33°-39° S, 57°-66° O) se ubica en el área llamada Pampa deprimida, se asienta sobre una fosa tectónica rellena por sedimentos terciarios y cuaternarios con cubierta superior, caracterizada por una composición mineralógica de *loess pampeanos* depositados durante el Pleistoceno y Holoceno (Irondo & García, 1993; Zárate, 2003). Estos sedimentos de caracterización principalmente limosa, con presencia de arena y arcilla, tiene un origen volcánico-piroclástico relacionado con el volcanismo del Pleistoceno en la Cordillera de los Andes (Zárate, 2003). Sobre esta cubierta se encuentra un importante número de lagos, originados en procesos de deflación eólica y en cauces fluviales preexistentes (Tricart, 1973; Quirós, 2005) y por acción tectónica, dilución Kárstica o modificación antrópica del terreno (Quirós, 2005).

El suroeste de la provincia de Buenos Aires, objeto de este estudio, se caracteriza por un paisaje llano y con gran desarrollo areal (Tricart, 1973). Desde el punto de vista fitogeográfico, el sector se encuentra incluido en los distritos Pampeano Oriental y Pampeano Austral de la provincia Pampeana (Dominio Chaqueño) donde domina la vegetación del tipo estepa o pseudo-estepa graminosa alternada con praderas, matorrales, pajonales y juncales (Cabrera, 1968). El clima del suroeste de la provincia de Buenos Aires es sub-húmedo/húmedo. Los sistemas de circulación que regulan el balance hídrico en la región son principalmente los anticiclones subtropicales semipermanentes del Atlántico Sur Occidental y el Pacífico Sur-Oriental y la circulación de vientos vinculados al Sistema Monzónico Sudamericano (oscilación Antártica o Southern Annular Mode –SAM- como comúnmente se lo conoce). La interacción de estos sistemas sobre la atmósfera de la provincia de Buenos Aires, da lugar a un patrón de circulación atmosférica general en sentido noreste-suroeste, durante todo el año. Las masas de aire transportadas por el Anticiclón del Atlántico Sur desde el Este y el Noreste generan humedad en la zona. Durante la primavera, una fuerte

componente del este suministra humedad desde el Río de la Plata y durante el verano, vientos del norte-noreste producen advección de aire húmedo y cálido. Como consecuencia, las masas de aire antártico o subantártico, frías y secas, y las cálidas y húmedas del Atlántico Sur, se posicionan sobre la provincia de Buenos Aires resultando en frecuentes precipitaciones (Barrucand *et al.*, 2007). Las lluvias varían desde aproximadamente 600 mm en el suroeste, hasta 1100 mm en el noreste de la provincia de Buenos Aires. La estación lluviosa, se extiende desde octubre hasta abril mientras que, en el verano, ocurren sequías ocasionales (Scian & Pierini, 2013; Garreaud *et al.*, 2009). En estos regímenes, se registran comúnmente anomalías asociadas al fenómeno de “El Niño Southern Oscillation”-ENSO (Depetris *et al.*, 1996; Garreaud & Battisti, 1999). La temperatura media anual en la provincia de Buenos Aires varía entre 13°C en el sur de la provincia, hasta 20°C en el norte de la misma (Aliaga *et al.*, 2016). Según las series meteorológicas, en las últimas décadas, las lluvias y las temperaturas han aumentado registrándose veranos más cálidos e inviernos más húmedos (Barros *et al.*, 2000; Podesta *et al.*, 2009).

Características limnológicas de las lagunas del suroeste bonaerense

Según Toresani *et al.*, (1994), existen aproximadamente 500 tipos de cuerpos de agua presentes en la llanura pampeana bonaerense. La mayoría son ambientes someros con profundidad que no supera los 7 metros y se diferencian entre sí por el tiempo de permanencia, la morfología, las características limnológicas así como también en el estado trófico y la presión antrópica que poseen (Quirós *et al.*, 2002). La escasa profundidad y la acción de los vientos del área permiten la continua mixis de las aguas (polimícticos). Además, la baja profundidad de las lagunas sumado a la capacidad de penetración de la luz hasta los sedimentos permite que, en ocasiones, se arraigue una importante cantidad de macrófitas sumergidas (*Ceratophyllum*, *Myriophyllum*) o emergentes (*Schoenoplectus*, *Typha*) (Quirós *et al.*, 2002; Quirós, 2005; Pérez *et al.*, 2010).

La regulación del balance hídrico de estas lagunas de llanura, se encuentra afectada por el clima de la región y por la alternancia de periodos de déficit y exceso de precipitaciones, comunes en la región (Quirós, 2005; Torremorell *et al.*, 2007; Bohn *et al.*, 2011). Poseen hidroquímica altamente variable encontrándose desde lagunas hiperhalinas (10-100 g/L) a oligohalinas (<0,5 g/L) (Quirós & Drago, 1999). La mayoría se encuentra en un estado eutrófico natural, con alta concentración de nutrientes (Quirós, 2005; Allende *et al.*,

2009; Diovisalvi *et al.*, 2015; entre otros) y biomasa zoo y fitoplanctónica general, si se los compara con las lagunas de la Patagonia (Pérez *et al.*, 2010).

Al igual que el resto de los cuerpos de agua someros, las lagunas de la llanura pampeana suelen alternarse entre estados tróficos claros y turbios (Scheffer *et al.*, 1993) influenciado en ocasiones por intervención antrópica (Quirós *et al.*, 2006; Laprida *et al.*, 2014). Un estado trófico “claro” presenta aguas con alta transparencia, donde la penetración lumínica llega hasta el fondo de la cubeta, permitiendo el desarrollo de macrófitas sumergidas/arraigadas (Quirós, 2005). La presencia de macrófitas condiciona las características fisicoquímicas de la columna de agua y la trama trófica de la cubeta, por efectos directos e indirectos sobre las distintas comunidades y principalmente sobre comunidad fitoplanctónica (Scheffer, 2004; Allende *et al.*, 2009). Un estado trófico “turbio” se caracteriza por la baja transparencia del agua, generalmente coloración verdosa debido a la abundante biomasa de fitoplancton, ausencia de macrófitas y comunidades zooplanctónicas de tamaño pequeño (Scheffer, 2004; Echaniz *et al.*, 2012). Por último, Quirós *et al.* (2002), describen un estado trófico “turbio inorgánico” derivado de un estado avanzado de hipereutrofización, con baja relación N/P, abundante comunidad piscívora planctónica, frecuentes floraciones algales y resuspensión de sedimento fino derivado tanto, del continuo movimiento del agua (mixis) como de la llegada de carga externa. El cambio en los estados tróficos de las lagunas responde tanto a la variación climática como a forzantes intrínsecas; y es propiciado fuertemente por el impacto antrópico creciente de los últimos siglos (Quirós *et al.*, 2002; Laprida *et al.*, 2014). Por ejemplo, Allende *et al.*, (2009) indican que las lagunas pampeanas históricamente se presentaban en un estado “claro - vegetado” pero que el incremento en las actividades humanas como agricultura, siembra de peces, ganadería y urbanización en toda la región produjeron importantes cambios en las áreas de drenaje, promoviendo en la actualidad, un estado “turbio” con fitoplancton dominante, debido principalmente al incremento de aporte alóctono de nutrientes (Quirós *et al.*, 2006) derivado principalmente del cultivo intensivo que se realiza en la región.

Noroeste de Patagonia.

Descripción general

En el noroeste de la región Patagónica (41°S-71°O), predominan los elevados cordones montañosos, con orientación norte-sur, separados por valles fluviales y donde se emplaza la mayor cantidad de lagos de la región (Planas, 1997). Geológicamente el sector esta constituido por dos unidades litoestratigráficas principales, un basamento cristalino (Gordon & Ort, 1993) (granitoides cretácicos) y una cubierta volcánica y sedimentaria (Bonorino, 1973). La heterogeneidad del paisaje y la vegetación dominante permite distinguir diferentes ambientes: bosques, dominados por el género *Nothofagus*; estepa arbustiva dominada comúnmente por el genero *Larrea sp.*; estepa gramínea dominado por *Stipa sp.* y *Festuca sp.*; y el ambiente Alto-Andino ubicado por encima de los 1000 m s.n.m, dominado por gramíneas xerófilas y dicotiledóneas rastreras o en cojín (Cabrera & Willink, 1980; Mermoz *et al.*, 2000). El ingreso de masas de aire provenientes desde el Océano Pacífico y la proximidad del cordón montañoso “Cordillera de los Andes” son factores determinantes del clima en este sector de la región (Paruelo *et al.*, 1998). Los fuertes vientos del oeste (*westerlies*) constituyen uno de los rasgos climáticos característicos de toda la región, junto con un patrón de disminución de las precipitaciones en sentido oeste-este; desde los Andes y hacia el este la precipitación anual total decrece exponencialmente (Paruelo *et al.*, 1998). Las precipitaciones en la zona andina pueden llegar a superar los 2000 mm anuales mientras que, en la parte central y este de la Patagonia la precipitación anual llega a los 125 mm. La estación lluviosa se extiende desde abril a septiembre (Paruelo *et al.*, 1998). Se registran anomalías en el régimen de lluvias de primavera (septiembre a noviembre) muy asociados al fenómeno “El Niño Southern Oscillation”-ENSO (Paruelo *et al.*, 1998). El relieve montañoso que se presenta en el sector, marca además, un fuerte gradiente térmico altitudinal, variando desde un promedio de temperatura anuales de 8°C en valles bajos a 3°C en relieves altos (2000 metros de altitud o más) (Mermoz *et al.*, 2000). Los registros meteorológicos en el sector indican un ligero aumento de la temperatura del aire y una disminución de la

precipitación durante los últimos 40 a 50 años, principalmente en las temperaturas de verano (Castañeda & Gonzáles, 2008).

Debido a su proximidad con el Cinturón de Volcanes del Sur (Southern Volcanic Zone –SVZ) ubicados entre los 33° y 47° latitud Sur, los ambientes del noroeste Patagónico reciben el impacto frecuente de cenizas volcánicas (tefras) provenientes de erupciones de volcanes chilenos. Esto ha permitido incorporar análisis tefrocronológicos en las reconstrucciones paleoambientales efectuadas para el noroeste Patagónico, debido al impacto regional limitado de depositación de tefras y su uso como marcadores independientes (Fontijín *et al.*, 2014).

Características limnológicas de las lagunas del noroeste patagónico

Las lagunas del noroeste patagónico son mayormente de origen glaciario, ubicadas en variadas fosas excavadas por grandes mantos de hielo que se desplazaban en sentido oeste y este, desde la Cordillera de los Andes. De acuerdo con su origen, la gran mayoría posee carácter oligotrófico y ultraoligotrófico (Pedrozo *et al.*, 1993; Modenutti *et al.*, 1998; Quirós & Drago, 1999), esta característica parece deberse, según estudios de la química de agua, a una deficiencia directa de nitrógeno más que a una escasez de fósforo (Zagarese *et al.*, 2000; Díaz *et al.*, 2007; Rogora *et al.*, 2008). Poseen régimen monomíctico-cálido, en general (Quirós & Drago, 1999); aunque también se registran algunas con régimen dimícticos o polimíctos (Rogora *et al.*, 2008).

Pueden diferenciarse dos tipos de ambientes lacustres en el área: lagunas de altura, ubicadas en el ambiente Altoandino por encima del límite superior del bosque (aproximadamente a 1550 metros de altitud) o “treeline” y lagunas ubicados por debajo de esta altitud, comúnmente llamadas lagunas de montaña. Las lagunas de altura se diferencian por una profundidad que ronda entre 7-20 m y por su estructura térmica, permaneciendo congeladas durante 6-8 meses al año. Generalmente, presentan una columna de agua con un perfil de oxígeno característico (Pérez *et al.*, 2002, 2010) y comunidades acuáticas con baja riqueza y biomasa (Bastidas Navarro *et al.*, 2014; Queimaliños & Díaz, 2014). Por otro lado, el régimen hídrico de estos ambientes de altura está afectado principalmente por las precipitaciones (incluida la nieve de invierno), mientras que las lagunas de montaña por los aportes por escorrentía (Rogora *et al.*, 2008).

En las lagunas de altura de esta región, el deshielo en primavera, la exposición a los vientos, la baja profundidad y el ingreso de nutrientes, que depende de las características del suelo y de la vegetación presente en las áreas de drenaje, son algunos de los principales factores responsables de los cambios en las características físico-químicas y el nivel de agua (Rogora *et al.*, 2008; Bastidas Navarro *et al.*, 2014; García *et al.*, 2015; Queimaliños & Díaz, 2014; Montes de Oca *et al.*, 2017).

METODOLOGÍA:

Selección de los sitios de estudio

En busca de evidenciar el contraste climático regional a un lado y otro de la Diagonal Árida (DA) propuesto para la última parte del Holoceno, se analizaron: 1 testigo sedimentario de una laguna del suroeste bonaerense y dos testigos sedimentarios de dos lagunas del Noroeste de Patagonia.

La presente tesis ha sido abordada a través de un enfoque multidisciplinario, donde se integran diversos enfoques paleolimnológicos que contribuyeron a la reconstrucción de la historia ambiental de cada laguna.

La laguna “La Barrancosa” se estudió conjuntamente con investigadores del Laboratorio de Sondeos de Ambientes Continentales y Marinos (SACMa) del Instituto de estudios Andinos "Don Pablo Groeber" FCEyN-Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires, Argentina, en marco del proyecto “Cambios ambientales en la región pampeana y el mar adyacente durante el Cuaternario y aspectos climáticos relacionados” IR C. Laprida y con investigadores del Istituto per lo Studio degli Ecosistema(ISE)- Consiglio Nazionale delle Ricerche-Pallanza Italia, en el marco del Proyecto de cooperación MYNCYT (Ministerio de Ciencia y Tecnología, Argentina)/MAE (Ministero di Affari Esteri) 2012-2014 “Impacto de la actividad humana y de los cambios climáticos a partir del estudio de lagos del Parque Nacional Nahuel Huapi, Patagonia Argentina” IR J Massaferró. Esto permitió disponer de abundante información acerca de la geoquímica, descripción sedimentaria, susceptibilidad magnética, pigmentos fósiles particulares y registro de ostrácodos en el testigo de la laguna La Barrancosa, para complementar y comparar con los análisis de quironómidos subfósiles que se muestran en esta Tesis. La información de los registros de pigmentos fósiles particulares, C, N, S y ostrácodos fueron proporcionados por la Dra. Sofía Plastani, en marco del desarrollo de su Tesis Doctoral, que también incluyó el estudio de esta laguna. Este trabajo multidisciplinario se plasmó en la publicación: Plastani, M S; Montes de Oca, F;

Lami, A; Massaferro, J; Laprida, C *Environmental change and human impact during the 20th century in a shallow pampean lake inferred through multiproxy analysis* (en prensa).

Mientras que, el estudio de las lagunas ubicadas en el Noroeste de Patagonia, se enmarcó dentro del proyecto de investigación, “Cambio ambiental e impacto antrópico en lagos de altura del Parque Nacional Nahuel Huapi”, Programa de Estudios Aplicados a la Conservación del Parque Nacional Nahuel Huapi (CENAC) –CONICET, Parque Nacional Nahuel Huapi (PNNH), Patagonia Argentina, 2012-2014 IR J. Massaferro. Contando en estas lagunas con información geoquímica, parámetros físicos y pigmentos fósiles para complementar y comparar con los análisis de quironómidos subfósiles que se muestran en esta Tesis y que ha permitido la elaboración conjunta de las siguientes publicaciones: Montes de Oca, F; Motta, L.; Plastani, M.S; Laprida, C; Massaferro, J. (2017) *Reconstructing recent environmental changes using non-biting midges (Diptera: Chironomidae) in two high mountain lakes from northern Patagonia, Argentina.*, Journal of Paleolimnology DOI: 10.1007/s10933-017-9957-z; y Massaferro, J., Correa-Metrio, A., Montes de Oca, F. M., & Mauad, M (2016) *Contrasting responses of lake ecosystems to environmental disturbance: a paleoecological perspective from northern Patagonia (Argentina).* Hydrobiologia DOI: 10.1007/s10750-016-3081-3

Extracción de los testigos sedimentarios

En cada laguna, la extracción de los testigos sedimentarios fue realizada en la parte central más profunda de cada cubeta. En ambientes lacustres pequeños y poco profundos como los seleccionados en esta investigación, el centro del mismo suele coincidir con la zona más profunda, y es el sitio óptimo para el muestreo ya que permite obtener un perfil sedimentario completo y no disturbado (Smol, 2010). La zona más profunda de cada lago se localizó mediante una ecosonda portátil marca Hondex modelo PS-7, navegando en bote neumático y en línea paralela a la costa.

Los testigos sedimentarios, tanto en Pampa como en Patagonia, fueron extraídos mediante un muestreador activado por gravedad (Hammer Gravity Corer, por su denominación en inglés) (Fig. 12). El muestreador fue colocado en el agua y desplazado a profundidad lentamente, empleando el peso del mismo como fuerza impulsora de descenso.

Cuando el muestreador estuvo posicionado en el fondo de la cubeta, se envió un peso (Hammer) el cual fue manipulado desde la superficie y a modo de martillo, para lograr una mayor penetración del muestreador en el sedimento (Fig. 13). La columna de sedimento contenida en el muestreador fue llevada a superficie, cubriendo inmediatamente la columna, con bolsas negras plásticas, para evitar la fotodegradación de los pigmentos contenidos en el sedimento y así garantizar su utilización en los futuros análisis. Por otro lado, en esta instancia se tomaron *in situ* parámetros fisicoquímicos del agua, empleando un Multiparamétrico Portable Luton modelo WA-2017SD. Luego de la extracción y preparación, el testigo del lago del suroeste bonaerense denominado TLB, fue trasladado hasta el laboratorio SACMa, donde fue preservado en una cámara fría a 4°C, en oscuridad hasta su submuestreo. En el caso de los testigos sedimentarios extraídos de los lagos del noroeste Patagónico denominados TLV y TLTK (lagunas Verde y Toncek, respectivamente) fueron submuestreados *in situ* y luego trasladados hasta las instalaciones del CENAC, donde las submuestras fueron preservadas hasta su posterior preparación.



Figura 12. Muestreador activado por gravedad



Figura 13. Extracción de la columna de sedimento de una laguna.

Descripción de los perfiles sedimentarios y submuestreo

La descripción de los perfiles sedimentarios, consiste en una caracterización lo más detallada posible de la textura y composición de los sedimentos, que junto con otros parámetros físicos y químicos permiten conocer la dinámica del ambiente (Last & Smol, 2006).

En el caso del testigo sedimentario de la laguna del suroeste bonaerense TLB, para efectuar la descripción del perfil sedimentario se procedió al corte longitudinal de la columna de sedimento, para obtener una mejor visión de los cambios texturales del sedimento, observando en detalle las columnas seccionadas. La descripción consistió en la medición del largo de cada columna, toma de fotografías e identificación macroscópica de las variaciones a lo largo del testigo en cuanto a color y textura del sedimento, para ello se empleó una tabla de colores Munsell (Munsell color, 2000). Para los testigos sedimentarios de las lagunas del

noroeste de Patagonia TLV y TLTK, los cuales fueron descriptos *in situ*, se realizó una descripción general de cada perfil sedimentario (largo total, aspecto general del sedimento).

Por otro lado sobre el testigo sedimentario TLB, se llevó a cabo un análisis de susceptibilidad magnética sobre cada columna del testigo, empleando un sensor Bartington MS2F con una resolución de 1 cm (Bartington, 1994). Este análisis que determina el grado de magnetización de los minerales que forman parte de los sedimentos, permite inferir la intensidad de la erosión que registra el ambiente (Last & Smol, 2006). El análisis fue realizado en Instituto de Geociencias Básicas, Aplicadas y Ambientales de Buenos Aires (IGEBA) Universidad de Buenos Aires, por el equipo dirigido por la Dra. Claudia Gogorza (Achaga *et al.*, 2013).

Luego de la descripción sedimentológica, se procedió al submuestreo. En el caso del testigo sedimentario TLB, el submuestreo fue realizado en el laboratorio SACMa y consistió en submuestrear cada semicolumna sedimentaria en forma transversal, cada un centímetro de espesor. Mientras que para los testigos sedimentarios TLV y TLTK, el submuestreo fue realizado en el campo y consistió en seccionar transversalmente la columna de sedimento cada un centímetro de espesor. Durante el submuestreo del testigo sedimentario TLV se registraron horizontes de tefra, en el nivel 8 cm y entre los niveles 32-34 cm. Mientras que en testigo sedimentario TLTK se registraron horizontes de tefra en los niveles 4-5 cm, 7-8 cm y 10 cm. Estos horizontes de tefra se identificaron por una mayor granulometría y coloración más oscura y grisácea.

Todas las submuestras fueron colocadas en recipientes plásticos; luego pesadas (peso Húmedo), llevadas a estufa de secado a 20°C por 24 hs, para la eliminación del contenido de agua y luego pesadas nuevamente (peso seco).

Dataciones

Entre las técnicas radiométricas más utilizadas para el fechado de los sedimentos lacustres, se encuentra la técnica radiocarbónica (^{14}C) que permite estimar la edad de los sedimentos hasta los 60000 años excepcionalmente (Björck & Wohlfarth, 2002) y la técnica que emplea el

radioisótopo natural ^{210}Pb , para los sedimentos depositados recientemente (Appleby & Oldfield, 1978).

La corta vida media del radioisótopo ^{210}Pb , permite su uso como indicador cronológico para los últimos 100-150 años (Appleby & Oldfield, 1978; Muslow *et al.*, 2009). Existen dos componentes del ^{210}Pb , ^{210}Pb “no soportado” o atmosférico que se forma en la atmósfera debido a la desintegración del ^{222}Rn , y el ^{210}Pb “soportado” o propio, producto del decaimiento *in situ* del isótopo padre ^{226}Ra en las partículas de roca de la cuenca (Crickmore *et al.*, 1990). El método ^{210}Pb , se basa en la determinación de la actividad del “ ^{210}Pb no soportado” presente en los sedimentos. La incorporación del ^{210}Pb no soportado al sedimento provoca un exceso de este componente en relación a los valores constantes del ^{210}Pb soportado. Estos valores excedentes del ^{210}Pb no soportado se hallan comúnmente en una relación decrecientes con la profundidad. Así, en condiciones donde la precipitación de ^{210}Pb no soportado y la tasa de sedimentación son constantes, y de acuerdo a su tasa de desintegración, el decrecimiento de la actividad del ^{210}Pb no soportado estaría determinado, sólo por la edad del depósito (Appleby, 2001).

Datación del testigo sedimentario de la laguna pampeana del suroeste bonaerense, La Barrancosa

El fechado de los primeros 26 cm del testigo TLB, se basó en el método ^{210}Pb y fue realizado en los laboratorios de *MyCore Scientific Inc.* (Ontario, Canadá). Las concentraciones del componente ^{210}Pb no soportado (^{210}Pb unsupported) fue interpretada usando el modelo de tasa de acumulación constante (modelo CRS, por sus siglas en inglés), este modelo asume que la actividad del ^{210}Pb no soportado, es constante con el tiempo, al igual que la tasa de sedimentación (Appleby, 2001). La Tasa de Acumulación Sedimentaria (TAS) fue calculada como un promedio para cada 1 cm del testigo y expresada como $\text{g/m}^2/\text{año}$ la precisión de la estimación fue expresada como porcentaje del coeficiente de la varianza. Adicionalmente, el análisis del radioisótopo de ^{137}Cs , fue utilizado como un marcador temporal para corroborar la precisión del modelo cronológico (Appleby, 2001). Para la cronología de los sedimentos, se consideraron las edades arrojadas por el método ^{210}Pb y el modelo *constant rate supply*, ordenando las mismas estratigráficamente y en los niveles donde la concentración de ^{210}Pb no soportado no pudo ser medida, la edad fue estimada por extrapolación lineal.

Por debajo de los 26 cm, donde la concentración del radioisótopo ^{210}Pb fue demasiado baja para ser registrada, se empleó la datación radiocarbónica ^{14}C . Se midió la concentración ^{14}C en 3 niveles de TLB: 74-75 cm, 52 cm y 33-32 cm. La primera datación fue realizada en la Universidad de Arizona (Arizona, Estados Unidos) y las otras en *Beta Analytic Inc.* (Miami, Estados Unidos). Se efectuó una interpolación lineal entre los niveles datados para estimar fechas en los sedimentos intermedios. El valor de la datación en el nivel 52 cm, no fue considerado en esta interpolación, debido al valor de edad invertida que indicó y su posible efecto “reservorio” (más detalles en Plastani, 2016).

Las edades de los sedimentos fueron expresadas en años *Anno Domini*-AD e indicada según la cronología dada y como tope en cada nivel.

Datación de los testigos sedimentarios de las lagunas del noroeste de Patagonia, Lagunas Verde y Toncek

El fechado de los sedimentos de la laguna Verde (9-0 cm) y de la laguna Toncek (10-0) fue realizado en ambos casos, en los laboratorios del instituto de *Climate Change, Environmental Sciences Center* (University of Maine, Estados Unidos) y en base al método ^{210}Pb . El fechado de los sedimentos se basó en la combinación de los modelos: de tasa de acumulación constante (*Constant Rate of Supply* – CRS, por sus siglas en inglés) y concentración inicial constante (*Constant Initial Concentration* CIC, por sus siglas en inglés; que supone una concentración inicial del ^{210}Pb no soportado constante y una tasa de sedimentación variable) (Appleby & Oldfield, 1978, Robbins, 1978). La combinación de los dos modelos proporciona una base fiable para la interpretación de perfiles de ^{210}Pb en lagos donde la contribución de la cuenca de ^{210}Pb es pequeña y los hiatos de depositación están ausentes. La tasa de acumulación sedimentaria (TAS) fue calculada como un promedio para cada 1 cm de los testigos y expresada como $\text{g/m}^2/\text{años}$ la precisión de la estimación fue expresada como porcentaje del coeficiente de la varianza. La edad calculada para los centímetros analizados fue expresada en años *Anno Domini*-AD según la cronología obtenida e indicada para el tope de cada nivel. Debajo de los niveles (9 cm, TLV y 10 cm, TLTK), donde la concentración del radioisótopo ^{210}Pb fue demasiado baja para ser registrada, se empleó el modelo bayesiano de edad-profundidad BACON, (Bacon age depth model, por su nombre en inglés) (Blaauw & Christen 2011) que utiliza una interpolación de edades entre horizontes fechados y estima las

tasas de acumulación sedimentaria a lo largo de la columna de sedimento, permitiendo una extrapolación de edades hasta los niveles basales.

Varios ambientes del Parque Nacional Nahuel Huapi cuentan con detallada información tefrocronológica e información histórica del frecuente impacto de caída de cenizas (tefra) producto de eventos volcánicos, ocurridos en los últimos centenares de años, en la zona aledaña chilena. Principalmente, sobre las tefras provenientes del complejo volcánico Cordón Caulle Puyehue (40°59' S–72° 11' O) y volcán Calbuco (41° 20' S–72° 37'O) y de los eventos eruptivos de los años 1960-1961 (Daga *et al.*, 2006, 2010, 2014; Rizzo, 2007; Bertrand *et al.*, 2008, 2014; Ribeiro Guevara *et al.*, 2010; Williams 2012; Fontijn *et al.*, 2014; Serra *et al.*, 2016; Williams *et al.*, 2016). Esta información permitió que las capas de tefras más recientes (TLV, nivel 8 cm y TLTK, nivel 4-5) fueron empleadas como información adicional para corroborar las fechas asignadas en el modelo de edad-profundidad BACON (Montes de Oca *et al.*, 2017).

Análisis sedimentarios

Indicadores geoquímicos

Materia orgánica y nutrientes:

En cada testigo sedimentario, se determinó el contenido de Materia Orgánica (MO). El análisis de este componente biogénico contribuye a reconstruir el estado trófico o productividad pasada del ambiente acuático (Dean, 1974; Heiri *et al.*, 2001). El contenido de materia orgánica se estimó en cada centímetro submuestreado, a partir de la pérdida de masa por combustión *loss on ignition* (LOI). Para lo cual, se tomaron muestras secas de 0,5-1 g, que fueron colocadas en cápsulas de níquel, registrando el peso inicial (PS Inicial), y calentadas a temperaturas máximas de 550°C en Mufla u Horno de secado, durante 4 horas. La materia orgánica es reducida a ceniza y dióxido de carbono (CO₂), por lo que la pérdida de masa debería ser proporcional a la cantidad de carbono orgánico contenido en la muestra. Luego de la combustión, se registró el peso (PS Combustión) para calcular LOI 550 como un porcentaje de la pérdida de masa por ignición a 550°C, a partir de la siguiente ecuación: $LOI\ 550 = (PS\ Inicial - PS\ Combustión) * 100$ (Heiri *et al.*, 2001).

Sobre el testigo sedimentario TLB, se efectuaron también mediciones del contenido de: azufre total (S), nitrógeno total (N) y carbono total (C), empleando un analizador *Carbon Nitrogen Sulphur elemental analyzer* (NA 1500 Fisons). Las mediciones fueron realizadas en el Istituto per lo Studio degli Ecosistemi (Pallanza, Italia), por la Dra. Sofía Plastani (para más detalle consultar Plastani, 2016).

Pigmentos fósiles

La determinación del contenido de pigmentos fotosintéticos (clorofila, carotenoides y sus derivados) en los sedimentos lacustre permite, estimar la producción primaria del ambiente y en ocasiones inferir sobre la composición de las comunidades de algas o bacterias fotosintéticas (Lami *et al.*, 2000; Leavitt & Hodgson, 2001, Guilizzoni & Lami, 2001). El análisis del contenido de pigmentos fósiles en los testigos sedimentarios, TLB, TLV y TLTK, fue realizado en el instituto Istituto per lo studio degli Ecosistemi (ISE)/CNR (Pallanza, Italia), por la Dra. Sofía Plastani. Para la extracción de los pigmentos fósiles de los sedimentos de cada testigo, se empleó 1 g de material húmedo de cada submuestra, siguiendo la metodología descrita por Lami *et al.*, (2000) y empleando espectrofotómetro (UV/VIS spectrophotometer Perkin-Elmer Lambda 6) para cuantificar el total de pigmentos (derivados de clorofila y carotenoides totales). La concentración de clorofila y sus derivados (CD) fueron expresadas en unidades por gramo de materia orgánica (U/g MO) y las concentraciones de carotenoides totales (TC) fueron expresadas en miligramos por gramo de materia orgánica (mg/g MO) (Lami *et al.*, 2000). Por otro lado, para discriminar el origen (alóctono vs. autóctono) de la materia orgánica contenida en los sedimentos, se calculó el índice CD/TC (Meyers & Lallier-Vargés 1999).

Ostrácodos:

El registro de ostrácodos fue estudiado únicamente en el testigo sedimentario TLB, siguiendo las técnicas estándares para la preparación e identificación de los individuos de este grupo (para mas detalle consultar, Plastani, 2016).

Quironómidos

Para la extracción de las cápsulas cefálicas de quironómidos (CCQ), el sedimento (2-5 gr seco) fue defloculado, agregando alrededor de 25 ml de solución de KOH al 5% y calentado suavemente sobre placa caliente (a 70-80 °C), para eliminar restos de materia orgánica (Walker, 2001). El sedimento defloculado fue lavado con agua destilada sobre un tamiz de 95 micras, para eliminar arcillas y otros componentes finos. El filtrado remanente fue conservado en recipiente con agua destilada hasta su posterior montaje. Para la extracción de CCQ del sedimento tratado, se tomaron con una pipeta, pequeñas alícuotas del concentrado acuoso. Cada alícuota fue colocada en placa de conteo Bogorov (placa de acrílico con surcos y ranuras) y examinada bajo lupa estereoscópica (Walker, 2001). Empleando pinzas entomológicas se extrajeron las CCQ, que fueron luego depositadas en recipientes del tipo ependorff hasta su posterior montaje. Para el montaje, se empleo solución Hidromatrix ®,

Análisis estadístico

La abundancia de los quironómidos fue expresada como el porcentaje de la abundancia relativa de CCQ presentes en cada centímetro, a lo largo de cada secuencia analizada. El ensamble de quironómidos de cada ambiente fue representado en un diagrama estratigráfico, usando el programa C2 (Juggins, 2003). Las abundancias de los taxones de quironómidos fueron transformados a raíz cuadrada, las especies con abundancias menores al 5% excluidas de los análisis y los taxones raros o poco frecuentes se les resto peso (“down-weighted”). Mientras que los valores de los indicadores geoquímicos (variables ambientales) fueron transformados logarítmicamente (log10) (Juggins & Birks, 2012).

Para determinar la bioestratigrafía de los ensambles de quironómidos en cada secuencia sedimentaria, empleando el paquete Rioja en el programa R studio (Juggins, 2009), se efectuó un análisis cluster jerárquico aglomerativo, que permite agrupar taxones homogéneamente parecidos en grupos/cluster, en base a una matriz de disimilitud o distancia (Euclidean) (Juggins & Birks, 2012) y el método de ligamiento de Ward (1963) que define los clusters de forma tal que la suma de las varianzas dentro del agrupamiento sea la mínima posible. Como criterio de corte para la definición de los grupos se consideraron tanto la bisectriz de la mayor distancia entre nodos como el 50 % de la suma de cuadrados totales. Su significancia fue evaluada bajo el modelo Broken Stick (Bennett, 1996), donde el número de cluster es el valor N grupos que representa una proporción de la variación mayor que la encontrada por agrupamiento al azar.

Adicionalmente, se realizaron análisis exploratorios de ordenación indirecta y directa empleando el paquete Vegan en el programa R studio (Oksanen *et al.*, 2007), para examinar cambios en las asociaciones y distribución de los taxones a lo largo de cada secuencia sedimentaria; así como posibles relaciones con una o varias variables ambientales (ter Braak & Šmilauer, 2015). En primer lugar sobre los datos de abundancia de quironómidos, se efectuó un análisis de Correspondencia sin tendencia (DCA, por sus siglas en inglés). Este primer análisis de ordenación permiten definir si el tipo de respuesta de los ensambles de quironómidos frente a la variabilidad ambiental es lineal o unimodal (Juggins & Birks, 2012; ter Braak & Šmilauer, 2015). En los casos donde el largo del gradiente es < 2 , se considera un tipo de distribución lineal y cuando el gradiente es > 2 el tipo de distribución es unimodal. Las unidades de gradiente son DS, Desvio Standard, por lo tanto el DCA nos da información del recambio de especies a lo largo del tiempo. Por otro lado, sobre las variables ambientales (CD, TC, OM, etc) se realizó un análisis de Componentes Principales (PCA, por sus siglas en inglés) exploratorio; este análisis ayuda a reducir la dimensionalidad de los datos; y permite con ayuda de los gráficos de ordenación, según el largo de los vectores de las variables ambientales representadas, definir el conjunto de variables ambientales que podrían ser utilizadas en los análisis directos o lineales (ter Braak & Šmilauer, 2015). Adicionalmente, en cada secuencia sedimentaria y para poder examinar cambios temporales tanto en el registro de quironómidos como en indicadores geoquímicos, se construyeron perfiles estratigráficos de las puntuaciones factoriales de cada submuestra o “samples scores”, obtenidos en un análisis de componente principales (PCA, por sus siglas en inglés) y de los primeros ejes de ordenación (PCA1 y PCA2) (Birks, 1974).

Luego de los análisis exploratorios y cuando se encontraron valores de gradiente mayores a 2 se efectuó un Análisis de Correspondencia Canónico (CCA, por sus siglas en inglés) que supone una relación unimodal entre especies/taxones y variables ambientales (ter Braak & Šmilauer, 2015). Mientras que, en los casos donde el largo del gradiente fue < 2 unidades DS, se efectuó un análisis de Redundancia (RDA, por sus siglas en inglés), que infiere una relación lineal entre el conjunto de especies/taxones y las variables ambientales (ter Braak & Šmilauer, 2015). El estadístico Factor de inflación de la Varianza (VIF, por sus siglas en inglés) ayudo a diagnosticar la presencia de colinealidad entre las variables ambientales; y un análisis de varianza (ANOVA) la significancia de las relaciones (unimodal o lineal). Los resultados de los análisis de ordenamiento fueron evaluados por medio de

“eigenvalues” (o valores propios) y porcentajes de variación explicada por los dos primeros ejes de ordenación, que reflejan la mayor variabilidad de los datos (Juggings & Birks, 2012).

RESULTADOS

Laguna La Barrancosa, TLB

Introducción:

Los ambientes someros de la región pampeana constituyen rasgos del paisaje natural de esta llanura. Sus registros geológicos, geomorfológicos y biológicos detallan los escenarios ambientales a los cuales estuvieron expuestos durante su evolución (Dangavs 2005, Diovisalvi *et al.*, 2015; Stutz *et al.*, 2016). Estos ambientes han sido explorados en los últimos años, enfatizando el potencial de estos “archivos ambientales” en las reconstrucciones paleoclimáticas y como registro de la variabilidad hidrológica, ocurrida durante gran parte del Holoceno (Stutz *et al.*, 2002, 2010, 2012, 2014; Fontana 2005; Mancini *et al.*, 2005; Quattrocchio *et al.*, 2008; García Rodríguez *et al.*, 2009, Laprida *et al.*, 2009, 2014; Hassan *et al.*, 2012; Piovano *et al.*, 2014); así como en el registro del impacto antrópico reciente (Quirós *et al.*, 2006, Sosnovsky & Quirós, 2006; Echaniz *et al.*, 2010; Kopprío *et al.*, 2014).

La variabilidad climática del último milenio (Bradley *et al.*, 2003; Abram *et al.*, 2014) también fue registrada en diferentes áreas de llanura pampeana. Algunos registros sedimentológicos asocian el transcurso de la Anomalía Climática Medieval (ACM) a un aumento de las precipitaciones regionales y condiciones dominantes cálidas entre ~800-1200 AD (Piovano *et al.*, 2009; Laprida *et al.*, 2014; Guerra *et al.*, 2015); Mientras que, un déficit hídrico durante ~1550-1850 AD se asocia al período climático frío, conocido mundialmente como la Pequeña Edad de Hielo (PEH) (Rabassa *et al.*, 1985; Cioccale, 1999; Piovano *et al.*, 2002, 2006, 2009; Laprida y Valero Garcés, 2009, Laprida *et al.*, 2009; Córdoba *et al.*, 2014; Stutz *et al.*, 2014). Este último período frío habría culminado en la región pampeana alrededor del 1930-1939, en un máximo climático “seco” denominado “*Dust Bowl Pampean*” (Viglizzo & Frank 2006; Tripaldi *et al.*, 2013; Córdoba *et al.*, 2014) por su coetáneo americano “*American Dust Bowl*”. En el último siglo y sumado a los registros instrumentales de las últimas décadas, se indica una tendencia positiva en las precipitaciones regionales y un mejoramiento climático general (aumento de la temperatura media anual) (Barros *et al.*, 2000;

Barrancaud *et al.*, 2007; Agosta & Campanucci, 2008; Podesta *et al.*, 2009); con un último evento de aumento extraordinario en las precipitaciones regionales, durante 1970-1980 y que fue denominado *Hydroclimatic Jump* (Piovano *et al.*, 2009).

Las lagunas del suroeste bonaerense se consideran humedales de importancia vital tanto para el ecosistema como para el hombre (Grosman *et al.*, 1996; Bohn *et al.*, 2012). Los servicios ecosistémicos que ofrecen están basados principalmente en la capacidad de mitigar los efectos del cambio climático (regulación del régimen hídrico) y en la importante diversidad biológica que sustentan (Scheffer, 2004; Jeppesen *et al.*, 2007; Romanelli *et al.*, 2010). En algunas ocasiones, debido a las actividades pecuarias y turísticas que en ellas se desarrollan, son la principal fuente de sustento de muchas localidades bonaerenses (Grosman *et al.*, 1996; Diovisalvi *et al.*, 2015). Por otro lado, estas lagunas se ubican en un área de gran importancia económica y demográfica, donde se desarrolla gran parte de la producción de cereales y cría de ganado de nuestro país, actividades que dependen estrechamente del clima (Viglizzo & Jobbágy, 2010).

La expansión de la frontera Agropecuaria (Viglizzo & Jobbágy 2010), la tecnificación y el aumento de desechos de diferente origen sumado al cambio climático de los últimos centenares de años, ubican a las lagunas pampeanas en general, en una situación de vulnerabilidad (Viglizzo *et al.*, 2011; Quirós *et al.*, 2006) evidenciando un aumento en el nivel trófico natural que estos ambientes someros presentan (Quirós & Drago, 1999; Quirós *et al.*, 2002, 2006; Sosnovsky & Quirós 2006; Echaniz & Vignatti 2013)

Para llevar a cabo la reconstrucción paleoambiental de la laguna La Barrancosa, ubicada al suroeste de la provincia de Buenos Aires, y para observar los cambios tróficos que se registraron en el ambiente, en respuesta a la variabilidad hidrológica, climática y del impacto antrópico en la región; se estudiaron los restos subfósiles de quironómidos conservados en los sedimentos del testigo TLB. El estudio se complementó con información otorgada por otros indicadores (geoquímicos y sedimentológicos) que complementaron la reconstrucción de la dinámica ambiental y del comportamiento que tuvo este sistema lacustre, en respuesta a los cambios ambientales pasados. Esto último, es de importancia para propiciar el manejo y conservación de las lagunas en el suroeste de la provincia de Buenos Aires, no sólo importantes desde su aspecto ecológico sino también como recurso acuático, teniendo en cuenta que se ubican en un área donde la presión antrópica es creciente.

Sitio de estudio, laguna La Barrancosa:

La laguna “La Barrancosa” (LB) es un ambiente lacustre somero endorreico (Gómez & Messineo, 2008) que se ubica al suroeste de la provincia de Buenos Aires (37°19'S, 60°06'O) a 40 km del municipio de Benito Juárez (Fig. 4.14). La presencia de barrancas en la costa de la laguna, de una altura aproximada de 3-4 metros, otorga su nombre. La laguna tiene una superficie ~ 2 km². Su máxima profundidad registrada es de aproximadamente 5 metros, aunque el nivel de agua es altamente variable según los períodos de sequía e inundaciones. Entre los años 2004 y 2006, se han registrado variaciones en el nivel de las aguas equivalentes a 40 hectáreas (Grosman & Sanzano, 2008). Las tierras adyacentes a la laguna se encuentran destinadas actualmente al cultivo de cereales y oleaginosas. La actividad agrícola es la principal actividad económica del municipio de Benito Juárez (Sequeira *et al.*, 2016).

De acuerdo al patrón de distribución de precipitaciones que muestra una disminución de las mismas en sentido NE-SO sobre toda la provincia de Buenos Aires, las precipitaciones en el área regularmente no superan los 300 mm/año, con temperaturas media anuales de 15,3 °C (Torremorell *et al.*, 2007).

El estado trófico actual del lago es eutrófico, con aguas alcalinas y oligohalinas (Plastani *et al.*, 2014) y como muchas de los lagos pampeanos, oscila entre estados “claros” y “turbios” (Dukatz *et al.*, 2005). Pal *et al.*, (2008) indican que La Barrancosa antiguamente se utilizaba como balneario e incluso se le asignaba un uso terapéutico debido a su alta salinidad. Actualmente, este ambiente forma parte del circuito de lagunas aptas para la pesca deportiva, cuenta con la presencia de una importante población de pejerrey (*Odontesthes bonariensis*) con individuos que alcanzan tallas atractivas para los amantes de la pesca. Luego de las inundaciones registradas durante la década 1970-1980, este pez tomó importancia relevante, ya que se promovió su siembra en muchas lagunas bonaerenses para su consumo, y para contrarrestar las grandes pérdidas de terrenos para cultivo, a causa de las grandes inundaciones de esa década. Posteriormente y en respuesta a un aumento en la demanda, comúnmente se practicó la siembra de *Odonthestes*, en beneficio de la pesca deportiva y de la actividad turística en el área (Grosman *et al.*, 1996, Grosman, 2001). Se conoce que la presencia de este pez planctívoro modifica la estructura trófica de los ambientes que habita y promueve la eutrofización (Boveri & Quirós, 2003, 2007; Schwerdt y Carzola, 2014).

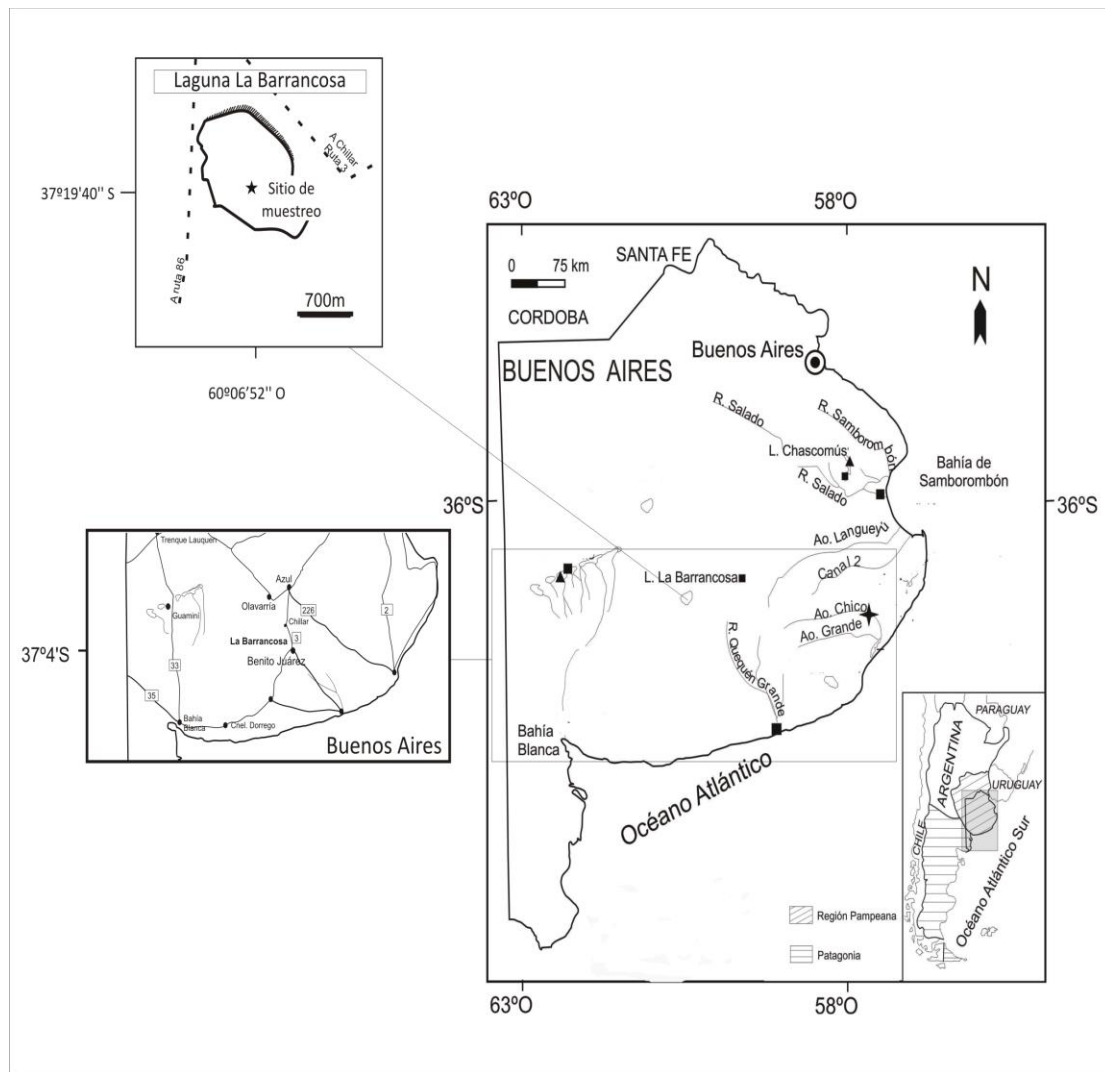


Figura 14. Sitio de estudio pampeano, extraído de Plastani *et al.*, en prensa

Descripción de los resultados del testigo sedimentario TLB

El testigo TLB, además del registro de quironómidos e indicadores geoquímicos contó con el estudios de ostrácodos y pigmentos fotosintéticos fósiles (Plastani, 2016), los cuales posibilitaron la comparación de respuestas entre los distintos indicadores a los cambios ambientales; se integraron los resultados en una reconstrucción “multiproxy” de la historia ambiental de “La Barrancosa”.

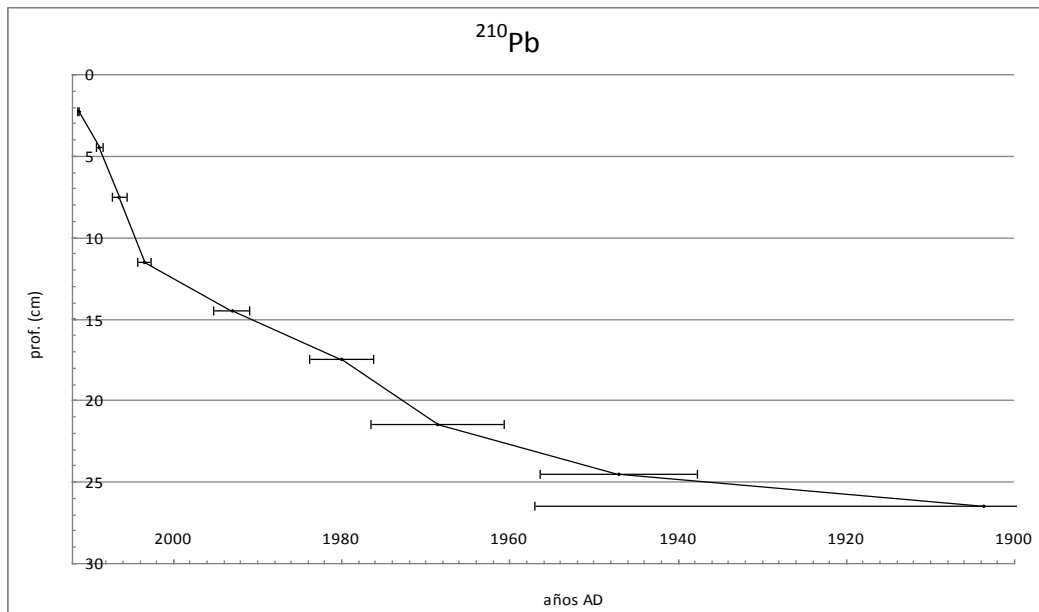
A continuación se describen en primer término, los resultados obtenidos del fechado de los sedimentos efectuados por los métodos de ^{14}C y ^{210}Pb y de los análisis sedimentológicos provistos por el laboratorio SACMa, UBA (Metodología; sección indicadores geoquímicos) continuando luego, con los resultados obtenidos a partir del análisis de los restos subfósiles de quironómidos.

Cronología, TLB

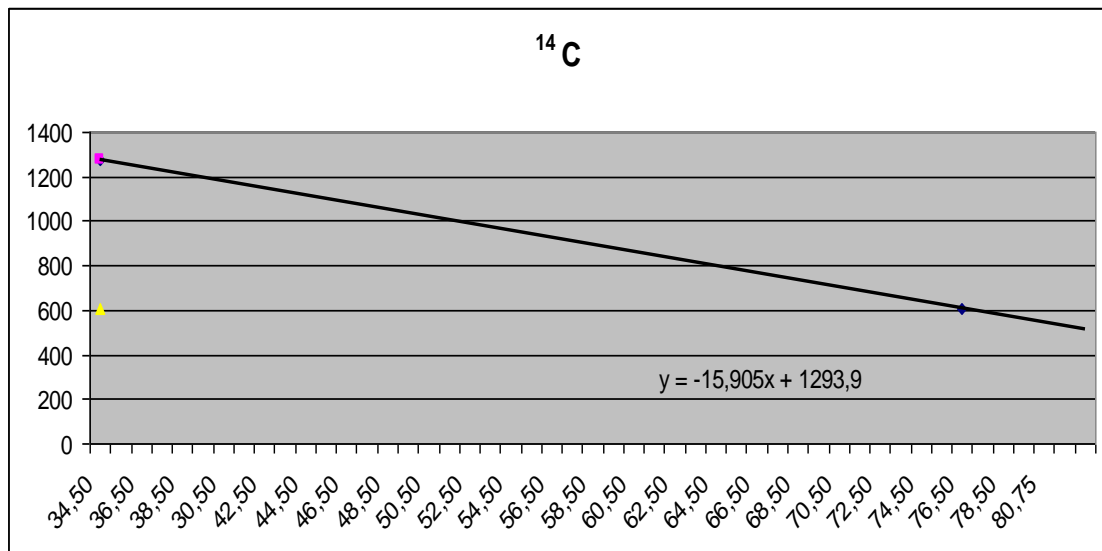
La cronología en la secuencia sedimentaria de TLB fue construida combinando la información arrojada por los métodos de datación ^{14}C y ^{210}Pb . Desde la base del testigo TLB hasta el nivel 25,5 cm, se utilizaron los fechados del ^{14}C y de la interpolación lineal entre los mismos; mientras que por encima de este nivel, se empleó el fechado basado en la medición del ^{210}Pb , ordenando las fechas estratigráficamente y de la extrapolación lineal efectuada en esta parte del testigo TLB. La extrapolación entre ambos tipos de modelos no fue considerada, debido a una discordancia detectada en el nivel 26-25 cm.

Las dataciones efectuadas por el método ^{14}C (Tabla 2) permitieron asignar una edad de ~600 AD a los sedimentos ubicados en la base del testigo TLB. La recta de interpolación lineal, entre las fechas arrojadas por el método ^{14}C ($y = -15,905x + 1293,9$) en los niveles 32 cm y 74 cm, otorgó una edad ~1100 AD, al nivel 48,5 cm del testigo TLB.

Las dataciones basadas en el método ^{210}Pb asignaron edades confiables a los sedimentos más recientes, ubicados por encima del nivel 25,5 cm, cuya edad estimada corresponde a 1947 AD ± 9 años (Plastani *et al.*, en prensa) (Fig 15). La tasa de acumulación sedimentaria (TAS) calculadas y en base a los diferentes métodos de datación indicó un aumento pronunciado hacia los sedimentos más recientes (Tabla 2).



a)



b)

Figura 15. Cronología de los sedimentos de TLB basado en los métodos de datación ^{14}C (a) y ^{210}Pb (b).

Análisis de los sedimentos, materia orgánica (MO), pigmentos fósiles (CD, TC) y ostrácodos, TLB

Basado en la variación de color y textura, se pudieron diferenciar dos tipos de sedimentos por debajo y por encima del nivel 25,5 cm (Fig. 16). Los sedimentos contenidos entre los niveles 81,5 cm y 25,5 cm, fueron caracterizados como arena arcillosa masiva color gris claro (color tabla Munsell: Gley 1 5/N); y por encima del nivel 25,5 cm y hasta el techo del testigo, como limo mayormente marrón con intercalación de capas negras (color tabla Munsell; 5YR 2.5/1) y marrones grisáceas oscuras (color tabla Munsell 10YR 4/2), notoriamente paralelas a partir del nivel 14 cm. Entre los niveles 12-14 cm se observó una lámina de 1 cm de espesor, con restos macroscópicos de plantas.

El contenido de Materia Orgánica (MO) mantuvo valores próximos a 4 % d.w. desde la base (~ 600 AD) y hasta el nivel ~ 50 cm donde registró un leve incremento hacia valores próximos a 5,3 % d.w; disminuyendo luego, hasta el nivel 25,5 cm (~1947 AD) cuando la concentración de MO incrementó notablemente su valor. Se produjo un incremento de un valor de 3,74 % d.w. en el nivel 26,5 cm a 9,64 %d.w. en el nivel 24,5 cm. El perfil del contenido de Carbono (C) mostró similar tendencia, presentó valores próximos a 2,3 % d.w., desde la base hasta ~1947 AD (25,5 cm); luego de esa fecha y hasta el presente el valor promedio de su concentración fue de 2,96 % d.w. Las concentraciones de Nitrógeno (N) y Azufre (S), se mantuvieron en valores cercanos a 0,1 % d.w y 0,04 %d.w. desde la base del testigo hasta el nivel 25,5 cm (1947 AD); y aumentaron a valores promedios de 0,27 % d.w y 0,13 % d.w por encima de ese nivel y hasta el presente. Por otro lado, las concentraciones de CD y TC, fueron bajas (< 6 U/g OM y <0,1 mg/g OM, respectivamente) hasta antes del ~1947 AD (25,5 cm); luego de esta última fecha aumentaron abruptamente, manteniendo hasta el presente valores altos (CD ~18, 1 U/g OM y TC ~1,0 mg/g OM). Se registraron dos picos en las concentraciones de CD y TC: ~1970 AD (21,5 cm) (80,73 U/g OM y 1,98 mg/g OM, respectivamente) y 2008 AD (4,5 cm) (129, 16 U/g OM y 3,73 mg/g OM, respectivamente). El índice C/N varió notablemente antes del ~1947 AD, alcanzó valores importantes en el nivel 63,5 cm (37,6) y 25,5 cm (25,07). Luego de ~1947 AD redujo sus valores a ~11 indicando un cambio en la procedencia de la MO (Meyers & Lallier-Vargès, 1999). El índice CD/TC también varió antes del ~1947 AD, presentó un máximo en el nivel 39,5 cm (~1200 AD?) (206,52) y disminuyó luego, hasta llegar a 22,7 en el nivel 25,5 cm. Posterior a ~1947 AD y

hasta el presente, presentó valores cercanos a 45,9 unidades. Por otro lado el registro de ostrácodos indicó 7 especies, distribuidas a lo largo del testigo TLB; desde la base del testigo hasta el nivel 25,5 cm la abundancia de ostrácodos fue escasa (<60 valvas/gr) mientras que por encima de ese nivel y hasta el techo del testigo fue más abundante, con picos en los niveles 25,5 cm (1947 AD), 17,5 cm (1980 AD) y 8,5 cm (~2005 AD) y 500, ~250 y ~350 valvas/gr respectivamente. *Limnocythere solum?* (Whatley & Cholic) y *Potamocypris villosa* (Jurine) dominaron desde ~600 AD hasta 2000 AD (14,5 cm). *P. villosa* desapareció cerca del nivel 18,5 cm mientras que *L. solum?* cerca del nivel 15,5 cm. Posterior al nivel 14,5 cm (2000 AD) y hasta el presente, dominaron los taxones *Eucypris* sp. y *Limnocythers cusminskyae* (Ramón Mercau et al.) acompañados por *Heterocypris incongruens* (Ramdohr), *Cypridopsis vidua* (Müller) y *Sarscypridopsis aculeata* (Costa) (Plastani, 2016) (Fig.16)

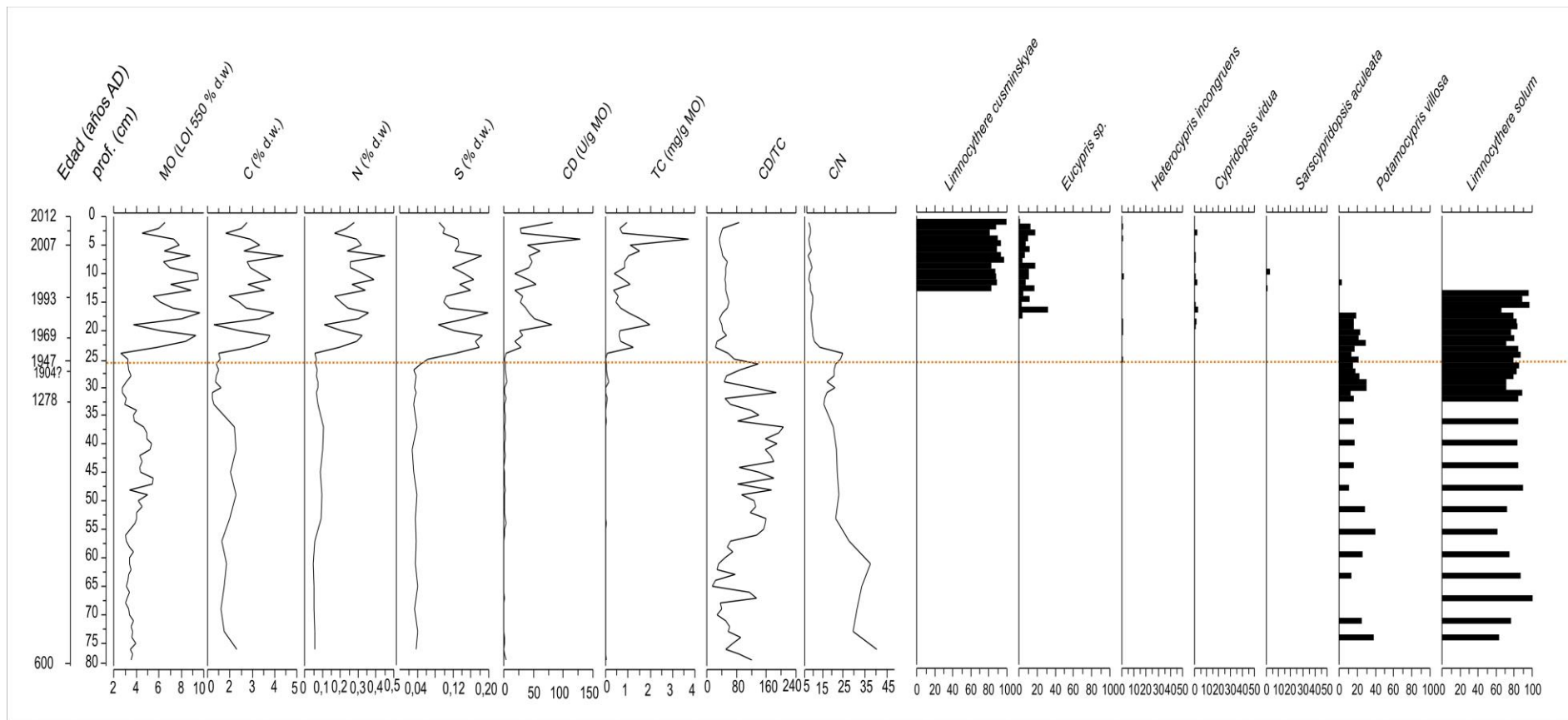


Figura 16. Perfiles estratigráficos de Materia Orgánica (MO), pigmentos fósiles (CD y TC), nitrógeno (N), carbono total (C), Azufre (S), índices C/N y CD/TC y ostrácodos del testigo TLB.

Un total de 13 morfotaxones fueron identificados a partir de 815 cápsulas cefálicas de larvas de quironómidos (CCQ) y entre los niveles 48-49 cm y 0 (~1100 años AD y el presente) (Fig. 17). En el intervalo 49-26 cm el total de CCQ, registró valores bajos (~ 15-25 CCQ). En general, la preservación de las cápsulas cefálicas fue buena, permitiendo utilizar los caracteres diagnósticos de rutina para las identificaciones taxonómicas.

La mayor abundancia de CCQ se encontró entre 1970 AD (21,5 cm) y el presente, con un máximo de 78 CCQ en ~ 1980 AD (17-18 cm). Desde ~1100 AD? y hasta ~1278 AD (48,5-32,5 cm), sólo estuvieron presentes *Coelotanypus*, *Chironomus* sp 1 y *Cricotopus*. *Coelotanypus* fue el morfotaxón dominante del ensamble de quironómidos del testigo TLB. Luego del ~1278 AD (32,5 cm) el número de morfotaxones aumentó levemente así como la abundancia total de CCQ (<15 CCQ). *Dicrotendipes*, *Polypedilum* y *Tanytarsini* 1B se sumaron a la presencia de *Coelotanypus*, mientras que *Procladius* con una abundancia ~20% aparece a partir del nivel 30,5 cm (~1400-1500AD?) seguido por *Goeldichironomus*. A partir del 1947 AD (25,5 cm), la fauna de quironómidos cambió notablemente conformando el ensamble actual. El número de taxones aumentó abruptamente de 8 a 14 a partir del 1970 AD (21,5 cm). Durante los últimos 100 años, *Coelotanypus* continuó siendo el taxón dominante representando alrededor del 40% de la abundancia total, seguido por *Polypedilum* (~ 25%) y en menor proporción por *Chironomus* sp. 1, *Dicrotendipes*, *Goeldichironomus* y *Parachironomus*. *Procladius* estuvo presente pero siempre en muy baja abundancia. A partir del 2000 AD (nivel 13,5 cm), *Paratanytarsini* *Tanytarsini* 1B y 1A estuvieron presentes con valores próximos al 10 % de abundancia total, mientras que *Eukiefferiella* se presentó de forma discontinua en los últimos ~ 40 años con un marcado incremento en el 2005 AD (~85 cm), 2008 AD (~4,5 cm) y 2011 AD (~2,5 cm). *Smittia* y *Cricotopus* se presentaron también de forma intermitente pero desaparecieron luego del ~2002 AD (12,5 cm). A partir del 2000 AD y hasta la actualidad, el número de CCQ se redujo manteniéndose alrededor de 35 CCQ, con un pico alrededor del 2011 AD (2,5 cm) (51 CCQ). La presencia de *Paratanytarsus* se redujo notablemente en los últimos ~10 años (5 cm del testigo TLB), al igual que los siguientes taxones *Tanytarsini* 1A, *Dicrotendipes*, *Parachironomus*, y *Tanytarsini* 1B. Contrariamente *Chironomus* sp. 1, *Procladius* y *Goeldichironomus* aumentaron relativamente su presencia, a partir del nivel 2007 AD (~6,5 cm)

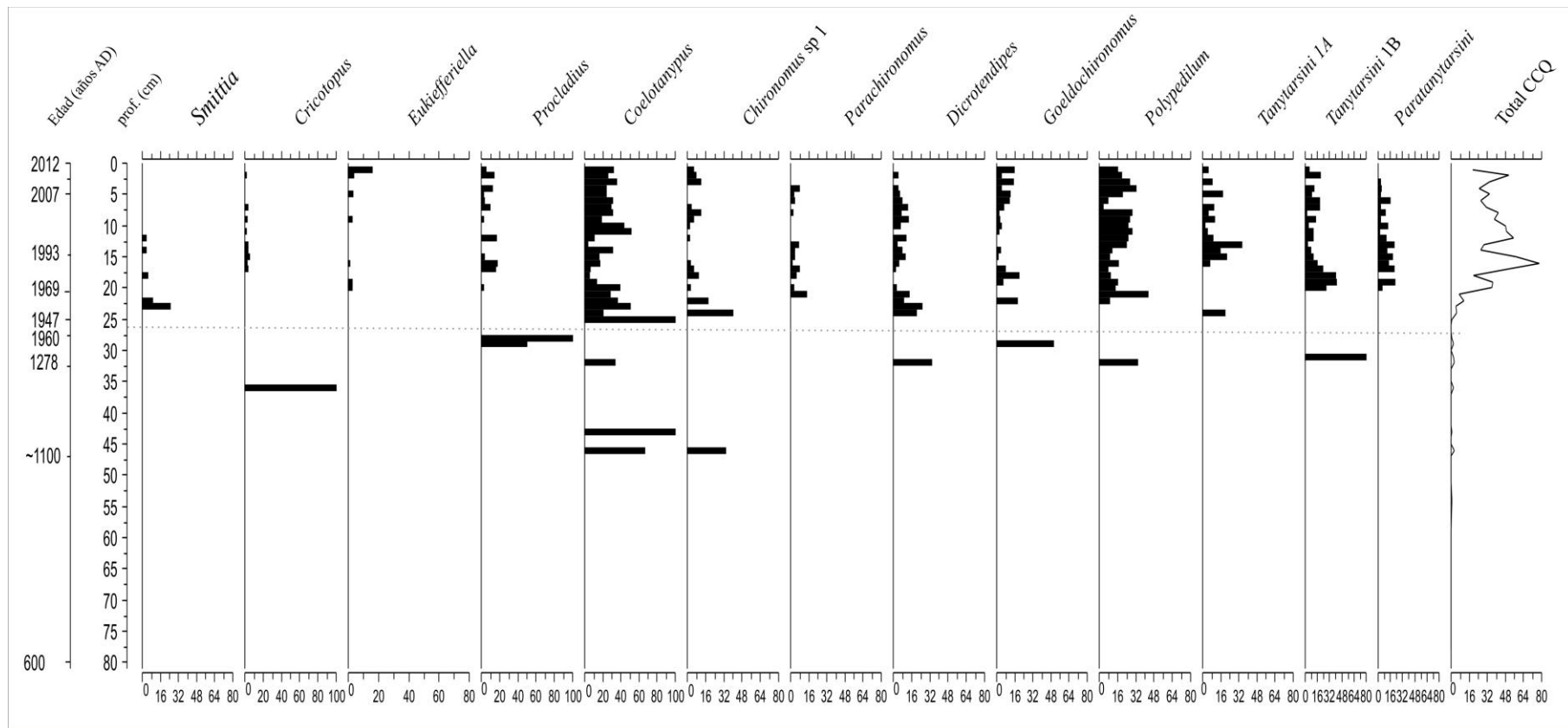


Figura 17. Diagrama estratigráfico del ensamble de quironómidos subfósiles presentes en el testigo TLB

Análisis estadísticos, TLB

El análisis cluster jerárquico aglomerativo sumado a un análisis de significancia basado en modelo Broken Stick (BS) indicó 3 agrupamientos significativos en la distribución estratigráfica del ensamble de quironómidos subfósiles del testigo sedimentario TLB (Fig. 18).

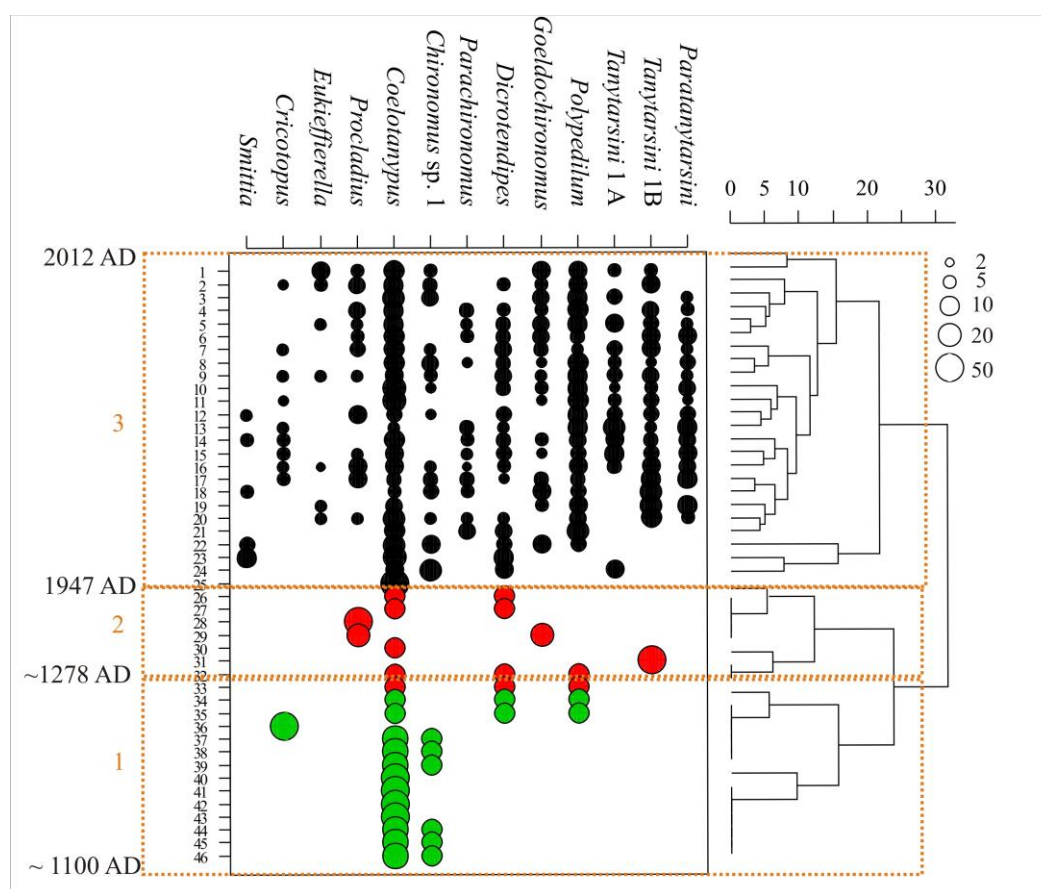


Figura 18, Dendrograma del análisis de agrupamiento (cluster), TLB. Los círculos en distintos tamaño corresponden a las abundancias relativas de cada taxón en cada nivel y los colores, las “posibles” agrupaciones. Las agrupaciones significativas fueron indicadas con un rectángulo. Indicando además las fechas de los límites de cada agrupación.

Por otro lado, el análisis exploratorio de Correspondencia sin tendencia (DCA) efectuado para el registro de quironómidos obtuvo un gradiente >2 unidades de DS, indicando la unimodalidad de la distribución del ensambles de quironómidos subfósiles del testigo TLB y recomendando el uso de análisis multivariado directo (CCA). Un previo análisis exploratorio (PCA) sobre las variables ambientales (CD, TC, MO, N, C, S) permitió eliminar *a priori* las variables con alto coeficiente de correlación, importante en la elección del conjunto de variables ambientales que luego fueron incluidas en los análisis directos.

El análisis de Correspondencia Canónica (CCA) con las variables ambientales previamente seleccionadas, indicó que un 4 % (Tabla 3) de la variabilidad en la composición del ensamble de quironómidos subfósiles de TLB, se asoció a los indicadores geoquímicos analizados; el primer eje de canónico CCA1, explicó el 2,9 % de la variabilidad observada y estuvo correlacionado con las variables que indican aporte de materia orgánica al sistema lacustre (CD/TC y C/N) (Fig. 19).

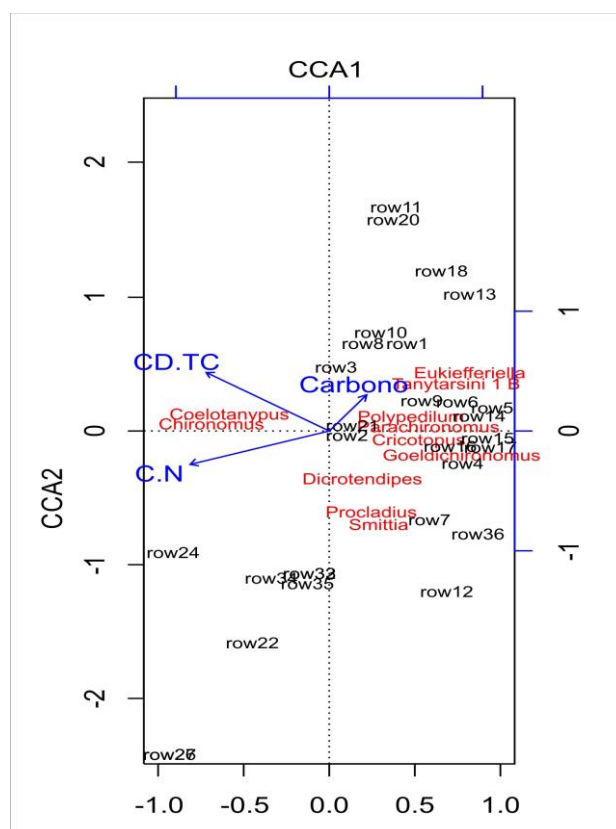


Figura 19. Análisis de correspondencia Canónica, TLB. En rojo se indican los taxones de quironómidos subfósiles del testigo TLB, en negro los diferentes niveles o centímetros del testigo (por ej: row 22) y en azul las variables geoquímicas asociadas a la composición del ensamble de quironómidos subfósiles.

Paralelamente, se compararon las tendencias de los perfiles “sample scores” PCA ejes 1 y 2, entre quironómidos e indicadores geoquímicos a lo largo del testigo TLB (Fig. 20). En ambos perfiles, se observan grandes variaciones en la composición de los indicadores alrededor del 1970 AD. A partir de esta fecha, el perfil PCA eje 1 “scores” para quironómidos indicó un cambio en la puntuación de los taxones hacia valores positivos, mientras que el mismo eje de puntuación PCA 1 de los indicadores geoquímicos, indicó una tendencia contraria, tomando valores negativos a partir de 1970 AD y hasta el presente.

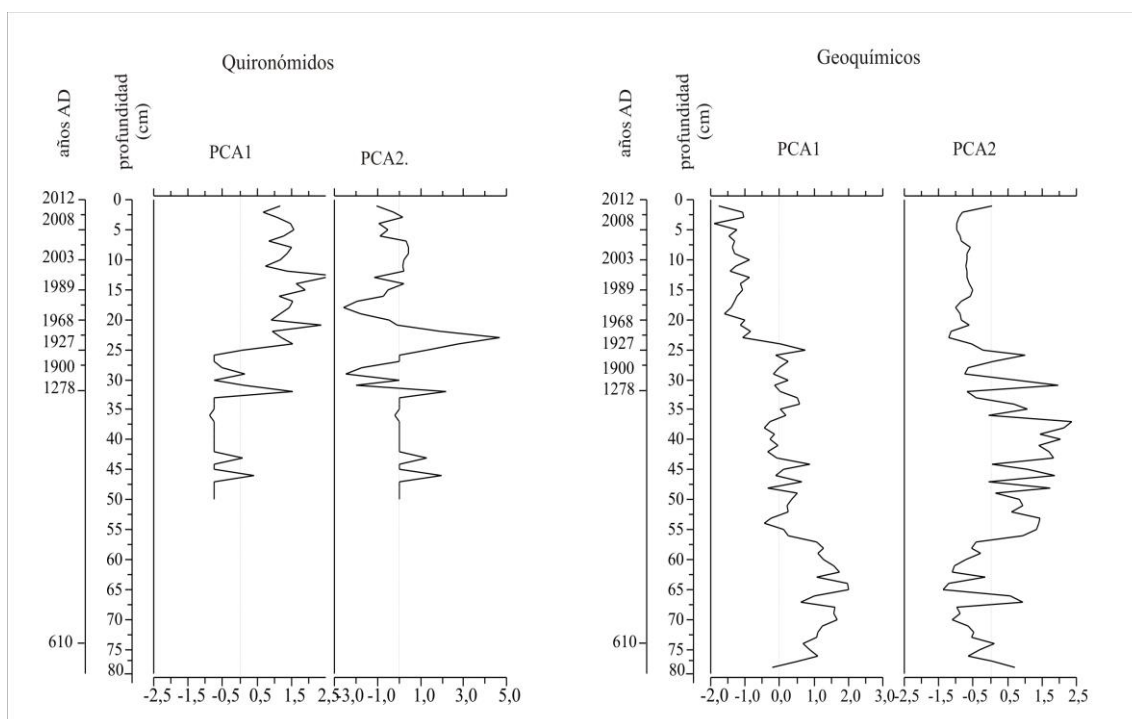


Figura 20. Perfiles de puntuación “sample scores” otorgados en el análisis de Componentes Principales (PCA) efectuados para el ensamble quironómidos subfósiles e indicadores geoquímicos del testigo TLB.

Discusión, reconstrucción de la historia ambiental de la laguna La Barrancosa

El análisis del ensamble subfósil de quironómidos junto al resto de indicadores (geoquímicos y ostrácodos (Plastani, 2016)) estudiados indican cambios marcados en la historia trófica de

“La Barrancosa” durante los últimos 1400 años.

A partir de los resultados obtenidos se pueden definir tres períodos en la ventana temporal estudiada: un primer período oscilante entre condiciones secas y húmedas coincidentes en parte con la Anomalía Climática Medieval (ACM), entre ~600-1278 AD (81,5-32,5 cm), un posterior período, entre 1278-1947 AD (32,5-25,5 cm) dominado por condiciones más secas asociada al período la Pequeña Edad de Hielo (PEH); y finalmente un tercer período, el más actual, entre 1947-2012 AD (25,5-0 cm), dominado por condiciones húmedas en su primera parte y coincidente con el Salto Climático del siglo XX (Fig. 21).

Primer período (81,5-32,5 cm/~600-1278 AD): Ambiente Inestable

Durante la primera parte de este período (~600 AD--950 AD/(81,5-59,5 cm) y debido a la ausencia de quironómidos, así como los bajos valores en el contenido de MO, N y el bajo registro de ostrácodos y pigmentos fósiles (Plastani, 2016), indicarían condiciones inestables en cuanto permanencia de agua en la laguna. Mientras que el primero registro de *Coelotanypus* y *Chironomus* sp. 1 en ~1100 AD (48,5 cm) y seguidos por *Cricotopus* y hacia el final del período por *Dicrotendipes* y *Polypedilum* evidenciarían a La Barrancosa durante la última parte del período (~1100 AD- 1278 AD), como un ambiente somero, aunque bajo condiciones climáticas aún inestables. *Coelotanypus* es un taxón predador que usualmente construye tubos horizontales y verticales de 1 mm de diámetro en los primeros 1-2 cm de sedimento (Matisoff & Wang 1998; Callisto *et al.*, 2002; Fonseca *et al.*, 2004) esta característica le permite sobrevivir en ambientes cambiantes, especialmente durante las sequías. El incremento en los valores del índice CD/TC y del contenido de MO, que se registra hacia el ~1200 AD, sumado a valores > 15 unidades del índice C/N y los bajos valores en N, C, S, evidenciarían un ingreso de MO alóctona al ambiente (Sanger & Crowl, 1979; Meyers & Lallier Varges, 1999) posiblemente en relación a un incremento en las precipitaciones. Valores altos en la relación CD/TC, se asocia comúnmente a materia orgánica contenida en los sedimentos pobre en carotenoides (pigmento fósil asociado principalmente al plancton); y valores alto en la relación C/N, puede ser asociado a la presencia de materia orgánica en los sedimentos con mayor contribución de plantas vasculares, o mayor contribución de sedimentos litorales (Guizziolini & Lami, 2001). Un aumento en las precipitaciones del área, permitiría el llenado de la cubeta y obtener durante la última parte de este período, un carácter permanente en el ambiente La Barrancosa. Coincidentemente,

Plastani (2016), propone en base al incremento en la biomasa general de ostrácodos (intervalo: 59,5-39,5 cm), un mejoramiento climático alrededor del 840-1160 AD que habría permitido el establecimiento de un cuerpo de agua con mayor tiempo de residencia.

El mejoramiento en las condiciones ambientales de “La Barrancosa” durante el intervalo ~1100 AD-~1278 AD inferido por el registro de quironómidos y soportado por el registro de ostrácodos e indicadores geoquímicos se asociaría al transcurso de la Anomalía Climática Medieval (ACM). Este evento climático, marcado por anomalías hidrológicas positivas (Stine, 1994) habría permitido la expansión de los sistemas fluviales y lacustres en gran parte de la región pampeana, así como la formación de lagunas en depresiones, originadas durante períodos secos (Irondo & García 1993; Piovano *et al.*, 2002, 2009; Cordoba *et al.*, 2014). Las evidencias paleoclimáticas del norte de la región pampeana indican, aunque no sincrónicamente, el impacto de ACM entre ~800 AD-1500AD (Siglo IX y XI) (Piovano *et al.*, 2009; Córdoba *et al.*, 2014; Guerra *et al.*, 2015) mientras que, otras evidencias al sur de la región amplían el intervalo de tiempo a ~500 AD-1400 AD (Cioccale 1999; Stutz *et al.*, 2012). Considerando lo anterior, el registro paleoclimático documentado por el testigo sedimentario TLB durante la última parte de este primer período (~1100 AD y ~1278 AD) parece factible y acorde al transcurso de ACM. El incremento en el aporte alóctono de materia orgánica indicado entre ~950 AD-~1200 AD podría relacionarse con un mayor desarrollo de los pastizales pampeanos durante períodos de mayores precipitaciones y de altas temperaturas estivales, como ha sido registrado por Martin *et al.*, (2011) en los ambientes de la región pampeana. Esto último, se suma a la interpretación sobre el incremento en las precipitaciones del área asociado a ACM que habría permitido el establecimiento de la Barrancosa como un ambiente somero.

Por otro lado, el escaso control cronológico que posee este tramo del registro, impide definir certeramente una fecha sobre el cambio entre las condiciones secas y húmedas. Adicionalmente, las condiciones inestables en cuanto a sequía/ingreso de flujos de agua que dominarían durante este período, podría propiciar la baja conservación de restos biológicos en el sistema “La Barrancosa” debido a una alta carga energética en el sistema acuático, siendo esta una posible explicación para la baja concentración de restos fósiles biológicos hallada en la base del registro.

Segundo período (32,5-25,5 cm/1278–1947 AD): Ambiente somero

El transcurso de ACM en el período anterior habría permitido el establecimiento de un ambiente somero, condición que se reafirma durante la primera parte de este período, debido al leve aumento (alrededor del intervalo 32,5-31,5 cm) en la abundancia y número de taxones de quironómidos subfósiles, mayor que en el período anterior (3 a 6). Este ambiente somero se presentaría durante todo este período, baja productividad (oligotrófico) sugeridos por el bajo contenido de nutrientes (MO próximo a 4 % d.w., N, C, S<3 % d.w.) y pigmentos fósiles (CD <6 U/g OM y TC <0,1 mg/g OM) y si se compara con el resto del registro.

Sin embargo, un nuevo cambio ambiental se registra en ~1400? AD (~31,5 cm). *Procladius* es el único taxón de quironómidos presente y los contenidos de MO, N y C disminuyen, sumado a una baja tasa de sedimentación que sugiere la relativa escasez de precipitaciones capaces de transportar material detrítico al ambiente lacustre. A este escenario ambiental se suman, el incremento de *Limnocythere solum?* (Ostracoda), taxón que indica agua cloruro sódica dominadas y la presencia de pigmentos fósiles (*fucoxantina* y *aloxantin*) relacionados a cambios en el nivel del agua (Plastani *et al.*, en prensa). Todos estos indicios, proponen un nuevo desmejoramiento en las condiciones de esta pequeña laguna. Un análisis a la aproximación de la distribución moderna de quironómidos del SO de la provincia de Buenos Aires (Montes de Oca, *en preparación*) indica, la ausencia de quironómidos en ambientes hiperhalinos (ej: Laguna Epecuén, 37°S-62°O) y la presencia de *Procladius* en ambientes mesohalinos. Además, *Procladius* es indicado como mayormente carnívoro y presente en ambientes cambiantes (Little & Smoll, 2000). Por ello y considerando, el registro de ostrácodos y pigmentos fósiles, luego de ~1400? AD habría ocurrido un desmejoramiento en las condiciones climáticas, propiciado por una disminución en el nivel de agua y un incremento en la salinidad de la laguna.

El impacto del período climático conocido como la Pequeña Edad de Hielo (PEH) tuvo una marcada expresión regional (Laprida *et al.*, 2009; Laprida y Valero Garcés, 2009; Piovano *et al.*, 2009; Córdoba *et al.*, 2014 y referencias allí incluidas). Varios ambientes de la región, registraron variaciones importantes en cuanto a salinidad y nivel de agua, hasta casos extremos de desaparecer y como consecuencia de las grandes pérdidas de agua producidas por el marcado déficit hídrico que caracterizó este evento climático frío (Piovano *et al.*, 2009; Laprida *et al.*, 2009). Adicionalmente, registros recientes observan variaciones en el nivel de

agua y salinidad de varias lagunas pampeanas, en relación a altas tasas de evaporación y reducción en las precipitaciones de la región (Hassan *et al.*, 2012). El registro paleobiológico y geoquímico de “La Barrancosa” en la última parte de este período (posterior a ~1400? AD), podría coincidir con el transcurso de PEH, inferido por la disminución en el nivel agua y una tendiente salinización, sugerido tanto por la presencia de *Procladius*, como por el registro de pigmentos fósiles asociados a bajos nivel de agua (Plastani, 2016) y también por el importante aumento de *Limnocythere solum?* ostrácodo que se asocia a ambientes cloruro-sódicos dominados (Plastani, 2016).

La falta de evidencias de hiatos desde la base del testigo hasta el nivel 26 cm permitiría considerar que la TAS se mantuvo constante durante los períodos 1 y 2; y podría asignarse, aunque estimativamente el inicio del PEH en “La Barrancosa” alrededor del ~1400 AD. Por otro lado, la discordancia que se registra entre los niveles 26-24 cm, principalmente con el abrupto cambio en las concentraciones de los pigmentos vegetales fósiles e indicadores geoquímicos del testigo TLB, podría relacionarse con el pulso climático de marcado déficit hídrico, con el que culminó el final de la PEH en la región pampeana denominado *Dust Bowl Pampean* (Viglizzo & Frank 2006; Tripaldi *et al.*, 2013; Cordoba *et al.*, 2014). Este máximo climático “seco” alrededor de 1930-1940, habría signado al paisaje pampeano en una gran sequía con fuertes vientos e importante erosión eólica de los suelos, ya trabajados por la actividad agrícola que se desarrollaba desde la primera mitad del siglo XIX en la región (Tripaldi *et al.*, 2013). La importante deflación de los suelos y la denudación de algunos registros en zona de menor relieve de la región pampeana, durante este máximo seco (Piovano *et al.*, 2002, 2006; Stutz *et al.*, 2014; Plastani *et al.*, *in press*) sería la respuesta para el gran hiato sedimentario, que marca la finalización del segundo e inicio del tercer período de TLB, permitiendo dar explicación a la discordancia evidenciada por los indicadores geoquímicos (26,5-25,5 cm).

Tercer Período (25,5–0 cm /1947 – 2012 años AD): Laguna permanente, eutrófica – Hipereutrófica

Con posterioridad al abrupto salto (26,5-25,5 cm) en el registro de todos los indicadores geoquímicos y paleobiológicos de TLB, parece establecerse un mejoramiento en las condiciones ambientales de “La Barrancosa”. El aumento en el número y abundancia de quironómidos, un ensamble conformado por *Coleotanypus/Chironomus* sp.

1/*Dicrotendipes*/*Tanytarsini* 1 B y la desaparición de *Procladius*, taxón litoral (Massaferro *et al.*, 1991) y de ambientes cambiantes (Little & Smoll, 2000) inferirían que partir del 1947 AD, La Barrancosa se presenta como un ambiente somero permanente con productividad y nivel de agua creciente. Soportado también, por el incremento notable en la tasa de sedimentación, el cambio en la textura y color del sedimento a sedimento orgánico (de arcillo - arenosos a limo - arcillosos ricos en materia orgánica), la disminución abrupta en los valores de los índices CD/TC y C/N, que indican una producción local de la materia orgánica (MO autóctona) (Meyers y Lallier - Vargès, 1999), el gran aumento en la abundancia de ostrácodos, pigmentos vegetales fósiles (Plastani *et al.*, *in press*) y en el contenido de MO y nutrientes (N; C; S) que se registra luego de 1947 AD.

El aumento en el registro de quironómidos hacia 1970 AD y especialmente por la presencia *Goeldichironomus*, *Parachironomus* y *Chironomus* sp. 1 taxones detritívoros (Takahashi *et al.*, 2008; Brodersen & Quinlan, 2006; Massaferro *et al.*, 1991) junto a taxones asociados a vegetación sumergida, como *Dicrotendipes* y *Polypedilum*, sugieren un ambiente productivo con presencia de macrófitas (Santos *et al.*, 2013; Brodersen & Quinlan, 2006; Medina & Paggi 2004). A partir de 1970 AD y en relación a las oscilaciones marcadas que se registra en las concentraciones de MO, N, C, S, CD, TC y en el índice CD/TC parece iniciarse un período húmedo, coincidente con la tendencia positiva en las precipitaciones y el mejoramiento climático general indicado para la región (Barros *et al.*, 2000; Barrancaud *et al.*, 2007; Agosta & Campanucci, 2008; Podesta *et al.*, 2009).

El cambio ecológico establecido a partir de 1970 AD (21,5 cm) en “La Barrancosa”, también visible a partir de los perfiles PCA 1 y PCA 2 de los indicadores geoquímicos y PCA 2 de quironómidos, podría relacionarse al *Salto Climático del siglo XX* (Piovano *et al.*, 2004; Podesta *et al.*, 2009). Como se reconoce en la región, un dominio de condiciones cálidas y húmedas favorece una mayor productividad en las lagunas pampeanas (Allende *et al.*, 2009; Laprida *et al.*, 2014). La desaparición de *Smittia*, típicamente semiterrestre o supralitorales (Armitage *et al.*, 1995; Delettre, 2000) y cuya presencia se asocia frecuentemente a un bajo nivel de las aguas; junto a la desaparición de *Potamocypris villosa* (Ostracoda) (Plastani *et al.*, *in press*) antes asociado a la presencia de flujos canalizados de agua, sugieren un aumento en el nivel de agua de la laguna y un carácter endorreico, coincidente con el incremento prolongado en las precipitaciones de la región (Barros *et al.*, 2000). La presencia ocasional del taxón exclusivo de ambientes lóticos *Eukiefferiella* (Cranston, 2000) podría relacionarse

con la variabilidad interanual a multidécadica de las precipitaciones principalmente de verano en Centro-Oeste de Argentina (entre 29°-36°S y 65°-70°O) que se registró para la última mitad del siglo XX (1938-1997), en un análisis sobre las anomalías en las precipitaciones pasadas (1860-2006) de la región (Barros *et al.*, 2000; Campagnucci & Agosta 2008; Scian & Pierini, 2013). El efecto de la variabilidad en las precipitaciones con períodos alternantes secos y húmedos, tuvo importante efecto sobre el ciclo hidrológico de la región y los ambientes lénticos pampeanos (Viglizzo *et al.*, 1997). Varias lagunas del centro y centro-oeste del país experimentaron contracción y dilatación de sus aguas en relación a una marcada variaciones en la dinámica hídrica de sus cuencas, durante gran parte del siglo XX (Viglizzo *et al.*, 1997; Piovano *et al.*, 2002; Deschamps *et al.*, 2013; Diovisalvi *et al.*, 2015), con importantes eventos de inundaciones en el sector sudoeste de la provincia de Buenos Aires. Particularmente en 1985, se registra el desborde de varias lagunas del sudoeste bonaerense (Geraldini *et al.*, 2011) y como consecuencia de la canalización de sus drenajes a favor de las actividades agrícolas (Viglizzo *et al.*, 1997; Aliaga *et al.*, 2016)

Coincidentemente al mejoramiento climático de principio del siglo XX, se suma una intensificación en las prácticas agrícolas en la región partir de la década del 1990, favorecida por el uso de tecnologías de alto rendimiento (Viglizzo *et al.*, 2011). A partir de esa fecha, gran parte de la región pampeana se encuentra dentro de una matriz tecnológica moderna enmarcada por cultivos transgénicos, siembra directa, mayor uso de fertilizantes y plaguicidas y canalización de áreas de drenaje a favor de la expansión de tierras de cultivo (Pengue 2005; Viglizzo *et al.*, 2011), promovido por el gobierno nacional (resolución 167/96, Ministerio de Alimentación, Agricultura y Pesca), que autorizó en 1996, la producción y comercialización de la soja transgénica con uso de glifosato en toda la Argentina. El impacto de este cambio en las prácticas de cultivo con el aumento en el uso de fertilizantes y agroquímicos en el partido de Benito Juárez (Scuffi *et al.*, 2012) pudo ser identificado en el registro de “La Barrancosa”, a partir del análisis del ensamble de quironómidos. A partir del año 2000 se observa una disminución en el número de taxones de quironómidos aunque, con la permanencia de taxones detritívoros como *Goeldichironomus* y *Chironomus* sp. 1. La presencia de estos taxones está relacionada con sedimento fino enriquecido en nutrientes que favorece este tipo de hábito alimenticio (Massaferro *et al.*, 1991; Ferreira *et al.*, 2009; Cortezzi *et al.*, 2011). Posiblemente, un incremento en la tasa de erosión del suelo registrado en los campos cultivados (Rabinovich & Torres 2004; Casas 2000) conjuntamente a un aumento de las precipitaciones habría producido una escorrentía de nutrientes hacia las áreas de drenaje y un

mayor ingreso de los mismos en los cuerpos de agua (Aimar *et al.*, 2010; Geraldi, 2011; Bohn *et al.*, 2012) favoreciendo la eutrofización de estos ambientes (Quirós & Drago, 1999; Quirós *et al.*, 2002, 2006; Sosnovsky *et al.*, 2010; Echaniz & Vignatti, 2013). Algunos estudios sobre patrones de distribución de quironómidos en ambientes antropizados indican una tendencia a, la disminución en el número de taxones y permanencia de taxones detritívoros en los ensambles de quironómidos, presentes en ambientes degradados y con abundante carga orgánica (Massaferro *et al.*, 1991; Carew *et al.*, 2007; Ferreira *et al.*, 2009; Hamerlik *et al.*, 2011; Cortezzi *et al.*, 2011). Adicionalmente, el incremento en N y C y pigmentos derivados del fitoplancton (especialmente, *echinenone*, *zeaxanthin* y *myxoxanthophyll*) así como, el brusco aumento de TAS desde el año 2000 AD (Plastani *et al.*, in press) sugerirían una degradación en las condiciones ambientales de “La Barrancosa” a partir 2000 AD. Así mismo, la presencia de *Procladius/Chironomus* sp. 1 en los sedimentos recientes, sugerirían un deterioro en el estado trófico de la laguna. *Procladius* es taxón mayormente carnívoro y resistente, mientras que *Chironomus* se alimenta principalmente de detrito orgánico (Massaferro *et al.*, 1991; Ferreira *et al.*, 2009; Hamerlik *et al.*, 2011). *Procladius* es capaz de alimentarse en la interfase agua sedimento, ampliando su oferta alimenticia (Brodersen *et al.*, 2001; Il'yashuk *et al.*, 2003), permitiéndole sobrevivir en ambientes con alta carga orgánica y sedimentos anóxicos. Por otro lado, *Chironomus* se asocia a ambientes anóxicos frecuentemente con alta turbidez orgánica (Massaferro *et al.*, 1991; Brodersen & Quinlan, 2006; Takahashi *et al.*, 2008; Ferreira *et al.*, 2009).

Es importante destacar que la siembra continua del pez planctófago *Odontesthes bonariensis* “pejerrey” desde principios de la década de 1980 (Schwerdt & Cazorla 2014) tuvo consecuencias importantes en las estructuras tróficas de varias lagunas pampeanas; reduciendo la biomasa del zooplancton y por “efecto cascada”, beneficiando al fitoplancton y promoviendo luego, la eutrofización de los ambientes (Boveri & Quirós, 2003, 2007) y la presencia de aguas verdosas, características indicadas en ambientes con estado trófico turbio (Quirós *et al.*, 2002). Sin embargo, los perfiles de pigmentos fósiles particulares analizados para TLB en este período, no ha sido suficiente para identificar el efecto de la depredación del zooplancton por este pez, que podría haber causado una disminución en los carotenoides asociados al zooplancton y un aumento en los pigmentos de algas (Plastani *et al.*, in press).

La falta de información sobre la distribución actual de los quironómidos en ambientes lacustres de la región pampeana en relación a la calidad de agua, fue un limitante al momento

cuantificar el deterioro ambiental que presentó La Barrancosa. Este trabajo de Tesis pretende ser el punto de partida para futuras reconstrucciones ambientales cuantitativas en esta región.

El cambio ecológico con aumento en la productividad, observado hacia el período más reciente de la historia trófica de la laguna, fue registrado también en los análisis de ordenamiento, por una tendencia en la dirección de cambio en el ensamble de quironómidos hacia las muestras más recientes (PCA) y por una influencia (aunque baja) en la composición del ensamble por los indicadores relacionados con el aporte de materia orgánica (CCA1). Los cambios en la composición de quironómidos e indicadores geoquímicos observados en los perfiles PCA 1 y PCA 2 (Fig. 20) coinciden temporalmente, reflejando en ambos casos cambios importantes en la dinámica trófica de este ambiente. Este patrón de cambio, notable mayormente en los sedimentos más recientes, probablemente este asociado tanto a una componente climática como antrópica y sumando procesos ecológicos intrínsecos, dado que ambos ejes de ordenamiento son responsables de solo un 4 % de la variación total en el ensamble.

Conclusión (laguna La Barrancosa)

La reconstrucción ambiental aquí presentada es una de las primeras investigaciones paleoambientales basadas en el uso de quironómidos subfósiles en la región pampeana, demostrando su importancia y utilidad en la reconstrucción de las condiciones hidroclimáticas y tróficas pasada, en ambientes someros pampeanos.

El análisis integrado permitió reconstruir principalmente, los cambios en la productividad biológica y variaciones en el nivel de agua de la laguna “La Barrancosa”, a partir de la interpretación de los cambios registrados en términos tróficos. La dinámica ambiental en la historia evolutiva de la laguna La Barrancosa estuvo signada por las variabilidad hidroclimática de los últimos ~1000 años en la región Pampeana. Mientras que los cambios tróficos más reciente, estarían relacionados a una fuerte impronta de las actividades antrópicas en la región y por el incremento en las precipitaciones de la región, con inicio en 1940 aproximadamente.

Los análisis de ordenamiento efectuados en base a las abundancias y distribución de taxones de quironómidos a lo largo de TLB, permitieron una interpretación ecológica más sólida sobre los cambios y tendencias tróficas de esta laguna pampeana del suroeste bonaerense.

Es difícil discernir si la reciente degradación ambiental que se registra a partir del análisis de quironómidos e indicadores geoquímicos, tiene mayor componente en la variabilidad ambiental natural o bien corresponde a una señal de cambio con múltiples forzantes, es decir de la suma del impacto antrópico y el cambio climático reciente (Laprida *et al.*, 2014, Plastani *et al.*, en prensa).

Laguna Verde, TLV

Introducción

Los ambientes lacustres del Noroeste de Patagonia son de particular interés paleoambiental, debido a su ubicación en un área sensible y fuertemente influenciada por los vientos del oeste (*westerlies*) que aportan humedad a la región, con importancia en el comportamiento climático global (Moreno *et al.*, 2009); y por el ámbito geográfico donde se desarrollan, que permite una importante heterogeneidad ambiental (bosque húmedo, ecotono, estepa, Altoandino) (Mermoz *et al.*, 2000). En particular, los lagos ubicados en el área protegida Parque Nacional Nahuel Huapi (PNNH) son excelentes ecosistemas de referencia (Perotti *et al.*, 2005) para el desarrollo de diferentes estudios, incluidos los paleolimnológicos, que evalúan los efectos del cambio climático (Bianchi *et al.*, 1997; Aristegui *et al.*, 1997; Guilizzioni *et al.*, 2009; Massaferro & Vandergoes, 2008; entre otros), la contaminación que ingresa a los ambientes lacustres por depositación atmosférica (Rizzo *et al.*, 2010; Ribeiro Guevara *et al.*, 2010) y de los cambios derivados de la presencia humana en el área (Zagarese *et al.*, 2000; Massaferro *et al.*, 2004; Pascual *et al.*, 2007; Veblen *et al.*, 2011; Juncos *et al.*, 2013; Serra *et al.*, 2013; Macchi & Vigliano, 2014; y referencias allí incluidas).

Los restos subfósiles de quironómidos contenidos en sedimentos lacustres del PNNH, han permitido evaluar los efectos de los eventos catastróficos (erupciones volcánicas) frecuentes que ocurren en el área (Massaferro & Corley, 1998; Mauad *et al.*, 2016) y del impacto antrópico incipiente en área (Massaferro *et al.*, 2005) sumado al calentamiento climático reciente (Williams *et al.*, 2016; Serra *et al.*, 2016; Massaferro *et al.*, 2016)

Para llevar a cabo la reconstrucción paleoambiental de la Laguna Verde, ubicada al Noroeste de Patagonia, y con el fin de observar los cambios tróficos que registra en respuesta a la variabilidad hidrológica y climática del sector Noroeste de la región. Se estudiaron los restos subfósiles de quironómidos conservados en el testigo TLV. El análisis del registro de quironómidos se complementó con la información obtenida del análisis de pigmentos fósiles y materia orgánica, para obtener una reconstrucción de la dinámica ambiental y comportamiento que tuvo la laguna en un pasado cercano. Desarrollar este tipo de estudios en ambientes protegidos permite detectar de forma temprana los futuros impactos en estos

ambientes, importantes como elementos claves en ecosistemas y como recurso para el ser humano.

Sitio de estudio, laguna Verde

La Laguna Verde (41°15'S, 71°17'O, 1545 m.s.n.m.) se ubica en el valle del Challhuaco a casi 18 km del centro de la ciudad de San Carlos de Bariloche, dentro del área protegida Parque Nacional Nahuel Huapi (PNNH) y en un ambiente de Bosque Húmedo, dominado por la especie arbórea *Nothofagus pumilio* y asociado a *Berberis*, *Ribes magellanicum*, *Schinus patagonicus* y *Myoschilos oblongum* (Mermoz *et al.*, 2000). El relieve en el valle del Challhuaco es predominantemente montañoso. La cuenca se asienta sobre una base volcánica con algunas intercalaciones sedimentarias, caracterizado por rocas sedimentarias y andesitas (Planas, 1997; Zagareze *et al.*, 2000). Los suelos como en la mayor parte del área del PNNH son poco desarrollados originados a partir de cenizas volcánicas (Mermoz *et al.*, 2000). El clima en general en el PNNH, es templado lluvioso con precipitaciones concentradas durante los meses de invierno (mayo- agosto). La precipitación media anual a los ~750 m.s.n.m, según el Servicio Meteorológico Nacional es de 940 mm/año, mientras que la temperatura media en los valles bajos ronda los 8 ° C (Mermoz *et al.*, 2000).

La laguna (Fig. 22), posee una superficie de 0,0035 km² (García *et al.*, 2015) y una profundidad máxima de 8 metros. Es un lago somero polimíctico endorreico (Díaz *et al.*, 2007; García *et al.*, 2015), alimentado por escorrentía superficial durante la estación lluviosa y por el derretimiento de la nieve en primavera (Rogora *et al.*, 2008). La vegetación circundante define en gran medida las características de esta laguna (Bastidas Navarro *et al.*, 2014) que presenta además vegetación sumergida del género *Myriophyllum*. La laguna se clasificó en un estado mesotrófico, basado en el contenido en la columna de agua de fósforo total (TP) (Zagareze *et al.*, 2000; Rogora *et al.*, 2008). Las concentraciones de fósforo (14,13 µg/L) y nitrógeno total (470 µg/L) son relativamente altos, comparado con el resto de los lagos de la zona (Pedrozo *et al.*, 1993; García *et al.*, 2015). Díaz *et al.*, (2007) registraron concentraciones altas de sílica SiO₂ (10 mg/L) y clorofila *a* (9, 7 µg/L) y en relación a la comunidad planctónica de la laguna. Mientras que Bastidas Navarro *et al.*, (2014) indicaron una biodiversidad alta del bacterioplancton. No se registran peces en esta laguna, a diferencia

de la gran mayoría de los cuerpos de agua, ubicados en el área protegida. La laguna Verde, esta incluida dentro del “Área Crítica Cuencas Ñirihuau y Challhuaco” Resolución HD 012/04 APN del PNNH, con actividades humanas reducidas a partir de la aplicación de dicha resolución. No se permite ingresar a la laguna ni acampar en sus alrededores, debido a la presencia de una especie amenazada de rana microendémica (Resolución 1055 SAsyDS), *Athelognathus nitoi* (Ubeda et al., 1999).

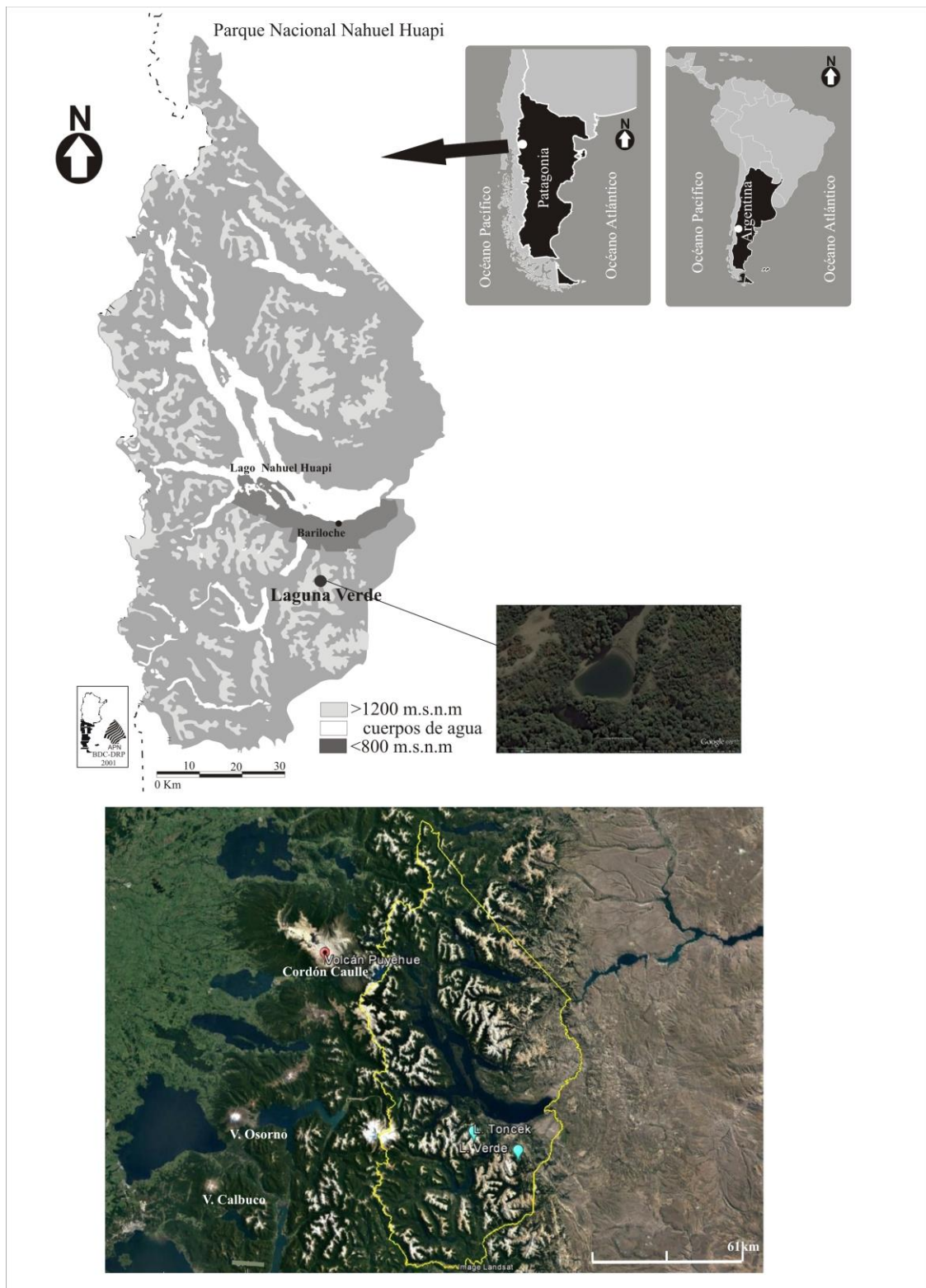


Figura 22. Sitio de estudio, laguna Verde.

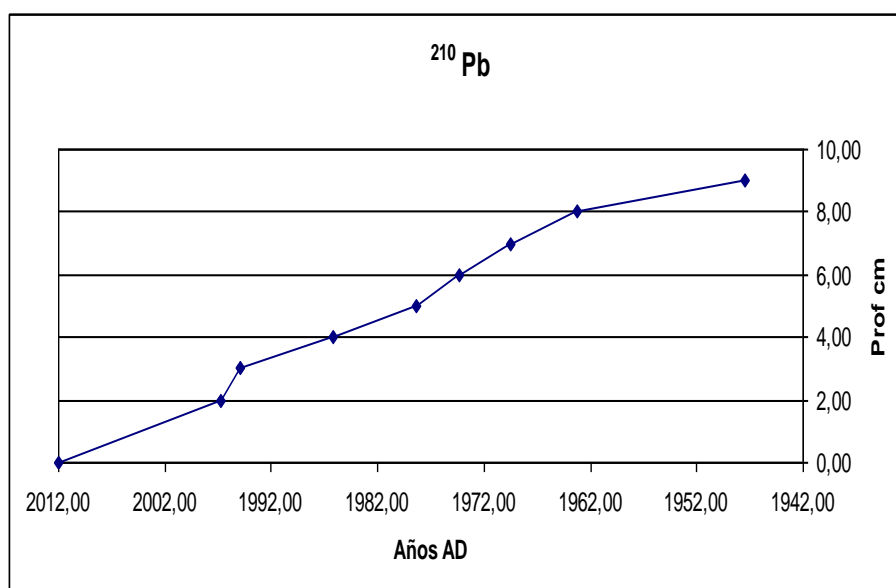
Descripción de los resultados, testigo sedimentario TLV

Sobre el testigo TLV, además del registro de quironómidos se realizaron análisis de pigmentos fósiles (derivados de clorofila- CD y total de carotenoides- TC) y materia orgánica (MO) (Montes de Oca *et al.*, 2017), dicha información fue integrada en la reconstrucción de la historia ambiental de la Laguna Verde.

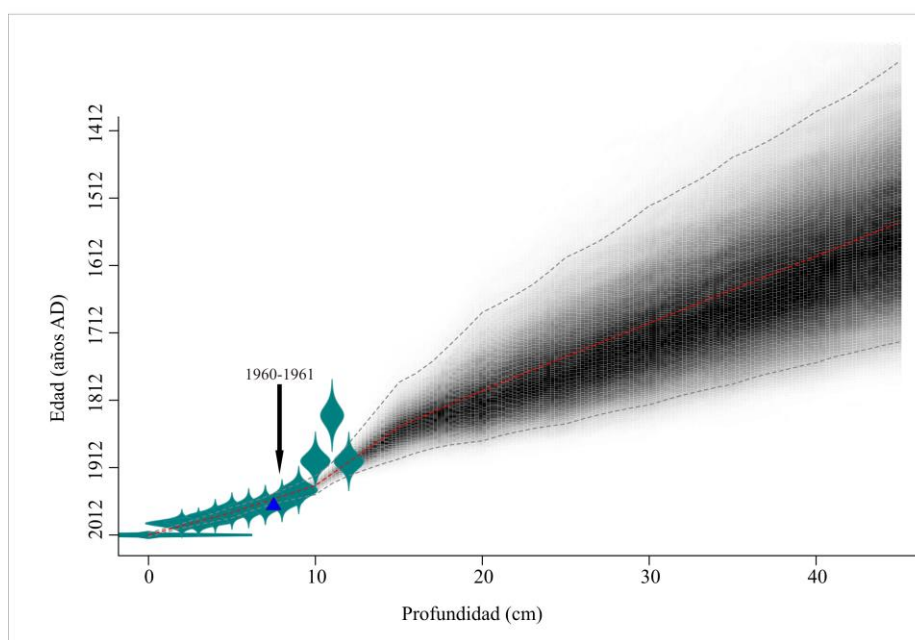
A continuación se describen en primer término, los resultados obtenidos del fechado de los sedimentos efectuado por el método de ^{210}Pb y del modelado de la tasa de sedimentación (BACON) (ver Metodología, sección Dataciones) continuando, con los resultados obtenidos del análisis de contenido de MO y CD y TC finalizando luego, con los resultados del análisis del registro subfósil de quironómidos.

Cronología, TLV

El fechado de los sedimentos de TLV a partir del método ^{210}Pb , permitió asignar edades a los sedimentos confiables por encima del nivel 9 cm, nivel con edad asignada en 1947 ± 8 años AD. (Fig. 23 a). Por debajo de ese nivel y a partir de la construcción del modelo de edad profundidad BACON, se pudo asignar fechas tentativas posteriores al ~1940 AD (Fig. 23 b) para los sedimentos más profundos. La tasa de acumulación sedimentaria (TAS) obtenida a partir del modelo basado en el método ^{210}Pb , fue constante (1,3 mm/año) desde 1947 AD hasta el presente. Mientras que las diferentes TAS indicada por el modelo BACON muestra un aumento en los valores de 0,06 mm/año a 0,14 mm/año entre los niveles 11 y 10 cm (Tabla 4). La capa de tefra ubicada en los sedimentos más recientes (8 cm) del testigo sedimentario TLV, fue empleada como información adicional permitiendo corroborar la robustez del modelo de edad profundidad BACON



a)



b)

Figura 23. Fechado de los sedimentos del testigo TLV, basado en el método ^{210}Pb (a) y empleando el programa BACON (b). La flecha indica la capa de tefra asociada a los eventos eruptivos de 1960-1961 Cordón Caulle-Puyehue/Calbuco

El testigo sedimentario de la laguna Verde TLV, mostró una composición de *gyttja* (sedimento formado por la mezcla de partículas de materia orgánica, precipitaciones inorgánicas y material mineralizado (Wetzel, 1981) de color marrón oscuro homogénea con restos de plantas y otros desechos orgánicos en los niveles 17 cm y 45 cm.

En general, el contenido de Materia Orgánica (MO) varió a lo largo del testigo, con un mínimo de 2,42 % d.w. en ~1670? AD (34 cm) y un máximo de 71,59% en ~1996 AD (2 cm); entre ~1740? AD (27 cm) y ~ 1835? AD (17 cm) se mantuvo en concentraciones bajas (< 25 % d.w.); posterior a ~ 1835? AD los valores se mantuvieron en un promedio de ~ 47 % d.w. Los derivados de Clorofila (CD) y total de carotenoides, (TC) oscilaron fuertemente anterior a ~ 1835? AD (<17cm); CD osciló fuertemente con valores < 12,34 U/g OM y TC con valores próximos a 0,18 mg/g OM. Posterior a ~ 1835? AD y hasta el presente las oscilaciones fueron menores, CD, con valores próximos a 7,29 U/g OM y TC a 0,09 mg/g OM. Se observaron importantes picos tanto en CD como TC, en ~1670? AD (34 cm) (CD: 20,87 U/g OM; TC: 0,26 mg/g OM), ~1796 AD (21 cm) (CD: 22,42 U/g OM; TC: 0,24 mg/g OM), ~1815 AD (19 cm) (CD: 22,5 U/g OM; TC: 0,23 mg/g OM); y otros menores en 1946 AD (9 cm) (CD: 16,6 U/g OM; TC: 0,14 mg/g OM) y 1992 AD (3 cm) (CD: 15,14 U/g OM; TC: 0,16 mg/g OM). El índice CD/TC también mostró importantes variaciones; desde ~1561 AD a ~1670 AD se observó una disminución desde 121,7 a 75,7, con un posterior incremento gradual hasta llegar a un valor de 134,7 en ~1924 AD. En 1996 AD, se observó una nueva disminución (92) (Fig. 24).

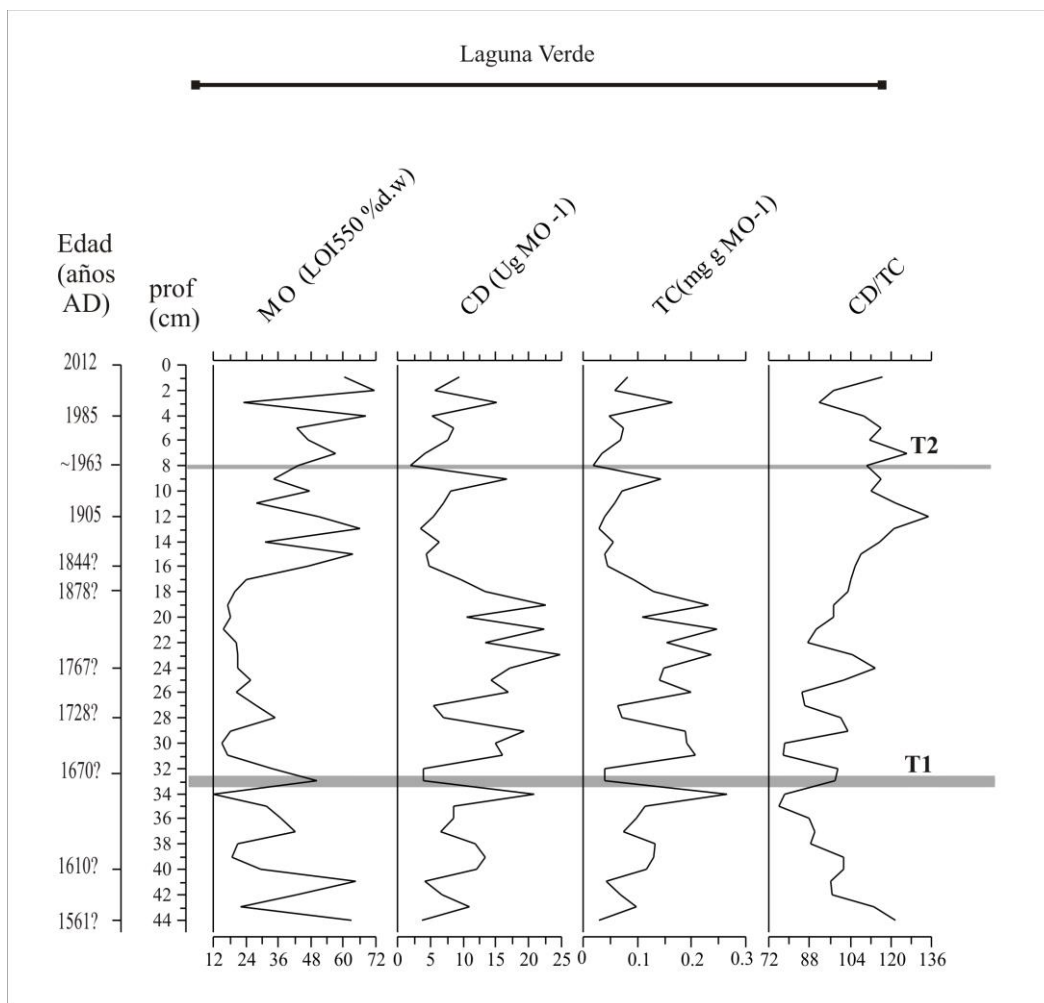


Figura 24 Perfiles estratigráficos de: derivados de clorofila (CD) y total de carotenoides, (TC), índice CD/TC y materia orgánica (MO) contenidos en el testigo TLV. Las líneas grises indican los horizontes de tefra (T1 y T2)

Análisis de los quironómidos subfósiles, TLV

Un total de 13 morfotaxones fueron identificados a partir de 1326 cápsulas cefálicas de larvas de quironómidos (CCQ) (Fig. 25). El número total de CCQ alcanzó su máximo valor de 74 CCQ en ~1630? AD (38 cm). A partir de allí, se observó una disminución general en la abundancia total de CCQ hacia las muestras superficiales, manteniéndose en valores próximos a 15 CCQ. Coincidentemente y en relación a la presencia de horizontes de tefra, se observó

una disminución en el número de CCQ en los niveles 34-32 cm y 8 cm y si se lo compara con el resto del registro. *Riethia* (~40%) y *Polypedilum* (~30%) fueron los taxones dominantes en casi toda la secuencia de TLV, seguidos por *Apsectrotanypus* (~25%), *Chironomus* sp. 2 (~15%) y *Tanytarsini* 1 B (17 %). Mientras que, *Cricotopus*, *Alotanypus*, *Parapsectrocladius*, *Paratanytarsus*, *Tanytarsini* 1A y *Apedilum* se presentaron ocasionalmente, con valores cercanos al 10% de abundancia relativa. *Riethia* redujo su abundancia de 65% a 16%, entre ~1561? AD y ~1670? AD (45-34 cm), manteniendo valores próximos al 45 % hasta 1963 AD. Entre 1963 AD y hasta ~1980 AD se observó un incremento hasta valores próximos al 60% de su abundancia, decreciendo nuevamente hasta el presente. Por otro lado, un importante cambio ocurrió entre los morfotaxones *Chironomus* sp. 2 y *Parapsectrocladius*, el primero desapareció casi por completo luego del 1963 AD mientras que el segundo incrementó notablemente su presencia a partir de esa fecha y especialmente cercano al 1996 AD. *Apsectrotanypus* mantuvo su abundancia próxima a 25%, pero entre ~ 1825? AD y el 1900 AD aumento a valores cercanos al 38%, desapareciendo casi por completo después de esta última fecha. *Tanytarsini* 1B mostró un incremento en su abundancia de 6 % a 17 %, entre ~ 1750? AD y ~1825? AD. Adicionalmente, *Alotanypus* luego del ~1947 AD aumentó su presencia alcanzando casi el 30% de su abundancia. La presencia de *Paralimnophyes* y *Labrundinia* fue ocasional a lo largo de la secuencia, pero con abundancias muy bajas cercana al 10%. *Cricotopus* y *Apedilum* también se presentaron ocasionalmente pero con abundancia cercanas al 5%.

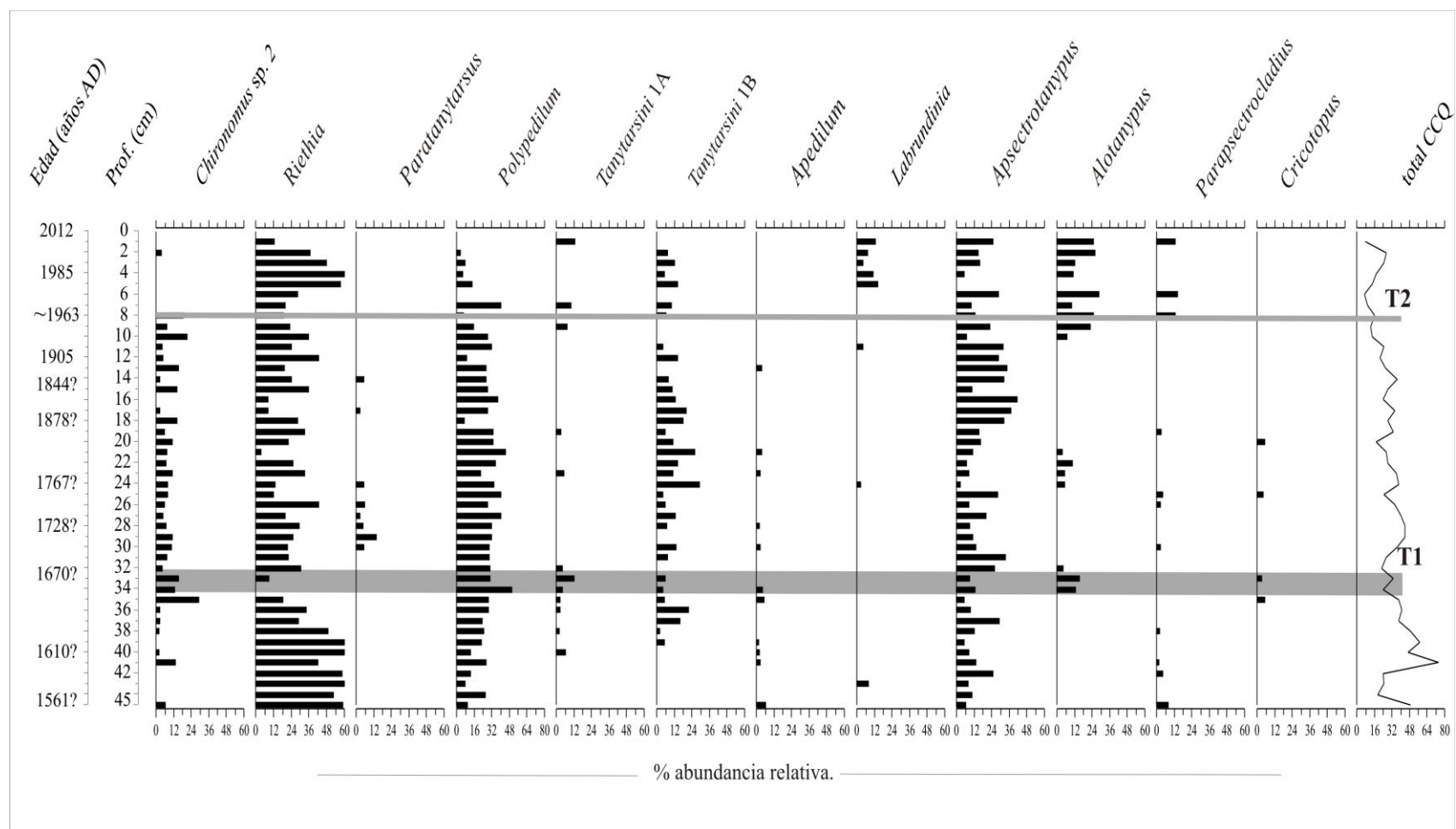


Figura 25. Ensamble de quironómidos subfósiles presentes en el testigo TLV. Las líneas grises indican los horizontes de tefra (T1 y T2).

Análisis estadísticos, TLV

El análisis cluster jerárquico aglomerativo basado en las abundancias relativas de quironómidos sumado a un análisis de significancia, modelo Broken Stick (BS), indicó 3 agrupamientos significativos con límite en el nivel 34 cm (~1670? AD) y 18 cm (~1878? AD) (Fig. 26); la desaparición de varios taxones (ej: *Paralimnophyes*, *Cricotopus*) y los cambios moderados en las abundancias relativas de *Riethia*, *Polypedilum* y *Apsectrotanypus*, fueron los cambios importantes observados en dichos límites.

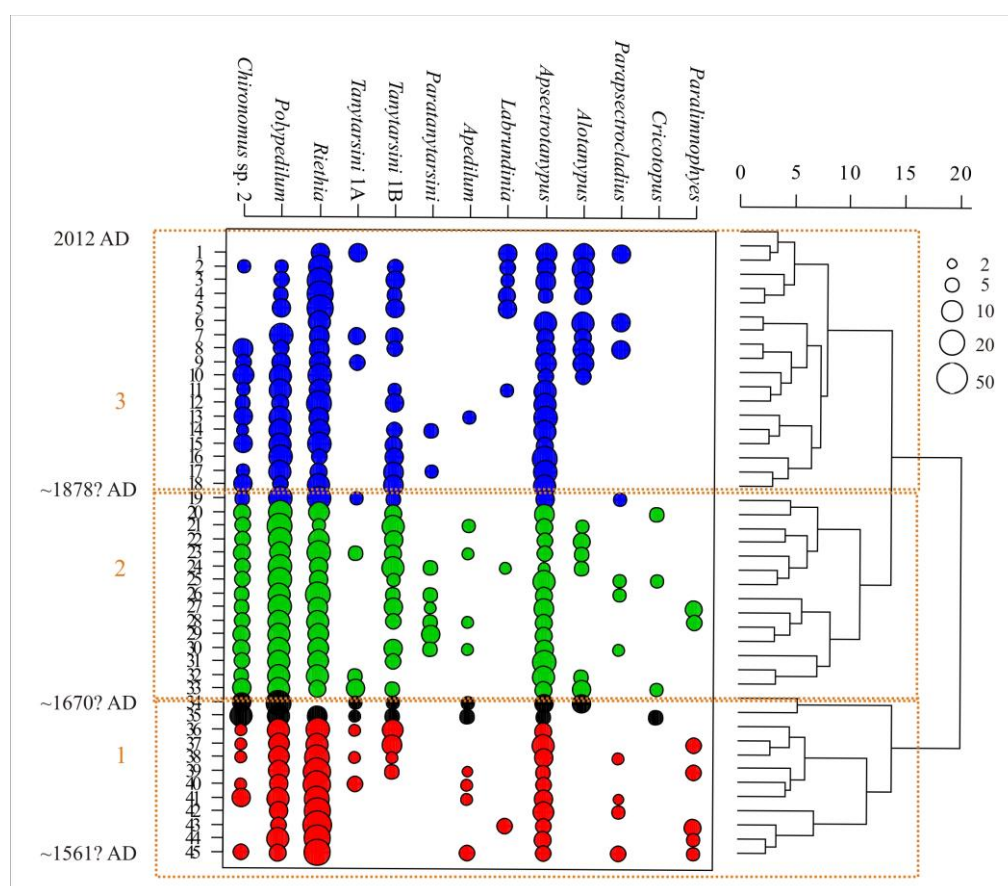


Figura 26. Dendrograma del análisis de agrupamiento (cluster), TLV. Los círculos en distintos tamaño corresponden a las abundancias relativas de cada taxón en cada nivel y los colores, las “posibles” agrupaciones. Las agrupaciones significativas fueron indicadas con un rectángulo. Indicando además las fechas de los límites de cada agrupación

Por otro lado, el análisis exploratorio de Correspondencia sin tendencia (DCA) efectuado para el registro de quironómidos obtuvo un gradiente <2 unidades de DS, indicando la linealidad de la distribución del ensambles de quironómidos subfósiles del testigo TLV; y recomendando el uso de un análisis multivariado lineal (RDA) (Tabla 5). Adicionalmente, un análisis exploratorio sobre las variables ambientales (CD, TC, OM), PCA permitió eliminar *a priori* las variables con alto coeficiente de correlación e incluir las restantes en el análisis lineal (RDA).

El análisis de Redundancia (RDA) indicó que un 15,1 % (Tabla 5) de la variabilidad en la composición del ensamble de quironómidos subfósiles de TLV, puede ser explicado por las variables ambientales previamente seleccionadas. El primer eje RDA 1 explicó el 9,2 % de la variabilidad observada y estuvo correlacionado con el índice CD/TC que indica aporte de materia orgánica al sistema lacustre (Fig. 2

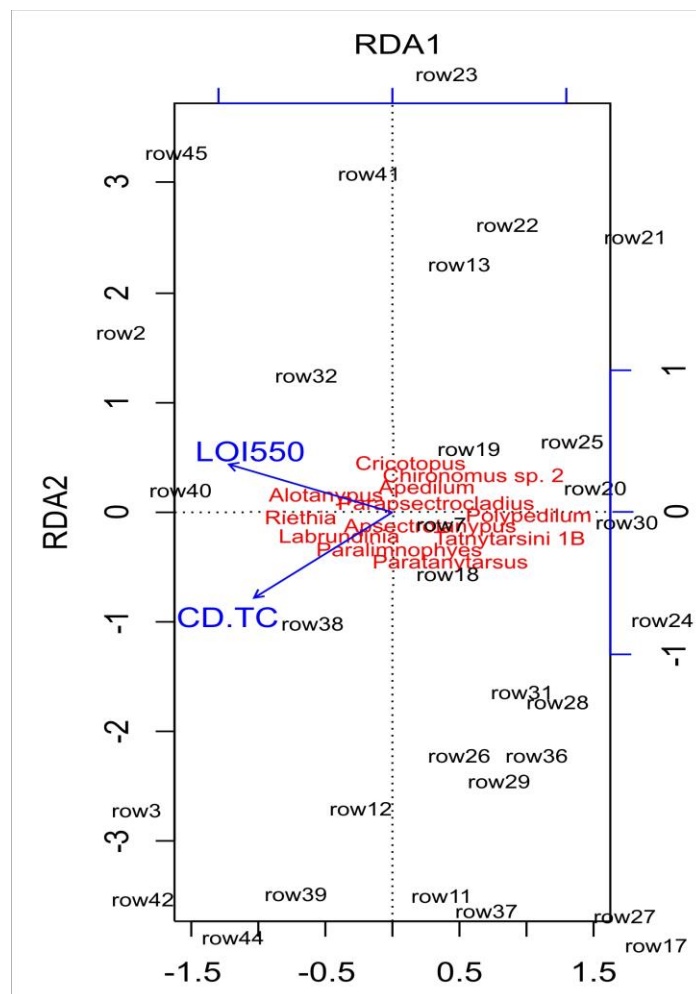


Figura 27. Análisis de Redundancia (RDA), TLV. En rojo se indican los taxones de quironómidos subfósiles del testigo TLV, en negro los diferentes niveles o centímetros del testigo (por ej: row 22) y en azul las variables geoquímicas asociadas a la composición del ensamble de quironómidos subfósiles.

Adicionalmente, los perfiles “scores” o puntuaciones de taxones de quironómidos otorgados por el análisis PCA, muestra un incremento de 0 a 1,5 unidades de DS alrededor de ~1670? AD, manteniéndose luego en valores oscilantes positivos, hasta ~1963 AD, donde cambió a valores negativos. Luego de 1963 AD, los de valores del PCA1 se mantienen negativos hasta el presente. El cuanto al eje PCA2, se observó un cambio en los valores de scores de negativos a positivos en ~1878? AD. Mientras que, el perfil de “scores” PCA1 efectuado sobre las concentraciones de pigmentos fósiles y MO indicó una tendencia hacia valores negativos después de ~1878 AD. Adicionalmente se presentó un leve incremento hacia valores positivos de DS, en los sedimentos más recientes (1996 AD) (Fig. 28).

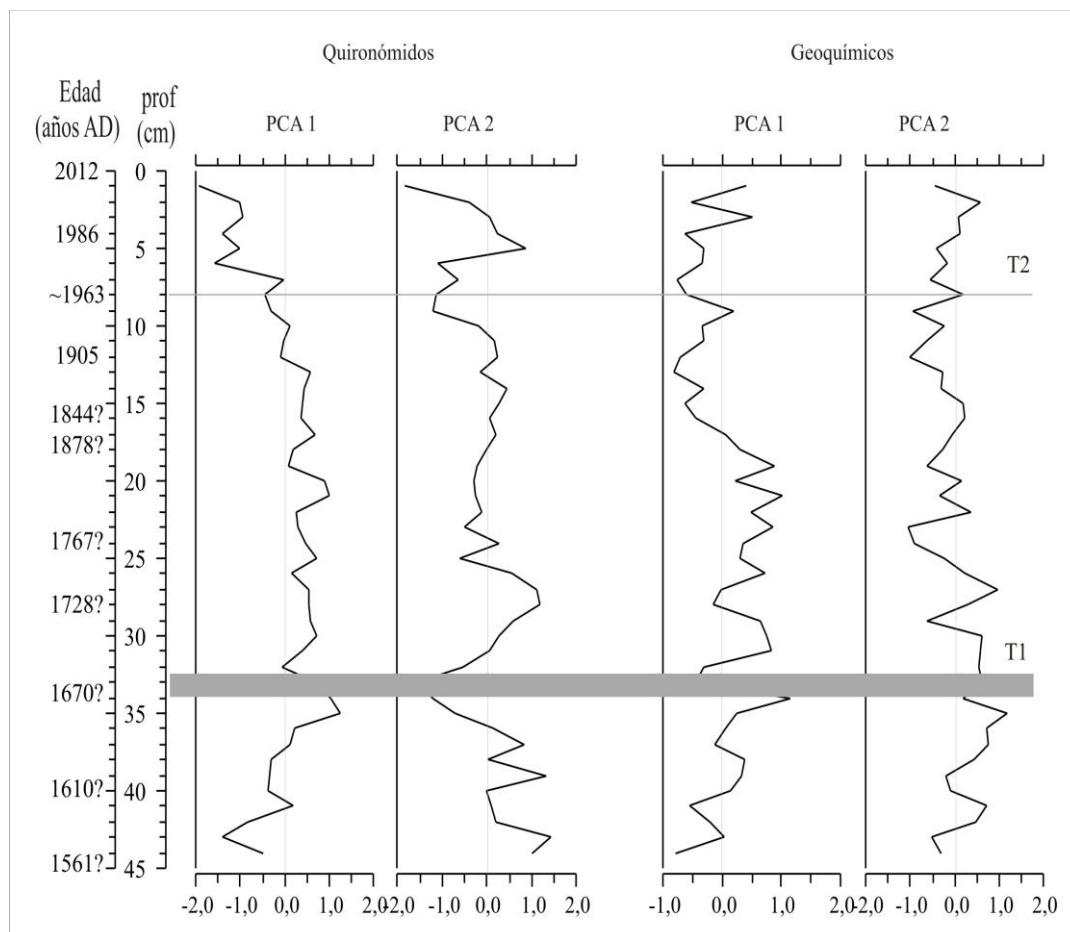


Figura 28 Perfiles de puntuación “scores” otorgados en análisis de Componentes Principales (PCA) efectuados para el ensamble quironómidos subfósil y para los indicadores geoquímicos (CD, TC y MO), TLV. Las líneas grises indican horizontes de tefra (T1 y T2).

Discusión, reconstrucción de la historia ambiental de la laguna Verde

El registro subfósil de quironómidos de la laguna Verde junto al de pigmentos fósiles (CD y TC) y MO permitieron reconstruir la evolución ambiental de esta laguna durante los últimos ~500 años en respuesta a una combinación de forzantes ambientales de tipo climático/antrópico. La historia ambiental de la laguna Verde, contenida en la secuencia sedimentaria analizada, TLV, se describe en 3 períodos basados en los resultados obtenidos del análisis de agrupamiento (Fig. 29)

Debido a la incertidumbre que presenta la cronología de los sedimentos por debajo del nivel 10 cm, los cambios ocurridos con fecha anterior al 1900 AD fueron asignados

tentativamente. Es importante destacar que varios registros sedimentarios del sur de América del Sur (Arnaud *et al.*, 2006; Muslow *et al.*, 2009; Piovano *et al.*, 2009) y en particular para Patagonia (Ribeiro Guevara *et al.*, 2003) han documentado una baja actividad del radioisótopo ^{210}Pb asimilado en los sedimentos, planteando las dificultades de su uso en el fechado de los sedimentos (método de ^{210}Pb) en esta parte del Hemisferio Sur.

La fecha arrojada por el modelo de edad basado en el método ^{210}Pb en el nivel 8 cm (1963 años AD), la información histórica así como a los trabajos tefrocronológicos efectuados en varios lagos del PNNH (Daga *et al.*, 2006, 2008, 2012, 2014; Villarosa *et al.*, 2006; Bertrand *et al.*, 2008; Ribeiro Guevara *et al.*, 2010; Williams, 2012; Fontijin *et al.*, 2014; Serra *et al.*, 2016; Williams *et al.*, 2016) y en particular el de Daga *et al.*, 2010 permitieron asociar la capa de tefra (T2, 8 cm) a las erupciones volcánicas del complejo volcánico Cordón Caulle Puyehue (Chile) y volcán Calbuco (Chile), ocurridas en 1960-1961 y emplear las mismas como información adicional al modelo de ^{210}Pb que permitió además, comprobar la robustez del modelo de edad-profundidad BACON (Montes de Oca *et al.*, 2017). Por otro lado, la falta de control cronológico y el amplio error obtenido en el modelo de edad-profundidad BACON, por debajo de los 20 cm del testigo TLV (Fig. 23 b), imposibilitó aproximar una fecha para la tefra depositada en los niveles 32-34 cm (T1).

Primer Período (45-34 cm/~1561?~1670? AD), TLV

Los altos valores en la abundancia total de capsulas cefálicas junto a la dominancia de *Riethia* seguido por *Polypedilum* y, por otro lado, los valores relativamente altos de pigmentos fósiles y de materia orgánica, comparado con los obtenidos en sedimentos recientes, sugieren que la laguna Verde hacia ~1561? AD ya se presentaba como un ambiente somero conformado. En general durante este período, se infieren el dominio de condiciones frías y húmedas indicado por la abundante presencia de *Riethia* acompañado por *Tanytarsini* 1 A y 1 B y *Chironomus* sp. 2 todos taxones estenotópicos fríos y profundos (Massaferro *et al.*, 2005; Massaferro *et al.*, 2009; Massaferro & Larocque, 2013). Los altos valores en el índice CD/TC sincrónico con los altos contenidos de MO indicarían una mayor contribución alóctona (Guilizzioni & Lami, 2001) de la materia orgánica en los sedimentos. En efecto, hacia el final de este período, la presencia de taxones litorales como *Cricotopus* y *Parapsectrocladius* junto a

taxones que habitan zonas profundas como *Chironomus* y *Riethia* (Massaferro & Brooks, 2002) sugieren la llegada de material litoral e inestabilidad hidrológica con aumento del nivel de agua, en relación a las precipitaciones en el área. Las disminuciones en el contenido de MO y la disminución en los valores del índice CD/TC, que indica sedimentos ricos en carotenoides (Guillizzioni & Lami, 2001) son evidentes hacia el ~1670? AD, lo cual se atribuye a condiciones menos húmedas y probablemente más cálidas, con una productividad más autóctona.

El dominio de condiciones frías y húmedas interpretados durante este período coincide con el período húmedo y de bajas temperaturas entre ~1490 AD y ~1660 AD que fue asociado en algunos estudios *multiproxies* al transcurso del período climático conocido como la Pequeña Edad de Hielo (PEH) (Bertrand *et al.*, 2005, 2008; Villalba *et al.*, 2001; Serra *et al.*, 2016). Este período coincide con los registros de avances de los glaciares y del bosque de *Nothofagus* en el sector noroeste de la región patagónica (Rabasa *et al.*, 1985; Villalba, 1990; Villalba *et al.*, 1997; Aristegui *et al.*, 2007;; Masiokas *et al.*, 2009, 2010; Rabassa, 2010; Bianchi & Aristegui, 2012; Serra *et al.*, 2016).

Segundo Período (34-18 cm/~1670?- ~1878? AD), TLV

Durante este período se registra un incremento en la abundancia de *Polypedilum* y *Alotanypus* que suelen indicarse como taxones estenotópicos cálidos (Massaferro *et al.*, 2009; Massaferro & Larocque, 2013) y asociadas vegetación acuática (Vermaire *et al.*, 2013). Sin embargo, siguen siendo importantes los taxones fríos como *Riethia*, *Tanytarsini* 1 A y 1 B y *Chironomu* sp. 2. Esto indicaría un mejoramiento climático, pero aún con persistencia de condiciones frías. Los valores altos en las concentraciones de CD, TC junto a valores bajos del índice CD/TC anterior a ~1728? AD, podrían relacionarse a una producción más local de la materia orgánica dada por una mayor productividad en el ambiente acuático, beneficiado por el leve dominio de condiciones cálidas. El incremento en la abundancia de *Chironomus* sp. 2 y *Polypedilum* y la disminución de *Riethia* y *Parapsectrocladius* registrado en el límite inferior de este período se podría relacionar al impacto de la tefra (T1) depositada entre los niveles 34-32 cm lo cual coincide con un incremento pronunciado en la concentración de CD y TC, y una reducción drástica en el contenido de la MO. En Modenutti *et al.*, (2013), se

evalúa el impacto de las recientes erupciones volcánicas en la dinámica de los lagos del Parque Nacional Nahuel Huapi (PNNH), indicando que el efecto de la depositación de las tefras en los lagos del área, beneficiaría las comunidades fitoplanctónicas reduciendo los efectos de la fotoinhibición y el consecuente incremento relativo en el aporte de fósforo al sistema. Esto podría dar una explicación al aumento registrado en los pigmentos fósiles (CD y TC) en T1. El error arrojado por modelo de edad /profundidad BACON en estos niveles imposibilita asignar una edad al horizonte de tefra T1.

Entre ~1728? AD y el límite de este período (~1878? AD), el aumento en las concentraciones de los pigmentos fósiles y la presencia de taxones litorales *Cricotopus*, *Parapsectrocladius*, *Apedilum* (Massaferro & Brooks, 2002; Brook *et al.*, 2007) junto con taxones asociado a zonas más profundas, *Riethia* y *Chironomus* sp. 2 (Massaferro *et al.*, 2009; Massaferro & Larocque, 2013) señalarían al igual que en el período anterior, inestabilidad ambiental, con variaciones en las precipitaciones del área. Además durante este tiempo, el aumento en la abundancia de *Polypedilum* taxón que se asocia al desarrollo de vegetación acuática (Vermaire *et al.*, 2013), así como a condiciones cálidas (Brooks *et al.*, 2007; Massaferro & Larocque, 2013) y sumado a la presencia de *Apsectrotanypus* y *Alotanypus* (Brooks *et al.*, 2007; Massaferro *et al.*, 2009; Massaferro & Larocque, 2013; Williams *et al.*, 2016) y a la disminución en el registro del taxón estenotermo frío *Riethia* sugerirían el arribó de condiciones cálidas-secas al área, a partir de ~1728? AD. Adicionando a estos cambios en la composición de quironómidos subfósiles, el aumento en los valores del índice CD/TC que indican un origen autóctono de la MO (Guilizzoni & Lami, 2001) y, los aumentos relativos en las concentraciones de pigmentos fósiles en el registro y durante este intervalo de tiempo sugieren también, un cambio hacia condiciones más productiva en esta laguna (Montes de Oca *et al.*, 2017). Estas interpretaciones coincidiría con el período seco indicado entre 1700-1900 por Bertrand *et al.*, (2005, 2008) y el calido entre 1720-1750 por Villalba (1990). Una disminución en el nivel del agua, en relación a un período de déficit hídrico conjuntamente con la llegada de condiciones más cálidas, permitiría un mayor desarrollo de la zona litoral de la laguna (Scheffer, 2004; Vermaire *et al.*, 2013) y la expansión de la vegetación acuática (ej: *Myriophyllum* sp), así como también una mayor productividad en el sistema.

Tercer Período (18-0 cm/ ~1878?-2012 AD), TLV

Durante este período parecen continuar las condiciones moderadas cálidas y secas que comenzaron a revelarse en la última parte del período anterior. Durante ~1878? AD y 1905 AD, un incremento en la presencia de taxones litorales y afines a ambientes cálidos como *Polypedilum/ Apsectrotanypus* (Brooks *et al.*, 2007b; Massaferrero *et al.*, 2009, 2013, 2014; Araneda *et al.*, 2013; Williams *et al.*, 2016) se asociaría a un incremento en las temperaturas de la región (Barros *et al.*, 2000). Evidencias dendrocronológicas y del estudio de otros *proxies* biológicos lacustres sugieren un intervalo cálido con disminución de las precipitaciones entre ~1849? AD y ~1900 AD (Villalba *et al.*, 1990; Bertrand *et al.*, 2008; Serra *et al.*, 2016) lo cual es coincidente con el registro de quironómidos de este estudio, especialmente durante esta primera parte del período.

Durante los últimos 100 años, transcurrirían condiciones climáticas más cálidas que en el intervalo anterior, sugerido a partir de la llegada del *Labrundinia* taxón estenotópico cálido (Massaferrero & Brooks, 2002; Massaferrero *et al.*, 2009) que se sumaría a la presencia de *Polypedilum*, *Apsectrotanypus* y *Alotanypus* y a la coincidente desaparición de *Paratanytarsus* y drástica disminución de *Riethia*, ambos taxones estenotópicos fríos (Massaferrero *et al.*, 2009; Massaferrero & Larocque, 2013). Luego de 1947 AD, el incremento en el contenido de materia orgánica local, en los sedimentos (valores decrecientes del índice CD/TC) sugeriría también un aumento en el estado trófico de la laguna (mayor productividad). El ensamble conformado por *Riethia/Polypedilum/Apsectrotanypus/Alotanypus* sumado a los valores relativamente altos de MO y pigmentos fósiles (CD, TC) durante sus últimos 100 años, indicarían un estado productivo moderadamente alto (comparado con otros lagos del PNNH) en la laguna Verde, seguramente favorecido por el calentamiento climático global del siglo XX (Neukom *et al.*, 2010). En el noroeste de Patagonia, los registros instrumentales indican durante el período 1970-2010 AD una tendencia negativa en las precipitaciones (Castañeda & González 2008) y un incremento en las temperaturas (0,4 °C en promedio) (Russian *et al.*, 2010; Barrucand *et al.*, 2007), permitiendo sustentar nuestra interpretación sobre el dominio de un período cálido y seco durante los últimos 100 años en el área.

Por otro lado, y luego de la depositación del horizonte de tefra T2 (8 cm) en el registro, la desaparición de *Chironomus* sp. 2 junto al aumento en la abundancia de *Apsectrotanypus* y *Alotanypus* y la presencia *Parapsectrocladius* taxón resistente a pulsos breves de disturbio (Massaferrero & Brooks, 2002) indican un importante cambio ecológico en la laguna que se relacionaría con el impacto extendido de la depositación de tefras

provenientes de los eventos volcánicos 1960-1961 Cordon Caulle Puyehue/Calbuco. *Chironomus* es un taxón que consume material detrítico (Massaferro *et al.*, 2009) su desaparición podría estar relacionado a la limitación en cuanto a disponibilidad de alimento en los sedimentos de fondo causado por la presencia del material exógeno en el sistema. Mientras que la rápida recuperación de *Parapsectrocladius* como también se observa en *Riethia* luego de la depositación de cenizas, permitiría sugerir que tanto *Riethia* como *Parapsectrocladius* se presentarían como taxones resistentes a disturbios breves pero de gran magnitud como la caída de cenizas (Massaferro *et al.*, 2016). Una posible explicación sobre la resistencia del morfotaxón detritivoro *Riethia* (Trivinho-Strixino *et al.*, 2009), sería que el mismo podría beneficiarse con la presencia de este material exógeno suponiendo que o consuma este material igneo o que la presencia del mismo haya favorecido una mayor producción primaria en la laguna, permitiendo el consumo de algas. Por otro lado, en Massaferro *et al.*, (2016) se demuestra que la respuesta del ensamble de quironómidos subfósiles pertenecientes a la laguna Verde, está entrelazada de forma compleja con factores locales como morfología de la cuenca, cobertura vegetal y condiciones hidrológicas locales así como procesos intrínsecos de cada cubeta, dando posible explicación de estos cambios en la laguna. Por otro lado, en los horizontes de tefra fue posible encontrar cápsulas cefálicas de quironómidos, aunque en un número menor comparado con el resto del registro. Esto acordaría con Urrutia *et al.*, (2010), quienes muestran la presencia de procesos de percolación entre las capas de tefra y las capas suprayacentes de sedimento, permitiendo el transporte de las cápsulas cefálicas hacia el interior de las capas de tefra, lo cual podría explicar la presencia de cápsulas cefálicas de quironómidos en los horizontes de tefra. Adicionando el patrón de recuperación de los quironómidos luego de la depositación de las tefras pertenecientes a los eventos volcánicos de 1960-1961 Cordon Caulle Puyehue/Calbuco, se contrapone a los registros de Williams *et al.*, (2016) y Serra *et al.*, (2016), quienes muestran una rápida recuperación en la configuración original de los ensambles de quironómidos y una alta resiliencia del grupo a este tipo de disturbio de gran magnitud y corta duración (Williams *et al.*, 2016; Araneda *et al.*, 2007; Massaferro *et al.*, 2005).

Si bien, no es posible separar y adjudicar los cambios registrados en los últimos 100 años, a una sola forzante. La temperatura, directa o indirectamente, es la principal variable ambiental que afecta la distribución de los ensambles de este grupo de insectos en los sedimentos lacustres (Rossaro, 1991; Walker, 2001). El registro de la laguna Verde aquí analizado coincide con el estado mesotrófico indicado por Zagarese *et al.*, (2000); Rogora *et*

al., (2008); Motta *et al.*, (2012) basados en el estudio químico y contenido de fósforo total en la columna de agua, este estado trófico según el registro de TLV, habría prevalecido desde ~1560 AD.

Adicionando, los factores de tipo local como su ubicación por debajo del *treeline* en un bosque de *Nothofagus*, el carácter endorreico de la cuenca, la presencia de vegetación acuática y los procesos geoquímicos intrínsecos del sistema, fueron variables que seguramente han impactado las comunidades de quironómidos a través del tiempo. La laguna Verde es una cuenca protegida por un denso bosque de *Nothofagus* y a su vez, dentro de la cubeta lacustre encontramos un denso cinturón de la vegetación acuática la cual permite en primer lugar el desarrollo de diferentes comunidades de quironómidos (litorales/profundos), y en segundo lugar otorga una mayor resistencia del ambiente acuático en general a los eventos naturales como caída de cenizas o abruptas variación en las precipitaciones y temperatura, generando hábitats para la biota que amortiguaría los efectos de dichos disturbios (Massaferro *et al.*, 2016). Estos factores locales no han sido considerados en esta Tesis pero seguramente serán tratados en posteriores estudios como posibles forzantes de cambios en las paleocomunidades acuáticas.

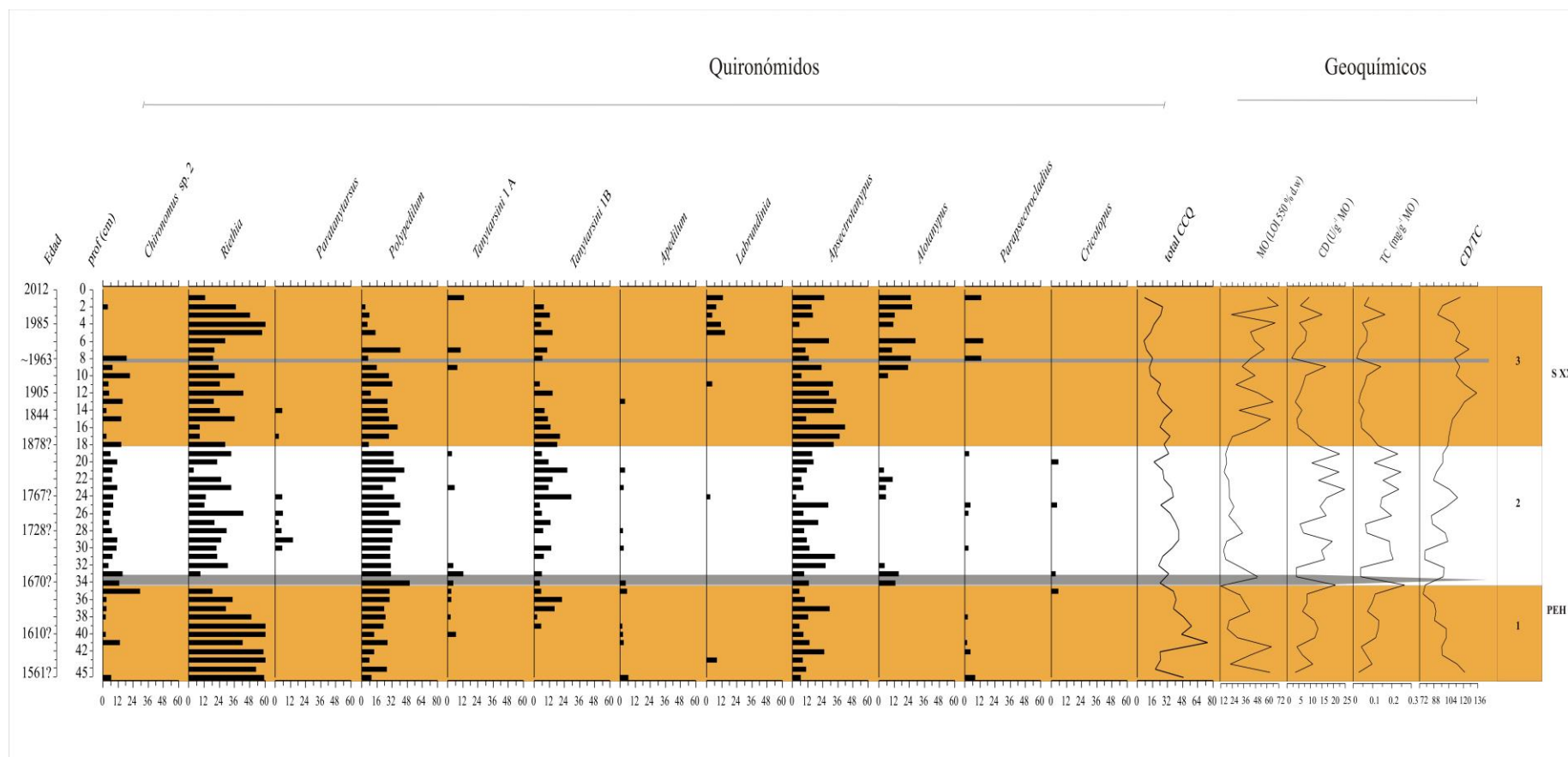


Figura 29. Registro de quironómidos subfósiles, materia orgánica (MO), pigmentos fósiles (CD y TC), TLV. Las líneas grises indican horizontes de tefra (T1 y T2). El sombreado alternante corresponde con los períodos establecidos en TLV, se indican con siglas los últimos períodos climáticos conocidos

Conclusiones, (laguna Verde)

Los ensambles de quironómidos de la laguna Verde, muestran cambios evidentes en su abundancia y composición durante los últimos 500 años. Junto con los registros de pigmentos fósiles y materia orgánica, permitieron reconstruir los cambios tróficos y variaciones en los niveles lacustres. Dichos cambios estuvieron relacionados con la variación hidroclimática de los últimos 500 años en el sector noroeste de Patagonia y por el impacto recurrente de la caída de cenizas proveniente del área chilena; siendo los cambios más evidentes luego del impacto de las erupciones volcánicas proveniente de los volcanes Cordón Caulle/Puyehue/Calbuco de 1960-1961 (Daga *et al.*, 2010). La dinámica ambiental, en la historia más reciente de esta laguna estuvo marcada por la sincronía entre el impacto de las tefras y el calentamiento global climático del siglo XX (Bird *et al.*, 2011). Asimismo, factores del tipo local como su ubicación por debajo del treeline en un bosque de *Nothofagus*, el carácter endorreico de la cuenca, la presencia de vegetación acuática y los procesos geoquímicos intrínsecos del sistema, son factores influyentes en los cambios observados en la biota.

Los análisis de ordenamiento efectuados en base a las abundancias y distribución de taxones de quironómidos a lo largo de TLV, permitieron una interpretación ecológica más sólida sobre los cambios y tendencias tróficas de la laguna Verde. Y relacionaron los cambios en la composición y abundancia del ensamble con las variaciones en MO que ingresa al sistema lacustre.

Laguna Toncek, TLTK

Introducción

Los lagos remotos de altura, localizados en áreas con escaso impacto antrópico son instrumentos que permiten evaluar sensiblemente los efectos del cambio climático (Battarbee *et al.*, 2002; Thompson *et al.*, 2005).

Dentro de la importante variedad de ambientes que se presentan en el área protegida Parque Nacional Nahuel Huapi (PNNH), los ambientes de altura reciben importante atención. Las características particulares de los ambientes lacustres ubicados en la alta montaña y expuestos a condiciones climáticas extremas (exposición a bajas temperaturas, cobertura de hielo y nieve durante los meses de invierno, importante radiación ultravioleta (UV-B), entre otros), naturalmente oligotróficos- ultraoligotróficos, con un mínimo nivel de impacto antrópico, con dimensiones comúnmente pequeñas que permiten una relación estrecha entre la entrada de nutrientes-materia orgánica y su cuenca (Battarbee *et al.*, 2002) y un mayor aporte de material atmosférico (con gran influencia en las características del agua) que los ubicados en altitudes menores (Rizzo, 2007; Rizzo *et al.*, 2010); permiten evaluar la respuesta de los organismos que habitan en ellos a las condiciones extremas que se presentan en altas altitudes (Modenutti *et al.* 2010; Bastidas Navarro *et al.*, 2014), así como la respuesta a la contaminación aportada por la depositación atmosférica y la variabilidad ambiental de los últimos centenares de años (Rizzo, 2007; Daga *et al.*, 2010; Ribero Guevara *et al.*, 2010; Williams, 2012; Massafiero *et al.*, 2016).

Para llevar a cabo la reconstrucción paleoambiental de la laguna de altura laguna Toncek, ubicada al Noroeste de Patagonia, y con el fin de observar los cambios tróficos que registra en respuesta a la variabilidad climática del sector Noroeste. Se estudiaron los restos subfósiles de quironómidos conservados en el testigo sedimentario TLTK. El análisis del registro de quironómidos se complementó con la información obtenida del análisis de pigmentos fotosintéticos fósiles (CD, TC) y materia orgánica (MO), para obtener una

reconstrucción de la dinámica ambiental y comportamiento que tuvo la laguna en un pasado cercano.

Sitio de estudio, laguna Toncek

La laguna Toncek (41°11'S, 71°29'W, 1747 m.s.n.m.) se ubica en el cerro Catedral, dentro del área protegida Parque Nacional Nahuel Huapi (PNNH) (Fig. 30). La cuenca del lago se asienta sobre un *Basamento Cristalino* (Planas, 1996). Las geoformas predominantes son de origen glacial con rocas aflorantes fuertemente fracturadas y deformadas principalmente de granito. La vegetación en este ambiente Altoandino, se caracteriza por la presencia de matorrales de *Nothofagus pumilio*, con límite superior en los semidesiertos de altura (treeline). La vegetación en general es abierta y dispersa con crecimiento de tipo rastrero o en cojín. Se observan especies de alta montaña adaptadas a las condiciones extremas de esta zona como por ejemplo *Nassauvia lagascae* y *Gaultheria pumila*; el clima en la alta montaña es frío y húmedo con precipitaciones que varían entre 1200 a 3500 milímetros anuales; comúnmente durante el período de invierno se observa la caída de intensas nevadas (Mermoz *et al.*, 2000).

La laguna Toncek posee una superficie de 0,05 km² (García *et al.*, 2015) y una profundidad máxima de 12 metros. Es un ambiente somero dimíctico (Díaz *et al.*, 2007; García *et al.*, 2015), alimentado principalmente por las precipitaciones de invierno (Rogora *et al.*, 2008). Permanece bajo nieve y hielo durante al menos 6 meses al año y presenta estratificación directa en verano (García *et al.*, 2015). El Arroyo VanTitter nace en esta laguna. La escasa vegetación circundante define en gran medida las características de esta laguna (Bastidas Navarro *et al.*, 2014). La laguna fue clasificada como ultraoligotrófica por Díaz *et al.*, (2007). Las concentraciones de fósforo (7,0µg/L) y nitrógeno total (175,8µg/L) son muy bajas (García *et al.*, 2015). Díaz *et al.*, (2007) registraron concentraciones bajas de clorofila a (0,6 µg/L). Mientras que Bastidas Navarro *et al.*, (2014) indicaron una biodiversidad baja del bacterioplancton. No se registran peces en esta laguna, pero si la presencia de *Alsodes gargola* una rana adaptada a vivir bajo el hielo (Logares & Úbeda, 2004). Las agujas de granito de más de 2.500 metros de altura que se presentan alrededor de la laguna y así como la presencia del refugio de montaña “Refugio Frey”, instalado en el

borde norte de la laguna desde 1957, atraen a centenares de escaladores y turistas. En los últimos 20 años el PNNH, registró un incremento notable en las cantidad de visitantes y acampantes principalmente durante a temporada de verano (Uso Publico, PNNH).

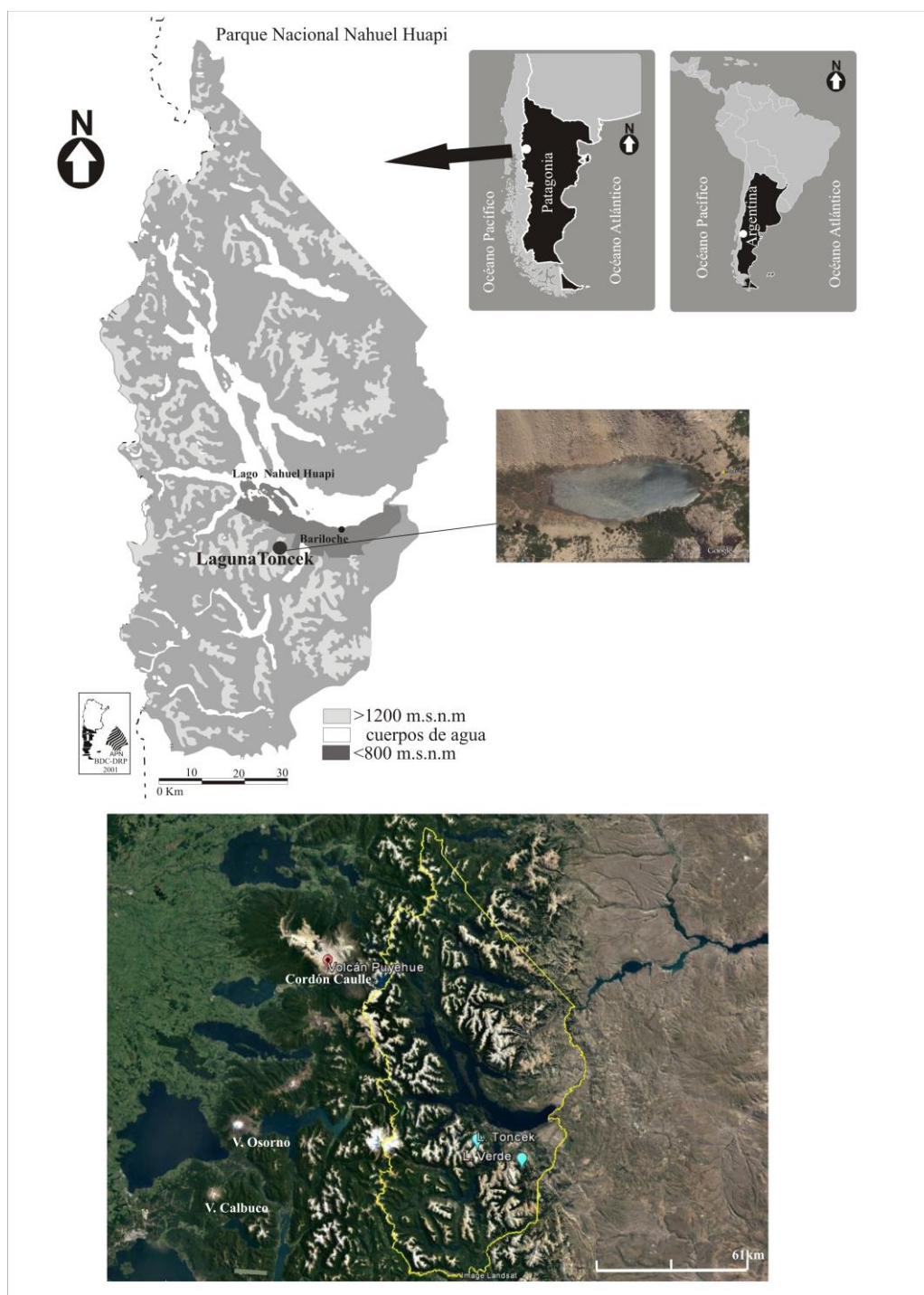


Figura 30. Sitio de estudio, laguna Toncek.

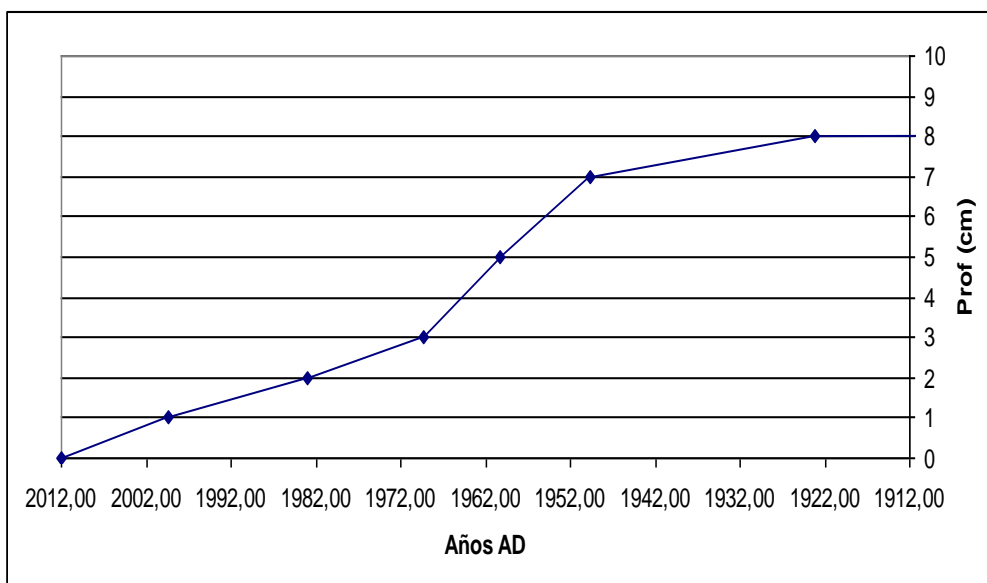
Descripción de los resultados, testigo sedimentario TLTK

Sobre el testigo TLTK, además del registro de quironómidos se realizaron análisis de pigmentos particulares (derivados de clorofila-CD, total de carotenoides-TC) y materia orgánica (MO) (Montes de Oca *et al.*, 2017), dicha información fue integrada en la reconstrucción de la historia ambiental de la Laguna Toncek.

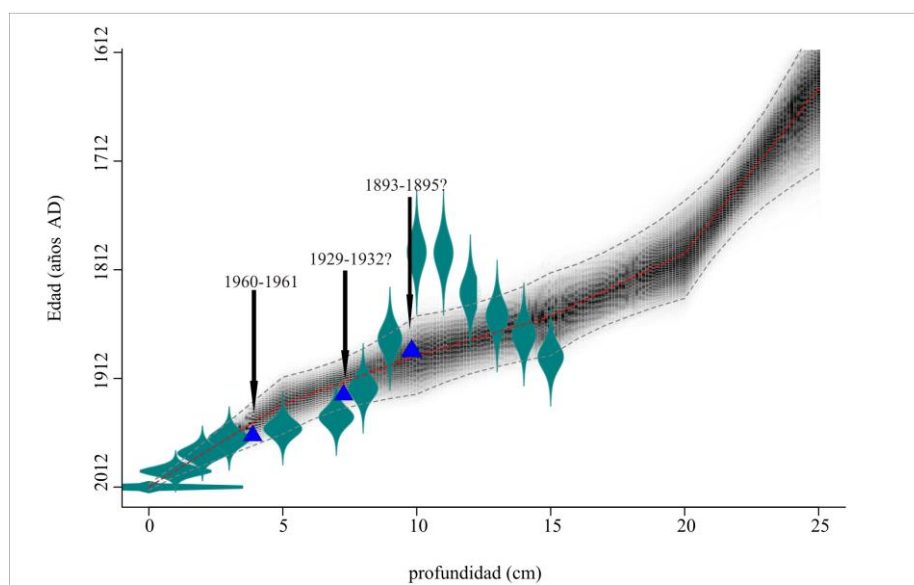
A continuación se describen en primer término, los resultados obtenidos del fechado de los sedimentos efectuado por el método de ^{210}Pb y del modelado de la tasa de sedimentación (BACON) (ver Metodología, sección Dataciones) continuando, con los resultados obtenidos del análisis del contenido de MO, CD y TC y finalizando luego, con los resultados del análisis del registro subfósil de quironómidos.

Cronología, TLTK

El fechado de los sedimentos de TLTK a partir del método ^{210}Pb , permitió asignar edades a los sedimentos confiables por encima del nivel 9 cm, nivel con edad asignada en 1877 ± 11 años AD. (Fig. 31 a). Por debajo de ese nivel y a partir de la construcción del modelo de edad profundidad BACON se asignó fechas tentativas, posteriores al ~1891 AD (Fig.31 b) para los sedimentos más profundos. La tasa de acumulación sedimentaria (TAS) obtenida a partir del modelo basado en el método ^{210}Pb , fue constante (0,9 mm/año) desde 1891 AD hasta el presente. Mientras que las diferentes TAS indicada por el modelo BACON indicó un aumento en los valores de 0,03 mm/año a 0,14 mm/año entre los niveles 25 y 15 cm (~1644?-1855? AD), decreciendo luego hasta 0,07 mm/año en los sedimentos recientes (Tabla 6). La capa de tefra ubicada en los sedimentos más recientes (T3, 5-4 cm), fue empleada como información adicional permitiendo corroborar la robustez del modelo de edad profundidad BACON.



a)



b)

Figura 31 Fechado de los sedimentos de TLTK, basado en el método ^{210}Pb (a) y empleando el programa BACON (b). Las Flechas y triángulos indican la posición de las tefras (T1, T2 y T3).

El testigo sedimentario de la laguna Toncek, TLTK, mostró una composición de mayormente *gyttja* (sedimento formado por la mezcla de partículas de materia orgánica, precipitaciones inorgánicas y material mineralizado (Wetzel, 1981) de color marrón claro intercalado con horizontes de tefra (10 cm, 8-7 cm y 5-4 cm).

En general, el contenido de Materia Orgánica (MO) y pigmentos fósiles (CD, TC) se mantuvo en valores relativamente bajos a lo largo de todo el registro y si se lo compara con el registro de la laguna Verde. El contenido de MO osciló entre 10 y 12 % d.w. Presentó un patrón de disminución entre ~ 1768? AD (21 cm) (9.14 % d.w.) y ~ 1821 AD (18 cm) (8.14 % d.w.), con un pico en 1927 AD (~ 16 % d.w.) y un incremento leve (13.5 % d.w.) en los sedimentos recientes. En general el perfil del contenido de CD fluctuó entre valores de 15 y 2 U/g OM y el de TC se mantuvo en valores cercanos a 0,1 mg/g OM; con un único pico en las concentraciones cerca de 1982 AD (2 cm) (42 U/g OM y 0,14 mg/g OM, respectivamente). Mientras que el índice CD/TC decreció gradualmente de 696 unidades en ~1705? AD (23 cm) a 212 unidades en ~ 1821? AD (18 cm); a partir de donde comenzó a incrementar nuevamente hasta llegar a valores próximos a 320 unidades en ~1870? AD. En 1917 se registró un valor mínimo de 187,7 unidades y un máximo de 390 unidades en 1966 AD (Fig. 32) .

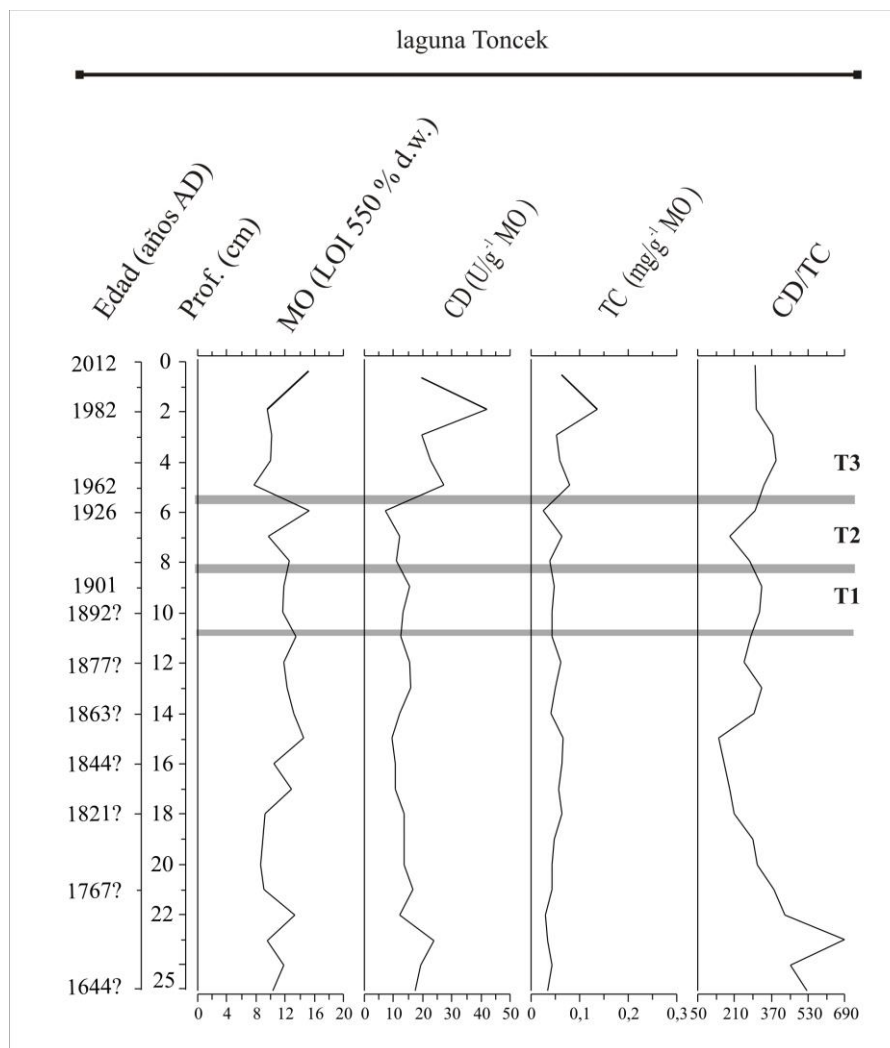


Figura 32. Perfiles estratigráficos del contenido de derivados de clorofila (CD), total de carotenoides, (TC), materia orgánica (MO) e índice CD/TC de TLTK. Las líneas grises indican horizontes de tefra (T1, T2 y T3)

Análisis de los quironómidos subfósiles, TLTK

Se hallaron un total de 1226 cápsulas cefálicas de quironómidos (CCQ), reunidas en 10 morfotaxones (Fig. 33). El número de CCQ osciló entre valores de 27 y 85 cápsulas en el intervalo ~1644? AD-1870 AD (25-13 cm), con un mínimo de 12 CCQ en 1821? AD (18 cm). Desde 1870? AD y hasta el presente los valores se mantuvieron cercanos a 43 CCQ.

Hasta ~1900 AD la paleocomunidad de quironómidos estuvo representada por *Pseudosmittia* (45%), *Apsectrotanypus* (30 %), *Parochlus* (20%), *Podonominae* (15%) y *Paralimnophyes*. *Cricotopus* mantuvo abundancias cercanas al 15% con un leve incremento

(33%) en 1821 AD. *Parakiefferiella*, *Parapsectrocladius* y *Eukiefferiella* se presentaron de manera ocasional siempre en baja abundancias (<10%). Aunque *Eukiefferiella* tuvo una presencia más frecuente entre 1844? AD y ~1900 AD. Luego de 1870? AD desapareció *Podonomomus*, seguido por *Parakiefferiella*, *Paralimnophyes* y *Eukiefferiella* luego del ~1900 AD. Mientras que *Parapsectrocladius* (~40%) y *Apsectrocladius* (~35%) incrementaron su presencia entre ~1900 AD y el presente. Contrario a *Pseudosmittia* y *Parochlus* quienes disminuyeron su presencia en los sedimentos recientes. Adicionalmente, se observó una disminución en el número de CCQ coincidentemente y en relación a la presencia del horizonte de tefra más reciente (5-4 cm).

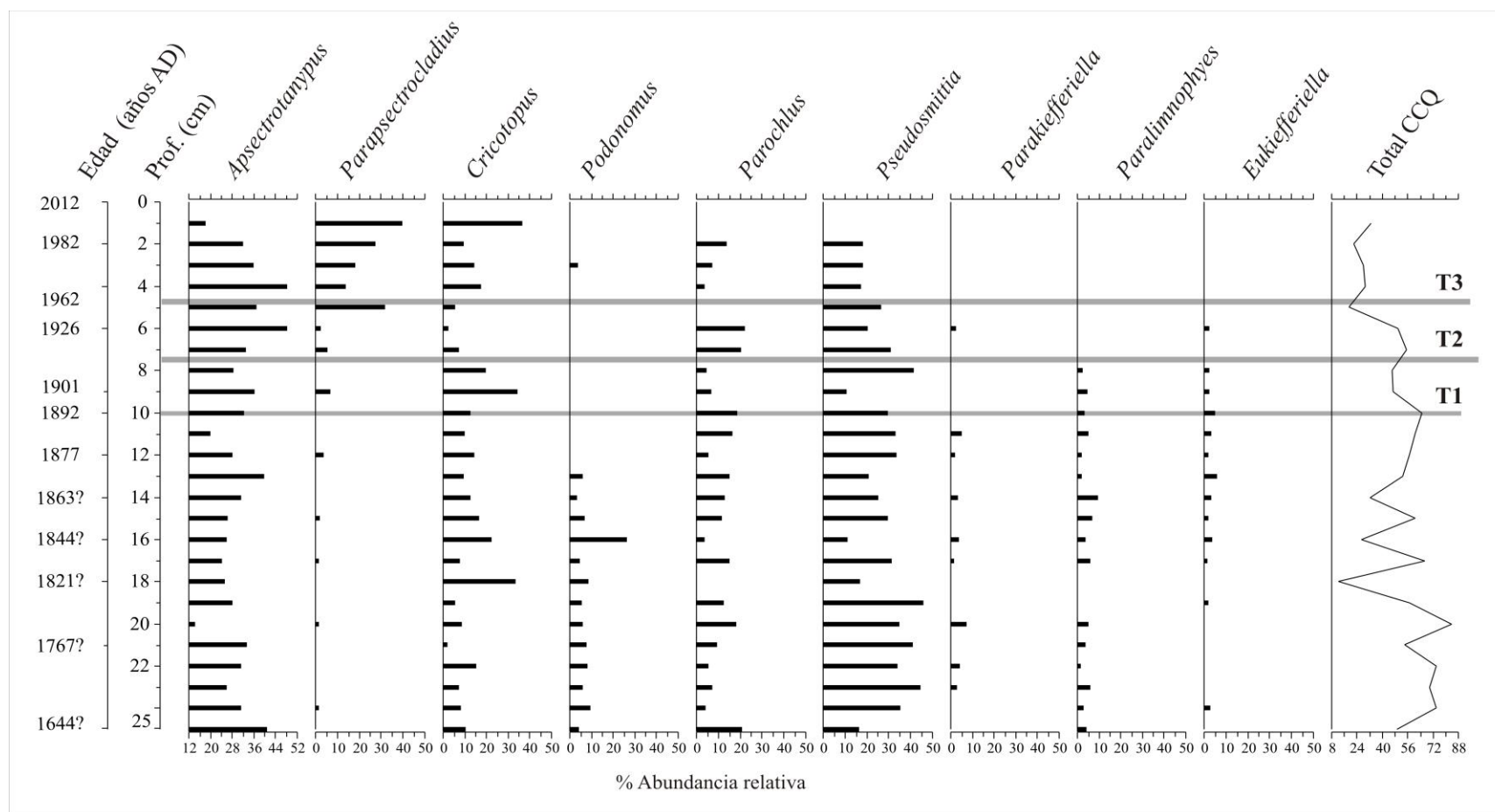


Figura 33. Ensamble de quironómidos subfósiles presentes en el testigo TLTK. Las líneas grises indican horizontes de tefra (T1, T2, T3)

El análisis cluster jerárquico aglomerativo basado en las abundancias relativas de quironómidos sumado a un análisis de significancia, modelo Broken Stick (BS), indicó 2 agrupamientos significativos con límite 1960 AD (nivel 5 cm) (Fig. 34); la desaparición de varios taxones (ej: *Paralimnophyes*, *Parakiefferella*) y los cambios en las abundancias relativas de *Pseudosmittia*, *Apsectrotanypus* y *Parapsectrocladius* parecen marcar los agrupamientos.

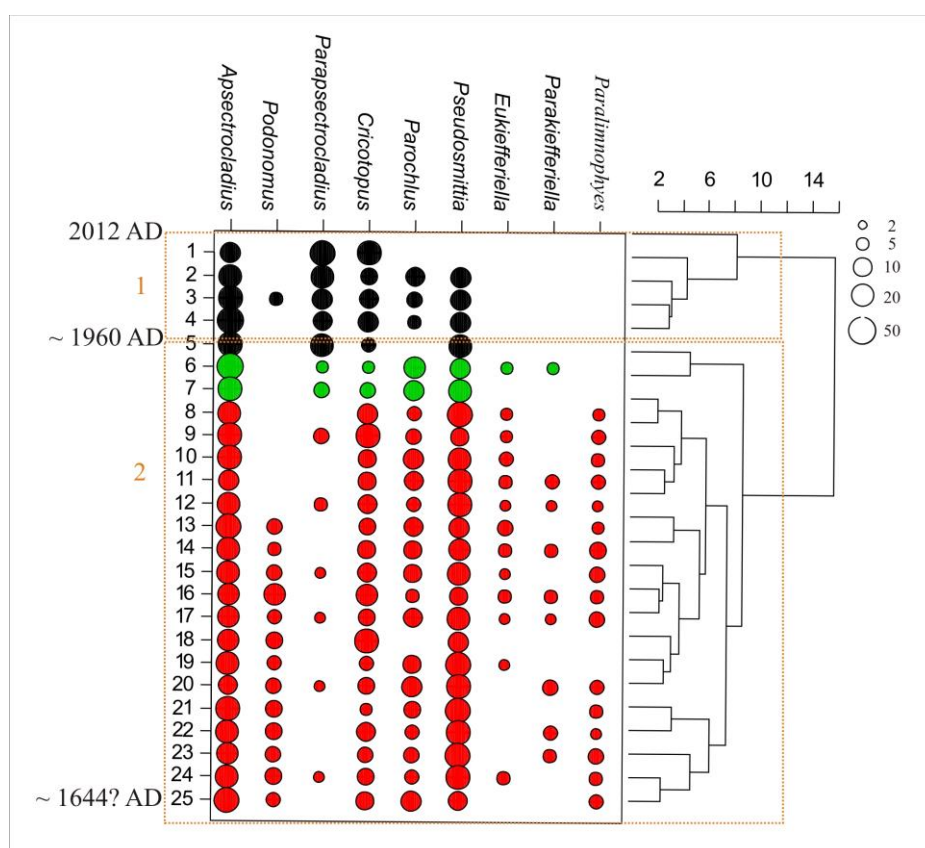


Figura 34. Dendrograma del análisis de agrupamiento. Los círculos en distintos tamaño corresponden a las abundancias relativas de cada taxón en cada nivel y los colores, las “posibles” agrupaciones. Las agrupaciones significativas fueron indicadas con un rectángulo. Indicando además las fechas de los límites de cada agrupación

El análisis exploratorio de Correspondencia sin tendencia (DCA) efectuado para el registro de quironómidos obtuvo un gradiente <2 , indicando la linealidad de la distribución del ensambles y recomendando un análisis multivariado lineal (RDA).

El análisis de Redundancia (RDA) con las variables ambientales seleccionadas en el análisis exploratorio previo (PCA), indicó que un 37,1 % (Tabla 7) de la variabilidad en la composición del ensamble de quironómidos de TLTK, se asocia a las variables seleccionadas; el primer eje RDA 1 explicó el 10 % de la variabilidad observada y estuvo correlacionado con los pigmentos fotosintéticos fósiles (CD y TC) relacionados con la productividad primaria del sistema (Fig. 35).

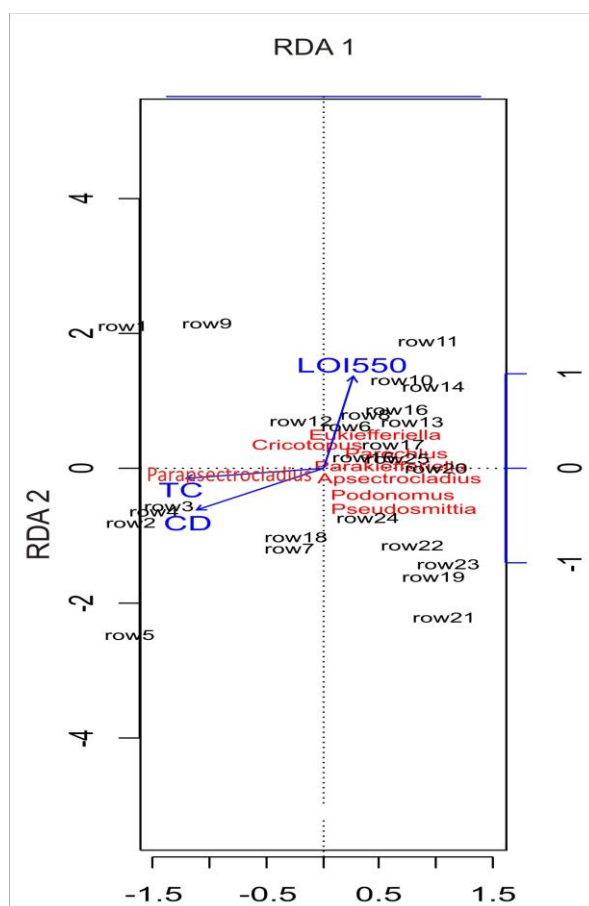


Figura 35 Análisis de Redundancia (RDA). En rojo se indican los taxones de quironómidos subfósiles del testigo TLTK, en negro los diferentes niveles o centímetros del testigo (por ej: row 22) y en azul las variables geoquímicas asociadas a la composición del ensamble de quironómidos subfósiles.

Por otro lado, los perfiles “scores” o puntuaciones PCA1 y PCA2 para la composición de quironómidos se mantuvo oscilante hasta ~1917 AD, a partir de esa fecha y hasta el presente se observa una tendencia creciente positiva en los valores. Mientras que el perfil PCA1 de los indicadores geoquímicos se mantuvo relativamente constante hasta 1917 AD, a partir de esa fecha varió desde -2 hasta 2 unidades DS en 1982 AD (Fig.36).

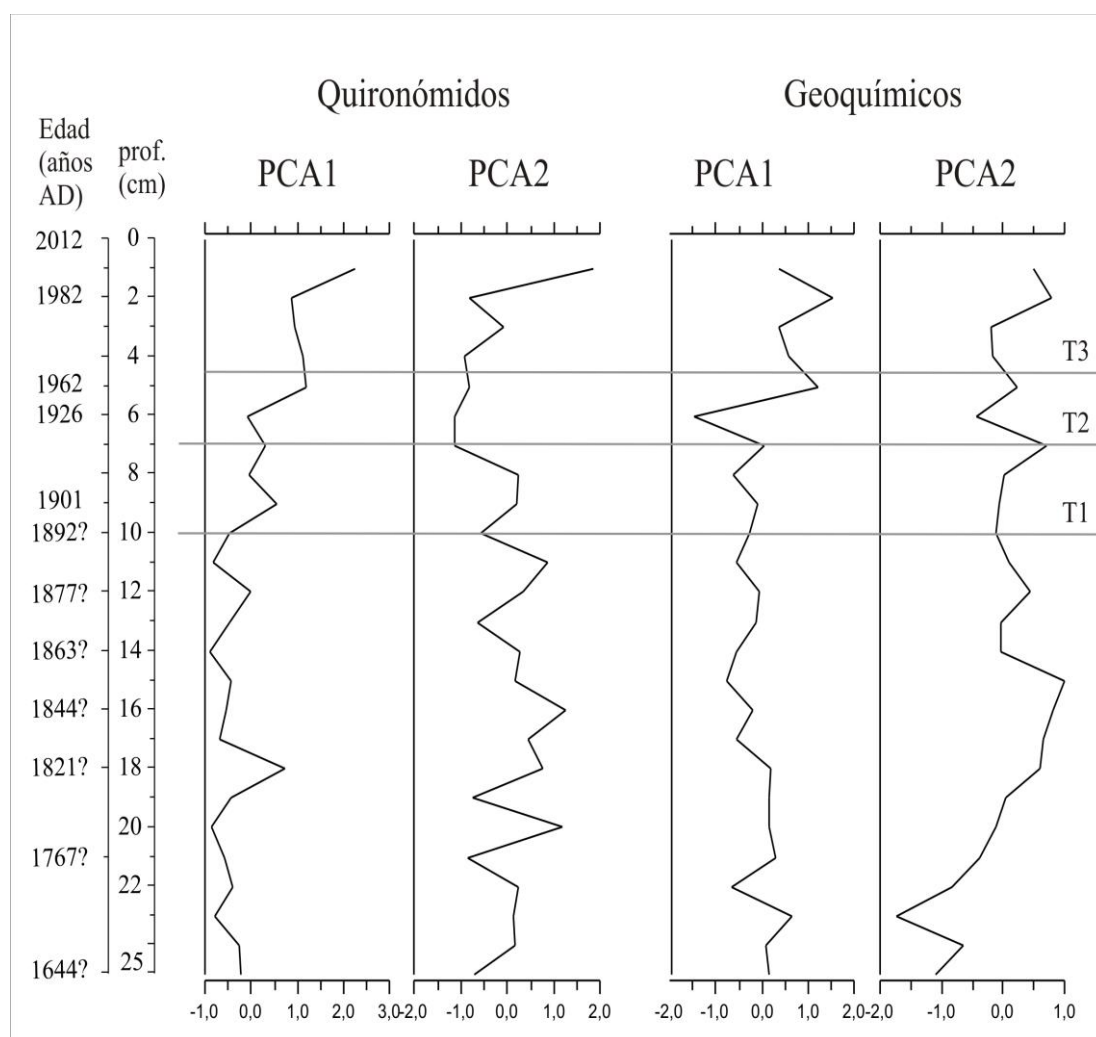


Figura 36 Perfiles de puntuación “scores” otorgados en análisis de Componentes Principales (PCA) para el ensamble quironómidos subfósiles y las variables CD, TC y MO de TLTK.

Discusión, reconstrucción de la historia ambiental de la laguna Toncek

El registro subfósil de quironómidos de la laguna Toncek junto al de pigmentos fósiles (CD y TC) y el contenido de MO, permitieron reconstruir la evolución ambiental de los últimos ~350 años de historia de la laguna; y en respuesta a una combinación de forzantes ambientales (climática/procesos intrínsecos/antrópico). La historia ambiental de la laguna Toncek, contenida en la secuencia sedimentaria analizada, TLTK, se describe en 2 períodos basados en los resultados obtenidos del análisis de agrupamiento (Fig. 37)

Este registro al igual que en la laguna Verde, presentó importante incertidumbre en la cronología de los sedimentos por debajo del nivel 10 cm, por ello los cambios ocurridos con fecha anterior al 1900 AD fueron asignados tentativamente. También se destaca en este registro, una baja actividad del radioisótopo ^{210}Pb que acuerda con los registros de Patagonia Norte (Ribeiro Guevara *et al.*, 2003).

La fecha indicada por el método ^{210}Pb en el nivel 5 cm (1960 años AD) y la información tefrocronológica detallada que brindan Daga *et al.*, (2010) sobre las tefras contenidas en un testigo sedimentario extraído en esta misma laguna (TK=70 cm); permitieron asociar la capa de tefra (T3) ubicada en los sedimentos más recientes (5-4 cm), a las erupciones volcánicas del complejo volcánico Cordón Caulle Puyehue (Chile) y volcán Calbuco (Chile), ocurridas en 1960-1961 y emplear las mismas como información adicional que permitió además, comprobar la robustez del modelo de edad-profundidad BACON (Montes de Oca *et al.*, 2017). Así mismo, se asoció las restantes tefras T1 y T2, a los eventos volcánicos Cordón Caulle Puyehue (CCP) Calbuco (C) ocurrido en 1895? AD y 1929-1932? AD respectivamente (Daga *et al.*, 2010).

Primer Período (25-5cm/~1644?-1960 AD), TLTK

El ensamble conformado por taxones estenotópicos fríos *Pseudosmittia* y *Parochlus* (Massaferro & Brooks, 2002; Massaferro & Larocque, 2013), que se presenta a lo largo de este primer período indicarían condiciones mayormente frías, al menos hasta ~1870? AD, fecha en la que comienzan a desaparecer los taxones ultra estenotópico fríos, *Podonomus*

seguido por *Parakiefferiella* y *Paralimnophyes* (Massaferro *et al.*, 2009). El ensamble conformado por *Pseudosmittia*, *Apsectrotanypus*, *Parochlus* y *Cricotopus* junto a una abundancia total de cápsulas cefálicas de quironómidos mayor de 45 CCQ indicaría que en ~1644? AD la laguna se presentaría ya como un ambiente somero. La presencia de taxones asociados a aguas frías sumado a los valores altos en el índice CD/TC, entre ~1644? AD y 1821? AD, que indican una mayor contribución de materia orgánica alóctona en los sedimentos (Lami *et al.*, 2000) y la frecuente presencia del taxón exclusivo lótico *Eukiefferiella* (Cranston, 2000) podría asociarse a un intervalo de mayores precipitaciones en el área. Esto coincidiría al igual que en el registro de la laguna Verde, con las condiciones frías y húmedas interpretados entre ~1700 y ~1830 según el registro dendrocronológico, que indica una importante expansión del glaciar Río Manso (Masiokas *et al.*, 2010) asociado al transcurso del período climático conocido como la Pequeña edad de Hielo (PEH) en el sector Noroeste de Patagonia (Bertrand *et al.*, 2005, 2008; Villalba *et al.*, 2001; Serra *et al.*, 2016). Adicionalmente la co-ocurrencia de taxones litorales como *Cricotopus* (Brooks *et al.*, 2007) con aquellos que habitan zonas más profundas como *Podonomus* (Montes de oca *obs. pers.*) soportaría la interpretación de un intervalo climático frío con mayor escorrentía. Otra interpretación posible de la coexistencia de estos morfotipos podría ser explicado por una mayor exposición de este ambiente a los vientos predominantes del Oeste y precipitaciones, debido a su ubicación en altura y su escasa vegetación circundante (Massaferro *et al.*, 2016). Por otro lado, la desaparición del taxón estenotópico frío *Podonomus* (Massaferro *et al.*, 2009) alrededor del 1870 AD, marcaría una disminución en las condiciones frías, mientras que la desaparición de *Eukiefferiella* hacia el 1900 AD, coincidiría con la disminución en las precipitaciones del área. Esto podría a su vez estar relacionado con un intervalo con disminución de las precipitaciones entre ~1849? AD y ~1900 AD, como sugieren los registros dendrocronológicos y de otros *proxies* biológicos lacustres estudiados en el PNNH (Villalba *et al.*, 1990; Bertrand *et al.*, 2008; Serra *et al.*, 2016).

Adicionalmente, durante este primer período también se registra el impacto de la depositación de cenizas volcánicas en la cubeta lacustre, asociadas a los eventos volcánicos de 1893-1895?, 1929-1932? y 1960-1961 del complejo Córdon Caulle Puyehue/ Calbuco (Daga *et al.*, 2010). El cambio más notorio post-cenizas se registra luego de la depositación de las tefras más recientes (1960-1961) y está evidenciado por el incremento de *Parapsectrocladius* y por una disminución en el número total de cápsulas cefálicas de quironómidos. Al igual que en el registro de la Laguna Verde, *Parapsectrocladius* se presentaría como un taxón resistente

a pulsos breves de disturbio (Massaferro & Brooks, 2002) indicando un cambio ecológico en la laguna. La rápida recuperación que presentaría *Parapsectrocladius* (Massaferro & Brooks, 2002) habría permitido que sobreviviera en un ambiente con disponibilidad de alimento limitada, en los sedimentos de fondo por la presencia del material exógeno en el sistema. Adicionalmente y coincidente con el registro de la laguna Verde, en las capas de tefra fue posible encontrar cápsulas cefálicas de quironómidos, aunque en un número menor comparado con el resto del registro; acordando también con Urrutia *et al.*, (2010), quienes muestran la presencia de procesos de percolación entre las capas de tefra y las capas suprayacentes de sedimento, relacionando estos procesos con la presencia de cápsulas cefálicas de quironómidos en los horizontes de tefra.

Segundo Período (5-0cm/1960-2012 AD), TLTK

El inicio de este último período estuvo marcado por la depositación de las cenizas volcánicas asociadas a los eventos de 1960-1961 del complejo Cordon Caulle Puyehue/ Calbuco (Daga *et al.*, 2010) así como a una mejora en las condiciones climáticas del área. La ausencia de taxones exclusivos de aguas frías y el leve incremento de *Apsectrotanypus* y *Cricotopus* taxones estenotópico cálidos (Massaferro & Brooks, 2002; Massaferro *et al.*, 2009) marcan el inicio de un período cálido, coincidente con los registros instrumentales que indican una tendencia negativa en las precipitaciones y un incremento en las temperaturas del sector Noroeste de Patagonia (0,4 °C en promedio) a partir de 1970 hasta el presente (Barrucand *et al.*, 2007; Castañeda & González 2008; Masiokas *et al.*, 2009; Russian *et al.*, 2010, Veblen *et al.*, 2011). Al igual que en la laguna Verde, en la laguna Toncek el patrón de recuperación de los quironómidos luego del impacto de las tefras pertenecientes a los eventos volcánicos de 1960-1961 Cordon Caulle Puyehue/Calbuco, se contrapone a los registros de Williams *et al.*, (2016) y Serra *et al.*, (2016), quienes muestran una rápida recuperación en la configuración original de los ensambles de quironómidos y una alta resiliencia del grupo luego del impacto de tefras.

Durante los últimos ~45 años de historia ambiental de esta laguna se evidencia un aumento leve en los contenidos de pigmentos fósiles (CD y TC) y MO, pero más marcado luego de 1982 AD; sumado a la disminución en el índice CD/TC que se asocia a una

producción local de la MO (Lami *et al.*, 2000), estos registros indicarían un aumento en la productividad de la laguna. Sugiriendo un cambio en el estado trófico, hacia uno levemente más productivo. Considerando además, que esta laguna se ubica en el ambiente alto andino con escasa vegetación en su cuenca y un entorno rocoso, permitiría indicar una mayor contribución de MO asociado a la productividad primaria en la laguna (Battarbee, 2002). Además, el origen glacial de este lago y su baja productividad conducen a la preservación de los pigmentos fósiles y la materia orgánica. De hecho, una baja relación CD/TC indica un excelente estado de conservación y equilibrio de estos pigmentos en los sedimentos que podrían estar vinculados a la productividad autóctona (Guilizzoni & Lami 2002). Cabe destacar además, que la ubicación de esta laguna en la alta montaña, su escasa vegetación circundante, su hidrológica altamente dependiente de las precipitaciones locales y los procesos intrínsecos del sistema lacustres son otras forzantes a tener en cuenta, en el análisis de los cambios.

Aunque la laguna Toncek ha sido definida como ultraoligotrófica por Díaz *et al.*, (2007), el registro en los sedimentos más recientes, a partir de 1960 AD, indican un cambio en ese estado hacia uno con mayor productividad; este estado puede estar relacionado con el aumento en la temperatura relacionado con el calentamiento climático global del siglo XX y por el hecho que en los últimos 20 años se registra un incremento en la actividad turística del área. En efecto, en los últimos 20 años el PNNH ha experimentado un aumento pronunciado en el número de visitantes a más de 10.000 turistas por año (departamento de Uso Público, PNNH, 2015). Y particularmente el área de la laguna Toncek con un refugio de montaña instalado en su costa norte recibe a centenas de visitantes (caminantes y escaladores) que hacen uso del área, mayormente en la época de verano. El refugio Frey, ofrece una variedad de servicios permitiendo a los visitantes que llegan allí, pernoctar o hacer uso del área durante el día. Esta importante presencia humana en el área de la laguna Toncek, podría vulnerar algunas de sus características. Por otro lado, si bien los efectos del calentamiento global del siglo XX aún no son completamente comprendidos para los ambientes acuáticos en cuanto a aspectos limnológicos, redes tróficas y calidad de agua (Wolfe *et al.*, 2013), se conoce que este calentamiento climático puede incrementar la productividad de los lagos via alteración de los ciclos de nutrientes y regimenes de estratificación térmica o prolongando los meses con mayor actividad biológica (Mills *et al.*, 2016). Estos efectos podrían ser más evidente en los lagos de altura, como la laguna Toncek.

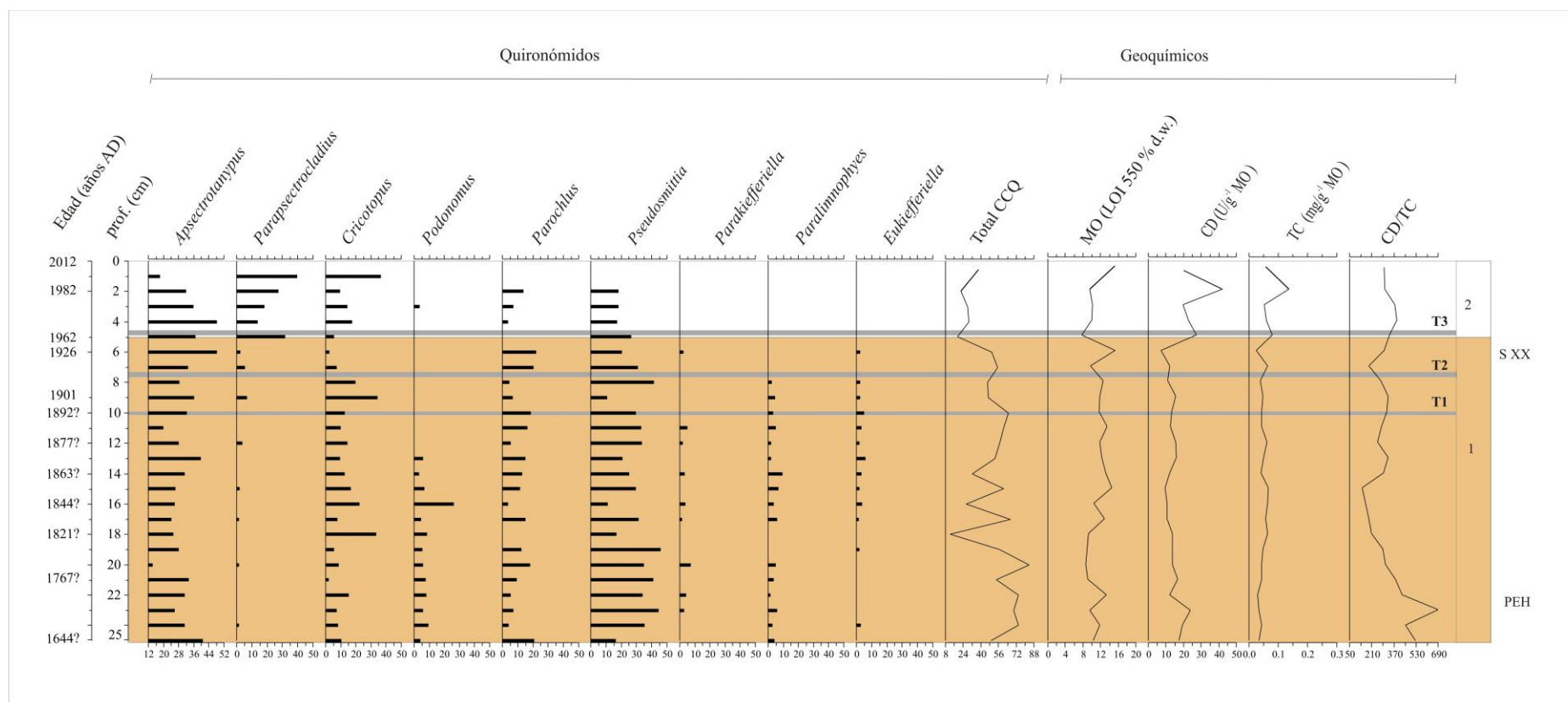


Figura 37. Registro de quironómidos subfósiles, MO, pigmentos fósiles (CD y TC) de TLTK. Las líneas grises indican horizontes de tefra (T1, T2 y T3). El sombreado alternante corresponde con los períodos establecidos en TLTK, se indican con siglas los últimos períodos climáticos conocidos

Conclusiones (laguna Toncek)

Los ensambles de quironómidos de la laguna Toncek, muestran cambios evidentes en su abundancia y composición durante los últimos 500 años aproximadamente. Junto con los registros de pigmentos fósiles y materia orgánica permitieron reconstruir los cambios tróficos y variaciones en el nivel de agua de esta laguna. Estos cambios ambientales estuvieron relacionados con la variación hidroclimática que registró el sector noroeste de Patagonia durante los últimos 500 años aproximadamente. Al igual que en la Laguna Verde los cambios más evidentes ocurrieron luego del impacto de las erupciones volcánicas del sector chileno en 1960-1961. La dinámica ambiental, en la historia más reciente de esta laguna estuvo marcada por la sincronía entre el impacto de las erupciones volcánicas proveniente de los volcanes Cordón Caulle Puyehue/Calbuco de 1960-1961 (Daga *et al.*, 2010) y el calentamiento global climático del siglo XX (Bird *et al.*, 2011). Esto mismo dificulta desglosar las respuestas de las paleocomunidades a cada forzante. Además, en la laguna Toncek, el aumento en las actividades turísticas de los últimos 20 años se suma a la combinación de forzantes.

Los análisis de ordenamiento efectuados en base a las abundancias y distribución de taxones de quironómidos a lo largo del testigo TLTK, permitieron una interpretación más sólida en términos de trofia. Y relacionando las variaciones en la composición y abundancia del ensamble con los cambios en la productividad de este sistema.

Finalmente, en la laguna Toncek al igual que se reporta para la Laguna Verde, factores locales como la ubicación de la laguna por encima de la línea de vegetación arbórea, su hidrológia altamente dependiente de las precipitaciones locales así como los procesos biogeoquímicos activos del sistema, serían factores influyentes en los cambios observados en la biota

DISCUSIÓN GENERAL

Contraste climático a un lado y otro de la DA

Los registro quironómidos subfósiles de los ambientes estudiados evidenciarían durante el último milenio, diferencias en la relación precipitación/evaporación, a un lado y otro de la DA.

Período climático frío, Pequeña Edad de Hielo (PEH)

Durante el período frío, conocido como Pequeña Edad de Hielo (PEH), en la laguna La Barrancosa ubicada por encima de la DA, al suroeste de la Provincia de Buenos Aires, se evidenciaría alrededor del 1400? AD un mayor desarrollo de la zona limnética (o contracción de su superficie cubierta por agua), indicado por la presencia del morfotaxón litoral *Procladius*, que además presenta cierta resistencia bajo condiciones extremas y cambiantes (Massaferro *et al.*, 1991; Montes de Oca *et al.*, *en preparación*). Este registro es coincidente con el balance hídrico fuertemente negativo (precipitación < evaporación) que habría dominado hasta 1870-1880, en el centro y centro norte del país y que habría promovido una reducción en la superficie de las lagunas cubierta por agua (contracción) durante el transcurso de PEH (Piovano *et al.*, 2002, 2009; Laprida & Valero Garcés, 2009, Laprida *et al.*, 2009; Guerra *et al.*, 2015). La baja productividad que se registra en La Barrancosa durante este período seco, estaría relacionado con una mayor salinidad en el ambiente, indicado por la sola presencia de *Procladius* y el aumento en las poblaciones de *Limnocythere solum?* directamente asociado con aguas cloruro - sódico (Plastani, 2016). Esta situación coincide la interpretación de Cordoba *et al.*, (2014) quienes realizan una reconstrucción paleohidrológica de la laguna del Monte (suroeste de Buenos Aires) e indican una baja producción primaria en la laguna (hacia 1870 AD) relacionada con el dominio de aguas altamente salinas y alcalinas asociado al transcurso de PEH en esa laguna.

En contraposición, durante PEH, los ambientes estudiados en el Noroeste de Patagonia, Laguna Verde y Toncek ubicados por debajo de la DA, evidenciarían una dilatación o expansión de la superficie cubierta por agua en relación a condiciones húmedas y frías. Esta situación es evidente por la dominancia de los taxones fríos y profundos *Podonomus*, *Parochlus*, *Pseudosmittia*, *Riethia* y *Chironomus* sp 2 (Massaferro & Brooks, 2002; Guilizzoni *et al.*, 2009; Massaferro & Larocque, 2013; Williams *et al.*, 2016) y por los altos valores en el índice CD/TC y MO que demuestran un ingreso mayor de materia orgánica alóctona a cada sistema, durante ~1670 AD en la Laguna Verde y ~1870 AD en Laguna Toncek, sugiriendo un incremento en las precipitaciones del área. Estos resultados coinciden parcialmente con los registros dendro-geomorfológicos y de otros *proxies* biológicos (diatomeas, polen) que muestran un balance hídrico positivo (precipitación>evaporación) en los ambientes del noroeste patagónico (Rabasa *et al.*, 1985; Villalba, 1990; Villalba *et al.*, 1997; Aristegui *et al.*, 2007; Masiokas *et al.*, 2009, 2010; Rabassa, 2010; Bianchi & Aristegui, 2012; Serra *et al.*, 2016) indicado por un mayor desarrollo del bosque húmedo dominado por especies de *Nothofagus* (Villalba, 1990; Masiokas *et al.*, 2010) y la expansión de los mantos de hielo de los glaciares Frias y Tronador, entre ~1490 AD y ~1660 AD, vinculado al transcurso del período climático frío PEH (Rabassa *et al.*, 1985; Villalba *et al.*, 2001; Bertrand *et al.*, 2005, 2008). Y particularmente, los registros de ambas lagunas (Verde y Toncek) coinciden con otros registros de quironómidos, donde se indica un mayor desarrollo de las comunidades estenotópicas frías durante el período 1500-1700 AD (Williams *et al.*, 2016) y con los estudios multiproxy de secuencias sedimentarias lacustres de Guilizzoni *et al.*, (2009) y Serra *et al.*, (2016). En estos estudios se infiere un período húmedo asociado a PEH (~1790 AD), a partir del aumento en las abundancias de taxones litorales/semiterrestres, por un incremento en la esorrentía derivado del incremento en las precipitaciones en el área y una baja descarga de sedimentos glaciales y baja productividad en los ambientes lacustres que estudiaron.

La interpretación acerca de la productividad de las lagunas, durante el período PEH no es demasiado clara debido a que los ambientes presentan en sus sedimentos diferencias en los perfiles de los contenidos de derivados de clorofila (CD) y de carotenoides totales (TC); dichas diferencias podrían estar relacionadas en parte con la ubicación geográfica, las características limnológicas que presenta cada cuerpo de agua, morfología, tipo cuenca, así como por el dominio de condiciones frías, que por un lado podría reducir la actividad biológica en cada ambiente y por otro lado variar los ingresos de MO alóctono a cada sistema.

Variabilidad ambiental de los últimos 100 años.

El mejoramiento climático posterior a 1880 AD caracterizado por un balance hídrico fuertemente positivo (precipitación > evaporación) en el centro y centro norte del país, permitieron dar un carácter somero permanente a muchos ambientes lacustres de la región pampeana principalmente hacia 1970 (Diovisalvi *et al.*, 2015; Deschamps *et al.*, 2013; Cordoba *et al.*, 2014) y en relación al *Salto climático del Siglo XX* (Barros *et al.*, 2000; Piovano *et al.*, 2004; Podesta *et al.*, 2009). Este balance hídrico positivo sería evidenciado en el registro de la laguna La Barrancosa por la desaparición de *Smittia*, taxón típicamente semiterrestre o supralitoral (Armitage *et al.*, 1995; Delettre, 2000); así como un mayor desarrollo de sedimentos limosos ricos en MO y el aumento en la tasa de sedimentación.

Por otro lado y continuando sobre la mejora climática del siglo XX, la presencia casi exclusiva del ensamble de quironómidos conformado por *Coelotanytus/Polypedilum/Dicrotendipes/Goeldichironomus/Parachironomus/ Chironomus* sp. 1 hacia 1990 AD que indicarían un ambiente eutrófico (Paggi 1975, 1978, Massaferrero *et al.*, 1991, Brodersen & Quinlan, 2006; Takahashi *et al.*, 2008) coincide con la tendencia que se reconoce en la región, de una mayor productividad en las lagunas pampeanas favorecida por las condiciones cálidas y húmedas del siglo XX (Laprida *et al.*, 2014, Allende *et al.*, 2009). Sin embargo, este incremento en la productividad de la laguna también podría deberse al hecho que durante las últimas décadas, se han registrado importantes cambios en las áreas que rodean las lagunas (áreas de drenaje/cuencas) en relación a la expansión de la frontera agrícola (Viglizzo, & Jobbágy, 2010) con mayor erosión de suelos y posible incremento de nutrientes que llegan a las lagunas por escorrentía (Aimar *et al.*, 2010; Echaniz *et al.*, 2010; Geraldi, 2011; Bohn *et al.*, 2012), sumado a otras presiones más locales como la siembra de *Odontesthes bonariensis* (Boveri & Quirós, 2003, 2007), todas forzantes que contribuyen a incrementar la tendencia natural a la eutrofización de estos ambientes lenticos pampeanos.

Por su parte, los registros de los lagos del noroeste de patagonia, también reportan cambios ecológicos en los últimos 100 años y en relación al incremento de las temperaturas en la región (calentamiento global actual) (Masiokas *et al.*, 2009, 2011; Veblen *et al.*, 2011). La disminución y en algunos casos desaparición de taxones estenotópicos fríos (*Podonomus*, *Parochlus*, *Pseudosmittia*, *Parakiefferiella*, *Riethia*, *Chironomus* sp. 2) y el incremento de

taxones estenotópicos cálidos (*Labrundinia*, *Polypedilum*, *Apsectrotanypus*) evidenciarían la mejora en el clima reciente. La desaparición de *Chironomus* sp. 2 en el registro de la laguna Verde sumado a valores relativamente bajos del índice CD/TC, en ambas lagunas, y que indican un mayor contenido de MO autóctona en los sedimentos, evidenciarían niveles de agua bajos y menores precipitaciones que los inferidos para el período climático PEH. Adicionalmente ambos registros estudiados, evidenciarían durante los últimos 60-70 años un leve aumento en su productividad (Montes de Oca *et al.*, 2017) y que coincidiría con otros registros del área PNNH (Guilizzoni *et al.*, 2009; Williams *et al.*, 2016). A la mejora climática, en el sector noroeste de Patagonia, se suman las recientes transformaciones que registran sus ambientes, desde principios del siglo XIX y en relación a la colonización de sus tierras y al desarrollo de actividades socio-económicas (forestación, ganadería, introducción de especies exóticas, asentamientos urbanos, turismo entre otros) (Martinic, 2005; Perotti *et al.*, 2005; Pérez Quintanilla, 2008, Veblen *et al.*, 2011, Armesto *et al.*, 2010; Macchi & Vigliano, 2014; Inostrosa *et al.*, 2016). Si bien, las lagunas Verde y Toncek y debido a su ubicación remota parecen escapar del deterioro ambiental inducido por el hombre, el aumento en la productividad reciente de la laguna Toncek y más evidente que en la laguna Verde, podría vincularse con el impacto derivado del aumento del turismo en el área (Montes de Oca *et al.*, 2017). Es importante destacar que el cambio ecológico que registran ambas lagunas (Verde y Toncek), estuvo superpuesto con los efectos del impacto de la depositación de las tefras en sus cubetas (1960-1961 Cordon Caulle Puyehue/ Calbuco eventos volcánicos) sumado a las características intrínsecas de cada laguna.

CONCLUSIONES GENERALES

Los registros sedimentarios lacustres estudiados en esta Tesis, evidenciaron cambios ambientales durante los últimos ~1000 años, en el sector sudoeste de la provincia de Buenos Aires (llanura pampeana) y en los últimos ~500 años en el Noroeste Patagónico. La mayoría de ellos coincidentes con la variabilidad climática, hidrológica y antrópica acontecidas en cada región (Piovano *et al.*, 2009; Masiokas *et al.*, 2010).

Alrededor del 1100 AD-~1278 AD la laguna La Barrancosa se estableció como un ambiente somero, durante el período climático cálido y húmedo, conocido como la Anomalía Climática Medieval (ACM). Durante el transcurso del período climático frío conocido como la Pequeña Edad de Hielo (PEH) y alrededor del 1400? AD, registró una disminución nivel de agua, así como una baja productividad. La discordancia o hiato sedimentario que se registró anterior al 1947 AD se relacionaría con la importante deflación de suelos que condujo el marcado déficit hídrico, con el que culminó la PEH en la región pampeana (*Dust Bowl Pampean*). Posterior a este máximo seco, la laguna La Barrancosa se presentó como un ambiente somero permanente y con productividad creciente, muy relacionado al *Salto Climático del siglo XX*; que se inició alrededor de 1940 y tuvo un aumento extraordinario en las precipitaciones regionales, durante 1970-1980. Hacia 1990, la laguna se presentó como un ambiente somero eutrófico, de aguas “claras”, con presencia de macrófitas. A partir de del 2000 AD se registró un detrimento de este último estado trófico. El estado hipereutrófico actual, habría sido conducido tanto por el calentamiento climático global del siglo XX como por la fuerte impronta de las actividades antrópicas que se registran (desde 1990 AD) en la región y muy relacionadas con la actividad económica del área.

Si bien los cambios ambientales fueron más marcados en la laguna del suroeste bonaerense, en las lagunas Verde y Toncek los cambios que se registraron también estuvieron relacionados con la variabilidad climática, hidrológica de la región Noroeste de Patagonia, así como también con el impacto recurrente de la caída de cenizas proveniente del área chilena; en particular por el impacto de las erupciones del 1960-1961 de los volcanes Cordon Caulle Puyehue-Calbuco. Las lagunas Verde y Toncek registraron entre ~1625 AD y ~1870 AD niveles de agua profundos y gran aporte de material alóctono asociado a las condiciones

climáticas frías y húmedas que prevalecieron durante el transcurso de la Pequeña Edad de Hielo, en el sector Noroeste de Patagonia. Luego de ~1900 AD ambas lagunas, evidenciaron niveles de agua bajos relacionados a menores precipitaciones (menor humedad) que las inferidos para el período climático PEH. Luego de 1947 AD se registró un incremento aunque leve en la productividad de ambas lagunas. Los últimos cambios ambientales que registran tanto la laguna Verde como la laguna Toncek, estuvieron superpuestos con los efectos del impacto de la depositación de las tefras en sus cubetas, los efectos del calentamiento global del siglo XX y con las características intrínsecas de cada laguna.

Por otro lado, las paleocomunidades de quironómidos de los registros sedimentarios estudiados ubicados a un lado y otro de la Diagonal Árida (DA), si bien presentaron diferencias importantes en sus configuraciones derivadas de las características inherentes de cada ambiente, permitieron referenciar cambios hidrológicos (variaciones en los niveles de agua). La laguna La Barrancosa ubicada por encima de la DA, al suroeste de la Provincia de Buenos Aires evidenció alrededor de 1400? AD un mayor desarrollo de la zona limnética (o contracción de su superficie cubierta por agua), asociado al impacto de la PEH, que marcó un importante déficit hídrico en la región pampeana. Contrariamente, las lagunas Verde y Toncek ubicadas por debajo de la DA, en el Noroeste de Patagonia, evidenciaron una dilatación o expansión de la superficie cubierta por agua durante condiciones climáticas frías y húmedas, asociados al impacto de la PEH en el sector Noroeste de Patagonia. Esta información obtenida en esta Tesis coincide y contribuye a consolidar la información existente sobre los patrones opuestos, en cuanto a condiciones hidroclimáticas, que se presentan en anti-fase a un lado y otro de la DA, más evidentes en la última parte del Holoceno tardío.

Asimismo, las mayores diferencias en las repuestas de cada sistema lacustre estudiado, frente a las distintas forzantes hidrológicas, climáticas y antrópicos, estuvieron relacionadas con su localización a un lado y otro de la Diagonal Árida, y en áreas con distinto desarrollo antrópico.

Por último, y sobre el registro de los últimos 100 años es importante destacar, que los ambientes lacustres seleccionados además de archivar de forma continua la información sobre la variabilidad climática pasada de cada región (Pampa y Patagonia), registran y principalmente el lago del suroeste bonaerense, la evolución ambiental que incluye el período en el que el impacto antrópico, produjo un importante cambio en el paisaje de la región

pampeana. La falta de datos históricos y monitoreos de la calidad ambiental (que incluyan las últimas décadas) sobre la mayor parte de las lagunas pampeanas son limitantes, al momento de cuantificar la magnitud del impacto causado por los cambios que produjo el hombre sobre los lagos pampeanos y sus cuencas. Considerando lo anterior, las reconstrucciones paleoambientales como la desarrollada en esta Tesis, ofrecen una fuente de información para el conocimiento de los estados naturales (o de base) de los ambientes lacustres en ausencia del impacto antrópico y bajo condiciones climáticas lo más semejantes posible a las actuales, constituyendo entonces una herramienta importante de evaluación del impacto antrópico sobre los ambientes lacustres de ambas regiones.

BIBLIOGRAFÍA

Abram, N. J; Mulvaney, R; Vimeux, F; Phipps, S. J; Turner, J; England, M.H (2014). Evolution of the Southern Annular Mode during the past millennium. *Nature Climate Change*, 4(7), 564-569.

Achaga, R; Gogorza, C. S; Cianfagna, F; Montes de Oca, M.F; Plastani, MS; Orgeira, M J; Laprida, C.(2013). Preliminary rock magnetic and bioproxies results from a short sediment core of Laguna La Barrancosa (Buenos Aires, Argentina). *LATINMAG 2013*.

Agosta, E.A & Compagnucci, RH. (2008). The 1976/77 austral summer climate transition effects on the atmospheric circulation and climate in southern South America. *Journal of Climate*, 21(17), 4365-4383.

Aimar, L; Bustamante, A; Molina, C; Giovanola, C; Menghi, M. (2010). Relación entre la limnología de lagunas pampeanas (SE Córdoba) y la cobertura y uso del suelo. *Cambios de uso de la tierra. Causas, consecuencias y mitigación. RASADEP*, 3-14.

Aliaga, V. S; Ferrelli, F; Alberdi-Algaraz, E. D; Bohn, V; Piccolo, M.C. (2016). Distribución y variabilidad de la precipitación en la Región Pampeana, Argentina. *Cuadernos de Investigación Geográfica*, 42(1), 261-280.

Allende, L; Tell, G; Zagarese, H; Torremorell, A; Pérez, G; Bustingorry, J; . . . Izaguirre, I. (2009). Phytoplankton and primary production in clear-vegetated, inorganic-turbid, and algal-turbid shallow lakes from the pampa plain (Argentina). *Hydrobiologia*, 624(1), 45-60.

Anderson, D; Goudie, A; Parker, A. (2007). Global Environments through the Quaternary: Exploring Environmental Change. Oxford University Press Inc. New York. 359 pp.

Appleby, P. G. (2001). Chronostratigraphic techniques in Recent sediments. In 'Tracking Environmental Change Using Lake Sediments. Vol. 1'.(Eds WM Last and JP Smol.) pp. 171–203.

Appleby, P & Oldfield, F. (1978). The calculation of lead- 210 dates assuming a constant rate of supply of unsupported 210Pb to the sediment. *Catena* 5, 1–8.

Araneda A. A; Cruces F; Torres I; Bertrand S; Fagel N; Treutler H. C; Chirinos I; Barra R & Urrutia, R. (2007). Changes of sub-fossil chironomid assemblages associated with volcanic sediment deposition in an Andean lake (38°S), Chile. *Revista Chilena de Historia Natural*. (80) 141-156.

Araneda A; Jana P; Ortega C; Torrejo F; Bertrand S; Vargas P; Fagel N; Alvarez D; Stehr A; Urrutia, R. (2013). Changes in sub-fossil chironomid assemblages in two Northern

Patagonian lake systems associated with the occurrence of historical fires. *Paleolimnol.* 50:41–56

Ariztegui, D; Bianchi, M.M; Masaferro, J. (1997). Interhemispheric synchrony of Late-glacial climatic instability as recorded in proglacial Lake Mascardi, Argentina. *Journal of Quaternary Sciences* 12, 333–338.

Ariztegui, D; Bösch, P; Davaud, E. (2007). Dominant ENSO frequencies during the Little Ice Age in Northern Patagonia: the varved record of proglacial Lago Frías, Argentina. *Quaternary International*, 161(1), 46–55.

Ariztegui D, Anselmetti F.S, Gilli A, Waldmann N. (2008). Late Pleistocene environmental changes in Patagonia and Tierra del Fuego – A limnogeological approach. In: Rabassa J (ed.) The Late Cenozoic of Patagonia and Tierra del Fuego. *Developments in Quaternary Sciences* 11, Elsevier Science, 241–253.

Armesto, J. J., Manuschevich, D., Mora, A., Smith-Ramirez, C., Rozzi, R., Abarzúa, A. M., & Marquet, P. A. (2010). From the Holocene to the Anthropocene: A historical framework for land cover change in southwestern South America in the past 15,000 years. *Land Use Policy*, 27(2), 148–160.

Armitage, P; Cranston, P.S; Pinder, L.C.V. (1995). The Chironomidae. *The biology and ecology of non-biting midges*—Chapman and Hall, London, 577.

Armitage, P. D. (1995). Chironomidae as food *The Chironomidae* (pp. 423–435): Springer.

Arnaud F; Magand O; Chapron, E; Bertrand, S; Boës, X; Charlet, F; Mélières, M. A (2006) Radionuclide dating (210 Pb, 137 Cs, 241 Am) of recent lake sediments in a highly active geodynamic setting (Lakes Puyehue and Icalma—Chilean Lake District). *Science of the Total Environment*, 366(2): 837–850

Balseiro, E; Souza, M.S; Serra Olabuenaga, I; Wolinski, L; Bastidas Navarro, M; Laspoumaderes, C; Modenutti, B (2014). Effect of the Puyehue-Cordon Caulle volcanic complex eruption on crustacean zooplankton of Andean lakes. *Ecología Austral* 24: 75–82

Barros, V; Castañeda M.E; Doyle, M (2000). Recent precipitation trends in Southern South America east of the Andes: an indication of climatic variability. Southern Hemisphere paleo- and neoclimates. Eds.: Smolka P and Volkheimer W. Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York, 187–206.

Barrucand, M; Vargas, WM; Rusticucci, MM. (2007). Dry conditions over Argentina and the related monthly circulation patterns. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 98(1), 99–114.

Bartington Instruments Ltd. (1994). Environmental magnetic susceptibility—Using the Bartington MS2 system, operation manual, 54 pp., Witney, U. K.

Bastidas Navarro, M; Balseiro, E; Modenutti, B. (2014). Bacterial Community Structure in Patagonian Andean Lakes above and below Timberline: From Community Composition to Community Function. *Microb Ecol* 68:528-541

Battarbee, R W. (2000). Palaeolimnological approaches to climate change, with special regard to the biological record. *Quaternary science reviews*, 19(1), 107-124.

Battarbee R.W; Grytnes J.A; Thompson R; Appleby P.G; Catalan, J; Korhola, A; Birks, H. J.B; Heegaard, E; Lami, A. (2002). Comparing palaeolimnological and instrumental evidence of climate change for remote mountain lakes over the last 200 years. *Journal of Paleolimnology*, 28(1), 161-179.

Bennett, K. D. (1996). Determination of the number of zones in a biostratigraphical sequence. *New Phytologist*, 132(1), 155-170.

Bertrand, S; Castiaux, J; Jubigne, E. (2008). Tephrostratigraphy of the Late Glacial and Holocene sediments of Puyehue Lake (Southern Volcanic Zone, Chile, 40- S). *Quaternary Research* 70: 343–357.

Bertrand, S; Daga, R; Bedert, R; Fontijn, K. (2014) Deposition of the 2011–2012 Cordón Caulle tephra (Chile, 40 S) in lake sediments: Implications for tephrochronology and volcanology. *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*, 119: 2555-2573

Bertrand, S; Boës, J ; Castiaux, F; Charlet, R; Urrutia, C; Espinoza, G; Lepoint, B; Charlier, N; Fagel. (2005). Temporal evolution of sediment supply in Lago Puyehue (Southern Chile) during the last 600 yr and its climatic significance. *Quaternary Research* 64, 163 – 175.

Bianchi, M.M. & Ariztegui, D. (2012). Vegetation history of the Río Manso Superior catchment area, Northern Patagonia (Argentina), since the last deglaciation. *The Holocene* 22 (11): 1283-1295.

Bianchi, M.M., Massafiero, J., Roman Ross, G., Ribeiro Guevara, S.R., Arribere, M., & Amos, A. (1997). The Pleistocene-Holocene boundary from cores of Lake El Trébol, Patagonia, Argentina. *Archive für Limnologie* 26: 805-808.

Bird, B.W; Abbott, M.B; Vuille, M; Rodbell, D.T; Stansell, N.D; Rosenmeier, M.F. (2011). A 2.300-year-long annually resolved record of the South American summer monsoon from the Peruvian Andes. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 108:8583-8588.

Birks, H. (1974). Numerical zonations of Flandrian pollen data. *New Phytologist*, 73(2), 351-358.

Birks, H. & Birks, H. J. B. (2006). Multi-proxy studies in palaeolimnology. *Vegetation history and Archaeobotany*, 15(4), 235-251.

Björck, S. & Wohlfarth, B. (2002). ^{14}C chronostratigraphic techniques in paleolimnology. In *Tracking environmental change using lake sediments* (pp. 205-245). Springer Netherlands

Blaauw, M. & Christen, J. A. (2011). Flexible paleoclimate age-depth models using an autoregressive gamma process. *Bayesian analysis*, 6(3), 457-474.

Bohn, V; Perillo, G; Piccolo, M C. (2011). Distribution and morphometry of shallow lakes in a temperate zone (Buenos Aires Province, Argentina). *Limnetica*, 30(1), 0089-0102.

Bohn, V; Piccolo, M. C; Pratolongo, P; Perillo, G (2012) Evaluación del estado trófico de dos lagunas pampeanas (Argentina). *Ecología*, 24, 11-26.

Bonorino, F G. (1973). Geología del área entre San Carlos de Bariloche y Llao-Llao, provincia de Río Negro. *Fundación Bariloche, Publ. Depart. Rec. Nat. y Energía*, N, San Carlos de Bariloche, 16.

Boveri, M.B. & Quirós, R. (2003). Trophic interactions in pampean shallow lakes: evaluation of silverside predatory effects in mesocosm experiments. *Internationale Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie Verhandlungen*, 28(3), 1274-1278.

Boveri, MB & Quirós, R. (2007). Cascading trophic effects in pampean shallow lakes: results of a mesocosm experiment using two coexisting fish species with different feeding strategies. *Hydrobiologia*, 584(1), 215-222.

Bradley, R. (2000). 1000 Years of climate Change. *Science* 288(5470), 1353-1367

Bradley, R. S; Briffa, K. R; Cole, J; Hughes, M. K; Osborn, T. J. (2003). The climate of the last millennium. In *Paleoclimate, global change and the future* (pp. 105-141). Springer Berlin Heidelberg.

Brodersen, K. P. & Lindegaard, C. (1997). Significance of subfossile chironomid remains in classification of shallow lakes *Shallow Lakes '95* (pp. 125-132): Springer.

Brodersen, K P & Quinlan, R. (2006). Midges as palaeoindicators of lake productivity, eutrophication and hypolimnetic oxygen. *Quaternary Science Reviews*, 25(15), 1995-2012.

Brooks, S.J. & Birks, H.J.B. (2001). Chironomid-inferred air temperatures from Lateglacial and Holocene sites in north-west Europe: progress and problems. *Quaternary Science Reviews*, 20(16), 1723-1741.

Brooks, S.J; Bennion, H; Birks, H.J.B. (2001). Tracing lake trophic history with a chironomid-total phosphorus inference model. *Freshwater Biology* 46: 413-533.

Brooks, S. J; Langdon, P. G; Heiri, O. (2007). *The identification and use of Palaearctic Chironomidae larvae in palaeoecology*. Quaternary Research Association.

Bruniard, E. (1982). La diagonal árida Argentina: un límite climático real. *Revista Geográfica* 95:5-20.

Cabrera, AL (1968) Provincia de Buenos Aires. *Flora de la Provincia de Buenos Aires: Pteridófitas, Gimnospermas y Angiospermas Monocotiledóneas (a excepción de Gramineas)*, 4, 101.

Cabrera, A. L. & Willink, A. (1980). Regiones biogeográficas en América Latina. *Biogeografía de América Latina (E Chesneau, ed.)*. Secretaría de la Organización de los Estados Americanos, Programa de Desarrollo Científico y Tecnológico, Capítulo, 8, 29-107.

Callisto, M; Moreno, P; Goncalves- Jr Leal, JF; Esteves, F.A. (2002) Diversity and biomass of Chironomidae (Diptera) larvae in an impacted coastal lagoon in Rio de Janeiro, Brazil. *J. Biol.* 62(1): 77-84.

Carew, M. E; Pettigrove, V; Cox, R.L; Hoffmann, A A. (2007). The response of Chironomidae to sediment pollution and other environmental characteristics in urban wetlands. *Freshwater Biology*, 52(12), 2444-2462.

Casas, R R. (2000). La conservación de los suelos y la sustentabilidad de los sistemas agrícolas. Disertación acto entrega Premio Antonio Prego. www.insuelos.org.ar.

Castañeda, M. & González, M. (2008). Statistical analysis of the precipitation trends in the Patagonia region in southern South America. *Atmósfera*, 21(3), 303-317.

Cioccale, M A. (1999). Climatic fluctuations in the Central Region of Argentina in the last 1000 years. *Quaternary International*, 62(1), 35-47.

Cohen, A.S., 2003. *Paleolimnology: the history and evolution of lake systems*. Oxford University Press, Oxford, 528

Córdoba, F. E; Guerra, L; Cuña Rodríguez, C; Sylvestre, F. L; 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), 0-0.

Cortezzi, A; Paggi AC; Rodriguez M; Rodriguez Capitulo (2011) Taxonomic and nontaxonomic response to ecological changes in a urban lowland t through the use of chironomdae (diptera) larvae. *Science of the total environment* (409) 1344-1350

Cranston, P. S; Dillon, M. E; Pinder, L. C. V; Reiss. F. (1989). The adult males of Chironominae (Diptera: Chironomidae) of the Holarctic region-keys and diagnoses, p 353-502. In Wiederholm T (ed) The adult males of the Chironomidae (Diptera) of the Holarctic region - keys and diagnoses. *Entomol Scand Suppl*, Sandby, 532pp.

Cranston, P. S. (2000). Electronic guide to the Chironomidae of Australia. <http://entomology.ucdavis.edu/chirepage/index.html>.

Crickmore, MJ; Tazioli, G. S., Appleby, P. G., & Oldfield, F. (1990). *The use of nuclear techniques in sediment transport and sedimentation problems* (p. 170p). M. J. Crickmore (Ed.). Unesco.

Cruces, F; Urrutia, R; Parra, O; Araneda, A; Treutler, H, Bertrand, S. . . Chirinos, L. (2006). Changes in diatom assemblages in an Andean lake in response to a recent volcanic event. *Archiv für Hydrobiologie*, 165(1), 23-35.

Cummins, K.W & Klug, M J. (1979). Feeding ecology of stream invertebrates. *Annual review of ecology and systematics*, 10(1), 147-172.

Cusminsky, G.A., A. Schwalb, A.P. Pérez, D. Pineda, F. Viehberg, R. Whatley, V. Markgraf, A. Gilli, D. Ariztegui & F.S. Anselmetti. (2011). Late quaternary environmental changes in Patagonia as inferred from lacustrine fossil and extant ostracods. *Biological Journal of the Linnean Society*, 103(2), 397-408.

Daga, R; Ribeiro Guevara S, Sánchez M L, Arribére M (2006) Geochemical characterization of volcanic ashes from recent events in Northern Patagonia Andean Range by INAA. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry* 270: 677-694.

Daga, R; Ribeiro Guevara, S; Sanchez, ML; Arribere, M. (2008). Source identification of volcanic ashes by geochemical analysis of well preserved lacustrine tephtras in Nahuel Huapi National Park. *Applied Radiation and Isotopes* 66: 1325–1336.

Daga, R; Ribeiro Guevara S, Sanchez ML, Arribere MA (2010) Tephrochronology of Recent events in the Andean Range (Northern Patagonia) spatial Distribution and Provenance of Lacustrine ash layers in the Nahuel Huapi National Park. *Journal of Quaternary Science* 25: 1113-1123

Daga, R; Guevara, S R, Poire D G, Arribére M (2014). Characterization of tephtras dispersed by the recent eruptions of volcanoes Calbuco (1961), Chaitén (2008) and Cordón Caulle Complex (1960 and 2011), in Northern Patagonia. *Journal of South American Earth Sciences*, 49, 1-14.

Daga, R; Castro, A; De La Rosa, J; Ribeiro Guevara, S; Sanchez, M. L; Arribere, M. (2012). Heterogeneidades texturales y composicionales en productos piroclásticos de la erupción de 1960 del sistema Cordón Caulle (40° 30' S, 72° 10'O). *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 69(4), 496-507.

Dangavs, N. (2005) Los ambientes acuáticos de la provincia de Buenos Aires. In: de Barrio R, Etcheverry R, Caballé M and Llambías E (eds) Preceding. XVI Congr. Geol. Argent., pp. 219-236..

Dean, W.E. (1974) Determination of carbonate and organic matter in calcareous sediments and sedimentary rocks by loss on ignition: comparison with other methods. *Journal of Sedimentary Petrology* 44: 242-248

Delettre, Y. R. (2000). Larvae of terrestrial Chironomidae (diptera) colonize the vegetation layer during the rainy season. *Pedobiologia* (44) 622-626.

Depetris, P.J; Kempe, S; Latif, M; Mook, W.G. (1996). ENSO-controlled flooding in the Paraná River (1904–1991). *Naturwissenschaften*, 83(3), 127-129.

Deschamps, J. R, Otero, O; Tonni, E. P. (2013). Cambio climático en la pampa bonaerense: las precipitaciones desde los siglos XVIII al XX. Documento de Trabajo N° 109, Universidad de Belgrano. Disponible en:http://www.ub.edu.ar/investigaciones/dt_nuevos/109_deschamps.pdf

Díaz, M; Pedrozo, F; Reynolds, C; Temporetti, P. (2007) Chemical composition and the nitrogen-regulated trophic state of Patagonian lakes. *Limnologica* 37: 37-48

Diéguez, M. C; Queimaliños, C. P, Guevara, S. R; Marvin-DiPasquale, M; Cárdenas, C. S; Arribére, M. A. (2013). Influence of dissolved organic matter character on mercury incorporation by planktonic organisms: an experimental study using oligotrophic water from Patagonian lakes. *Journal of Environmental Sciences*, 25(10), 1980-1991

Diovisalvi, N; Bohn, V Y; Piccolo, M C; Perillo, G M; Baigún, C; Zagarese, H E. (2015). Shallow lakes from the Central Plains of Argentina: an overview and worldwide comparative analysis of their basic limnological features. *Hydrobiologia*, 752(1), 5-20.

Donato, M; Massaferrero, J; Brooks, S. J. (2009). Chironomid Research in Northern Patagonia. *CHIRONOMUS Journal of Chironomidae Research*(22).

Donato, M; Massaferrero, J; Brooks, S.J. (2008). Chironomid (Chironomidae: Diptera) checklist from Nahuel Huapi National Park, Patagonia, Argentina. *Revista de la Sociedad Entomologica Argentina*, 67, 163-170.

Dukatz, F; Ferrati, R; Canziani, G. (2005) Clasificación de lagos someros pampeanos mediante imágenes Landsat TM. *Biología Acuática*, 22, 95-101.

Eastwood, W.J; Tibby, R. N; Birks, H. J. B. & Lamb, H. F (2002). The environmental impact of the Minoan eruption of Santorini (Thera): statistical analysis of palaeoecological data from Golbisar, southwest Turkey. *The Holocene*, 12(4), 431-444.

Echaniz, S. A. & Vignatti, A M.V. (2013). Trophic status of shallow lakes of La Pampa (Argentina) and its relation with the land use in the basin and nutrient internal load. *Journal of Environmental Protection*.

Echaniz, S; Vignatti, A; de Paggi, S.B; Paggi, J.C. (2010). Los Nutrientes en los Sedimentos de Lagunas de La Pampa. Relación con la Granulometría y uso de la Tierra. *Libro de Trabajos del*, 3, 23-31.

Echaniz, S. A.; Vignatti, A. M; Cabrera, G. C; Paggi, S. B. J. D. (2012). Zooplankton richness, abundance and biomass of two hypertrophic shallow lakes with different salinity in central Argentina. *Biota Neotropica*, 12(2), 41-48.

Eggermont, H. & Heiri, O. (2011) The chironomid–temperature relationship: expression in nature and palaeoenvironmental implications. *Biol. Rev* 87: 430-456

Fernández, H. R; Romero, F; Peralta, M; Grosso, L. (2001). La diversidad del zoobentos en ríos de montaña del noroeste de Argentina: comparación entre seis ríos. *Ecología austral*, 11(1), 9-16.

Ferreira, J. S; De Marco, P; Mazáo, GR Jr; Carvalho, A.R (2009) Chironomidae Assemblage Structure in Relation to Organic Enrichment of an Aquatic Environment. *Neotropical Entomol* 38(4):464-471.

Fonseca Leal, J.J; Esteves, F.A; Callisto, M. (2004) Distribucion of Chironomidae Larvae in an Amazonian flood –plain lake impacted by bauxite tailings (Brazil). *Amazon. XVIII* (1/2): 109-123.

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.

Fontijn, K; Lachowycz, S.M; Rawson, H; Pyle, D.M; Mather, T.A; Naranjo, JA; Moreno-Roa, H. (2014) Late Quaternary tephrostratigraphy of southern Chile and Argentina. *Quaternary Science Reviews* 89:70-84

Galizzi, M. C; Zilli, F; Marchese, M. (2012). Diet and functional feeding groups of Chironomidae (Diptera) in the Middle Paraná River floodplain (Argentina). *Iheringia. Série Zoologia*, 102(2), 117-121.

García, P.E; Dieguez, MC; Queimaliños, C. (2015) Landscape integration of North Patagonian mountain lakes: a first approach using characterization of dissolved organic matter. *Lakes Reserv Res Manag* 20: 19-32.

García-Rodríguez, F; Piovano, E; del Puerto, L; Inda, H; Stutz, S; Bracco, R;. . . Ariztegui, D. (2009). South American lake paleo-records across the Pampean Region. *PAGES news*, 17, 115-118.

Garreaud, R; Vuille, M; Compagnucci, R; Marengo, J. (2009). Present-day South American climate. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 281: 180–195.

Garreaud, R. & Battisti, D. (1999). Interannual (ENSO) and interdecadal (ENSO-like) variability in the Southern Hemisphere tropospheric circulation. *Journal of Climate*, 12(7), 2113-2123.

Garreaud, R (2007) Precipitation and Circulation Covariability in the Extratropics. *Journal of Climate* 20: 4789- 4797.

Geraldi, A.M (2011). Determinación de Cargas de Nitrógeno y Fósforo en cuencas Hidrográficas Pampeanas. *Contribuciones Científicas GAEA* (23):121-130

Gilli, A; Ariztegui, F; Anselmetti, S; McKenzie, J.A; Markgraf, V; Hajdas, I; McCulloch, R.D (2005). Mid-Holocene strengthening of the Southern Westerlies in South America -Sedimentological evidences from Lago Cardiel, Argentina (49°S). *Global and Planetary Change* 49: 75–93.

Gómez, G. N. & Messineo, P. G. (2008). Análisis tafonómico de micromamíferos y mesomamíferos del sitio Laguna La Barrancosa 1 (partido de Benito Juárez, provincia de Buenos Aires). *Intersecciones en antropología*(9), 71-91.

Goñi, R.A, Barrientos, G; Cassiodoro, G.E.(2000). Condiciones previas a la extinción de las poblaciones humanas del sur de Patagonia: una discusión a partir del análisis del registro arqueológico de la cuenca del lago Salitroso. Cuadernos del Instituto Nacional de Antropología y Pensamiento Latinoamericano 19: 249–266

Gordon, A. & Ort, M. H. (1993). Edad y correlación del plutonismo subcordillerano en las provincias de Río Negro y Chubut (41-42 30'LS). In *Congreso Geológico Argentino* (Vol. 12, pp. 120-127).

Grosman, F. (2001). Fundamentos biológicos, económicos y sociales para una correcta gestión del recurso pejerrey. *Editorial Astyanax. Buenos Aires, Argentina*.

Grossman, F. & Sanzano, P. (2008). Lagunas seleccionadas y rutina de muestreo. In: Grosman F (ed) *Espejos en la llanura. Nuestras lagunas de la region pampeana*. Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires, Tandil. Pp, 39–46.

Grosman, F; Peluso, F; Castelain, G. G; Usunoff, E. (1996). Aprovechamiento económico de lagunas a partir de variaciones de los regímenes hidrológicos. In *Actas VII Congresos Argentino de Meteorología* (pp. 259-260).

Guerra, L; Piovano, E.L; Córdoba, F.E, Sylvestre, F; Damatto, S. (2015). The hydrological and environmental evolution of shallow Lake Melincué, central Argentinean Pampas, during the last millennium. *Journal of Hydrology*, 529, 570-583.

Guilizzoni, P. & Lami, A. (2001). Paleolimnology:use of algal pigments as indicators. in:Encyclopedia of environmental Microbiology, 6 volume set. Bitton, G /editor) 2306-2317.

Guilizzoni, P; Massaferro, J; Lami, A; Piovano, E; Ribeiro Guevara, S; Formica, S.M; Daga, R; Rizzo, A; Gerli, S. (2009). Palaeolimnology of Lake Hess (Patagonia, Argentina): multi-proxy analyses of short sediment cores. *Hydrobiologia*. 631:289-302.

Haberzettl, T; Fey, M; Lücke, A; Maidana, N; Mayr, C; Ohlendorf, C; Schäbitz, F; Schleser, G.H; Wille, M; Zolitschka, B. (2005). Climatically induced lake level changes during the last two millenia as reflected in sediments of Laguna Potrok Aike, southern Patagonia (Santa Cruz, Argentina). *Journal of Paleolimnology* 33: 283-302

Hamerlík, Ladislav, Jacobsen, Dean, & Brodersen, Klaus Peter. (2011). Low species richness of non-biting midges (Diptera: Chironomidae) in Neotropical artificial urban water bodies. *Urban Ecosystems*, 14(3), 457-468.

Hamme, R. C; Webley, P. W; Crawford, W.R; Whitney, F.A, De Grandpre, M. D; Emerson, S. R, . . . Kavanaugh, M. T. (2010). Volcanic ash fuels anomalous plankton bloom in subarctic northeast Pacific. *Geophysical Research Letters*, 37(19).

Hassan, G. S; De Francesco, C; Perretti, V (2012). Distribution of diatoms and mollusks in shallow lakes from the semiarid Pampa region, Argentina: Their relative paleoenvironmental significance. *Journal of Arid Environments* 78, 65-72. doi: doi:10.1016/j.jaridenv.2011.11.00

Heiri, O; Lotter, A. F; Lemcke, G. (2001). Loss on ignition as a method for estimating organic and carbonate content in sediments: reproducibility and comparability of results. *Journal of paleolimnology*, 25(1), 101-110.

Il'yashuk B., Il'yashuk E., and Dauvalter V. (2003) Chironomid responses to longterm metal contamination: a paleolimnological study in two bays of Lake Imandra, Kola Peninsula, northern Russia. *Journal of Paleolimnology* **30**: 217–230

Inostroza, L; Zasada, I; König, H. J. (2016). Last of the wild revisited: assessing spatial patterns of human impact on landscapes in Southern Patagonia, Chile. *Reg Environ Change* DOI 10.1007/s10113-016-0935-1

IPCC (2007). Climate Change: The physical science basis, summary for policymakers. Contribution of working group I to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. <http://www.ipcc.ch>.

Iriondo, M. (1999). Climatic changes in the South American plains: Record of a continent-scale oscillation. *Quaternary International*, 57-58:93-112

Iriondo, M. H. & García, N. O. (1993). Climatic variations in the Argentine plains during the last 18,000 years. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 101(3-4), 209-220.

Izaguirre, I; Pizarro, H; de Tezanos Pinto, P; Rodríguez, P; O'farrell, I; Unrein, F; Gasol, J. M. (2010). Macrophyte influence on the structure and productivity of photosynthetic picoplankton in wetlands. *Journal of Plankton Research*, 32(2), 221-238.

Jeppesen, E; Søndergaard, M; Meerhoff, M; Lauridsen, T. L; Jensen, J. P. (2007). Shallow lake restoration by nutrient loading reduction—some recent findings and challenges ahead. *Hydrobiologia*, 584(1), 239-252.

Jones, P. D. & Mann, M. E. (2004). Climate over past millennia. *Reviews of Geophysics*, 42(2).

Juggins, S. (2003) C2 User guide. Software for ecological and palaeoecological data analysis and visualisation. University of Newcastle, Newcastle upon Tyne

Juggins, S. (2009). rioja: analysis of Quaternary science data. R package version 0.5-6. URL <http://cran.r-project.org/package=rioja>.

Juggins, S., & Birks, H. J. B. (2012). Quantitative environmental reconstructions from biological data. In *Tracking environmental change using lake sediments* (pp. 431-494). Springer Netherlands.

Juncos, R; Beauchamp, D. A; Vigliano, P. H. (2013). Modeling prey consumption by native and nonnative piscivorous fishes: implications for competition and impacts on shared prey in an ultraoligotrophic lake in Patagonia. *Transactions of the American Fisheries Society*, 142(1), 268-281.

Kopprio, G.A; Freije, H; Arias-Schreiber, M; Lara, R. (2014) An ecohydrological adaptive approach to a salt lake in the semiarid grasslands of Argentina: future management perspectives. *Sustainability science*, 9(2), 229-238.

Lami, A; Guilizzoni, P; Marchetto, A. (2000). High resolution analysis of fossil pigments, carbon, nitrogen and sulphur in the sediment of eight European Alpine lakes: the MOLAR project. *Journal of Limnology* 59: 15-28

Langdon, P. G; Ruiz, Z; Brodersen, K.P; Foster, I. (2006). Assessing lake eutrophication using chironomids: understanding the nature of community response in different lake types. *Freshwater biology*, 51(3), 562-577.

Langdon, P. G; Ruiz, Z; Wynne, S; Sayer, C. D; Davidson, T.A. (2010). Ecological influences on larval chironomid communities in shallow lakes: implications for palaeolimnological interpretations. *Freshwater Biology*, 55(3), 531-545.

Laprida, C & Valero-Garcés, B. (2009). Cambios ambientales de épocas históricas en la pampa bonaerense en base a ostrácodos: historia hidrológica de la laguna de Chascomús. *Ameghiniana*, 46(1), 95-111.

Laprida, C; Orgeira, M. J; García Chaporí, N. (2009). El registro de la Pequeña Edad de Hielo en lagunas pampeanas. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 65(4), 603-611.

Laprida, C., Massafiero, J., Mercator, R., Josefina, M., & Cusminsky, G. (2014). Paleobioindicadores del fin del mundo: ostrácodos y quironómidos del extremo sur de Sudamérica en ambientes lacustres cuaternarios. *Latin American journal of sedimentology and basin analysis*, 21(2), 0-0.

Laprida, C; Plastani, M.S; Irurzún, A; Gogorza, C.S; Navas Izquierdo, A; Valero-Garcés, B.L; Sinito, A.M. (2014). Mid-late Holocene lake levels and trophic states of a shallow lake from the southern Pampa plain, Argentina. *Journal of Limnology* 73(2): 123-137

Larocque I, Hall RI, Grahn E (2001) Chironomids as indicators of climatic and environmental change: a 100-lake training set from a subarctic region of northern Sweden(Lapland). *J Paleolimnol* 26: 307-322

Last, W. M. & Smol, J. P. (Eds.). (2006). *Tracking environmental change using lake sediments: volume 2: physical and geochemical methods* (Vol. 2). Springer Science & Business Media.

Leavitt, P.R. & Hodgson, D.A. (2001). Sedimentary Pigments. En: Smol,J.P., Birks, H.J.B. & Last, W.M. (eds.). *Tracking Environmental Change Using Lake Sediments. Volume*

3: *Terrestrial, Algal, and Siliceous Indicators*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands.

Levesque, A J; Cwynar, L C; Walker, Ian R. (1996). Richness, diversity and succession of late-glacial chironomid assemblages in New Brunswick, Canada. *Journal of Paleolimnology*, 16(3), 257-274.

Lin, I-I, Hu, Chuanmin, Li, Yuan-Hui, Ho, Tung-Yuan, Fischer, Tobias P, Wong, George TF, . . . Chen, Jen-Ping. (2011). Fertilization potential of volcanic dust in the low-nutrient low-chlorophyll western North Pacific subtropical gyre: Satellite evidence and laboratory study. *Global Biogeochemical Cycles*, 25(1).

Little, J. L. & Smol, J.P. (2000). Changes in fossil midge (Chironomidae) assemblages in response to cultural activities in a shallow, polymictic lake. *Journal of Paleolimnology*, 23(2), 207-212.

Little, J. L. & Smol, J. P. (2001). A chironomid-based model for inferring late-summer hypolimnetic oxygen in southeastern Ontario lakes. *Journal of Paleolimnology*, 26(3), 259-270.

Logares, R. & Úbeda, C. (2004). *Alsodes gargola* (Rana del Catedral). Overwintering tadpoles. *Herpetological Review*, 35(4), 368-369.

Lotter, A.F. & Birks, H.J.B. (1993). The impact of the Laacher See Tephra on terrestrial and aquatic ecosystems in the Black Forest, southern Germany. *Journal of Quaternary Science*, 8(3), 263-276.

Lotter, A. F; Birks, H. J. B; Hofmann, W; Marchetto, A. (1998). Modern diatom, cladocera, chironomid, and chrysophyte cyst assemblages as quantitative indicators for the reconstruction of past environmental conditions in the Alps. II. Nutrients. *Journal of Paleolimnology*, 19(4), 443-463.

Macchi, P J & Vigliano, P H (2014) Salmonid introduction in Patagonia: the ghost of past, present and future management. Sección especial. *Ecología Austral* 24:162-172

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.

Mann, M. E; Zhang, Z; Rutherford, S; Bradley, R. S; Hughes, M. K; Shindell, D; Ni, F. (2009). Global signatures and dynamical origins of the Little Ice Age and Medieval Climate Anomaly. *Science*, 326(5957), 1256-1260.

Mann, M. E; Gille, E; Overpeck, J; Gross, W; Bradley, R. S; Keimig, F. T; Hughes, M. K. (2000). Global temperature patterns in past centuries: An interactive presentation. *Earth interactions*, 4(4), 1-1.

Marchese, M. & Paggi, A.C. (2004). Diversidad de Oligochaeta (Annelida) y Chironomidae (Diptera) del Litoral fluvial argentino. En: Aceñolaza FC (Ed.) Temas de la Biodiversidad del Litoral Fluvial Argentino. INSUGEO. Tucumán, Argentina. 217-223.

Markgraf, V., J. Bradbury, A. Schwalb, S.J. Burns, C. Stern, D. Ariztegui, A. Gilli, F. Anselmetti, S. Stine, N. Maidana. (2003). Holocene palaeoclimates of southern Patagonia: limnological and environmental history of Lago Cardiel, Argentina. *The Holocene* 13 (3), 597-607.

Martín, B., Galleano, V., Spiller, L.C., Vilche, M.S., y Montico, S., (2011). Evaluación de la productividad primaria de un pastizal templado en Santa Fe, Argentina. *Archivos de zootecnia*, 60 (232), 965-975.

Martinic, M. (2005). De la Trapananda al Aysén. Pehuén Editores, Santiago de Chile, 539 pp.

Masiokas, M.H; Rivera, A; Lukman B.H; Espizua, L. E; Villalba, R; Delgado, S; Aravena, J. C. (2009). Glacier fluctuations in extratropical South America during the past 1000 years. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 281: 242–268

Masiokas, M. H; Luckman, B. H; Villalba, R; Ripalta, A; Rabassa, J. (2010). Little Ice Age fluctuations of Glaciar Río Manso in the north Patagonian Andes of Argentina. *Quaternary Research*, 73(1), 96-106.

Massaferro, J. & Brooks, S. (2002). Response of chironomids to Late Quaternary environmental change in the Taitao Peninsula, southern Chile. *Journal of Quaternary Science* 17: 101-111

Massaferro, J. & Corley, J. (1998). Environmental disturbance and chironomid palaeodiversity: 15 kyr BP of history at Lake Mascardi, Patagonia, Argentina. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* 8: 315-323

Massaferro, J. & Larocque, I. (2013). Using a newly developed chironomid transfer function for reconstructing mean annual air temperature at Lake Potrok Aike, Patagonia, Argentina. *Ecological Indicators* 24:201-210

Massaferro, J. & Vandergoes, M. (2013). Postglacial Southern Hemisphere. In: Elias S.A. (ed.) *The Encyclopedia of Quaternary Science* Vol 1. Elsevier, Amsterdam, pp 398-405

Massaferro, J; Ashworth, A; Brooks, S. (2008) Quaternary Fossil Insects from South America. In: *The Late Cenozoic of Patagonia and Tierra del Fuego*. Rabassa J (Ed). Developments on Quaternary Sciences, Elsevier, Amsterdam, pp 393-409

Masaferro, J; Paggi, A.C; Rodríguez Capítulo, A. (1991). Estudio poblacional de los quironómidos (Insecta Diptera) de la laguna de Lobos, Provincia de Buenos Aires, Argentina. *Graellsia* 47: 129-137.

Massaferro, J; Correa-Metrio, A; Montes de Oca, F; Mauad, M. (2016). Using long-term ecological data to understand environmental disturbances, resilience and recovery processes in two contrasting lake ecosystems from northern Patagonia (Argentina) *Hydrobiologia*. DOI 10.1007/s10750-016-3081-3

Massaferro, J; Ortega, C; Fuentes, R; Araneda, A. (2013). Guía para la identificación de Tanytarsini subfósiles (Diptera: Chironomidae) de la Patagonia. *Ameguiniana* 50:319-334

Massaferro, J; Ribeiro Guevara, S; Rizzo, A; Arribere, M.A. (2005). Short term environmental changes in Lake Morenito, (41°S, Patagonia, Argentina) from the analysis of subfossil chironomids. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* 15: 23-30

Massaferro, J; Larocque-Tobler, I; Brooks, S; Vandergoes, M; Dieffenbacher-Krall, A, Moreno, P. (2014). Quantifying climate change in Huelmo mire (Chile North-western Patagonia) during the Last Glacial Termination using a newly developed chironomid-based model. *Palaeogeogr Palaeoclimatol Palaeoecol* 399:214-224

Massaferro, J; Montes de Oca, F; Pessacq, P; Hernandez, L. M; Spinelli, G; Donato, M; Ronderos, M; Archangelsky, M; Brand, C; Lozano, F; Brooks, S; Campos, R. (2012) Guía de Insectos Acuáticos del Parque Nacional Nahuel Huapi. Larvas y pupas. 1ra ed. Rio Negro Administración de Parques Nacionales. Editorial Fundacion Florens

Matisoff, G. & Wang, X. (1998). Solute transport in sediments by freshwater infaunal bioirrigators. *Limnol. Oceanogr.* 43(7): 1487-1499.

Mauad, M; Siri, A; Montes de Oca, F; Donato, M. (2016). Effects of Volcanic Ash on Assemblage Patterns and Biological Traits of Chironomidae in a North Andean Patagonian Stream, Argentina. *Annales de Limnologie. Int. J. Lim.* 53 (2017) 67–77. DOI: 10.1051/limn/2016032.

Medina, A.I. & Paggi, A.C., (2004). Composición y abundancia de Chironomidae (Diptera) en un Rio Serrano de zona semiárida (San Luis, Argentina). *Revista de la Sociedad Entomológica Argentina*, 63(3-4), 107-118.

Mermoz, M.; C. Úbeda; D. Grigera; C. Brion; C. Martin; E. Bianchi; Planas, H. (2000). El Parque Nacional Nahuel Huapi: sus características ecológicas y su estado de conservación. Administración de Parques Nacionales-Universidad Nacional del Comahue. Inedito

Meyers, P.A. & Lallier-Vergès, E (1999). Lacustrine sedimentary organic matter records of Late Quaternary paleoclimates. *Journal of Paleolimnology* 21(3): 345- 372.

Mills, K; Schillerff, D; Saulnier-Talbot, E; Gell, P; Anderson, N; Arnaud, F; Dong, X; Jones, M; MacGowan, S; Massaferro, J; Moorhouse, H; Perez, L; Ryves, D. (2016). Deciphering long-term records of natural variability and human impact as recorded in lake sediments: a paleolimnological puzzle. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water*. DOI:10.1002/wat2.1195

Modenutti, B. E; Albariño, R; Navarro, M. B; Villanueva, V. D; Souza, M. S; Trochine, C., ... & Balseiro, E. (2010). Structure and dynamic of food webs in Andean North Patagonian freshwater systems: organic matter, light and nutrient relationships. *Ecología Austral*, 20(2), 95-114

Modenutti, B. E., Balseiro, E., Dieguez, M. D. C., Queimaliños, C., & Albariño, R. (1998). Heterogeneity of fresh-water Patagonian ecosystems. *Ecología Austral*, 8(2), 155-165.

Modenutti, B.E; Balseiro, E.G; Elser J.J; Bastidas Navarro, M; Cuassolo, F; Laspoumaderes, C; Souza, M.S; Díaz Villanueva; V. (2013) Effect of volcanic eruption on nutrients, light, and phytoplankton in oligotrophic lakes. *Limnol Oceanogr* 58:1165-1175

Montes de Oca, F; Motta, L; Plastani, M S; Laprida. C; Lami, A & Massaferro, J. (2017) Reconstructing recent environmental changes using non-biting midges (Diptera: Chironomidae) in two high mountain lakes from northern Patagonia, Argentina. *Journal of Paleolimnology* doi:10.1007/s10933-017-9957-z

Moreno, P; François, J; Villa-Martínez, R; Moy, C. (2009). Millennial-scale variability in Southern Hemisphere westerly wind activity over the last 5000 years in SW Patagonia. *Quaternary Science Reviews* 28, 25-38.

Motta, L; Plastani, S; Montes de Oca, F; Serra, Ma.N; Massaferro, J. (2012). Composición química de ambientes lacustres del Parque Nacional Nahuel Huapi (PNNH). Poster V Congreso Argentino de Limnología. Santa Fe.

Moy, C. M; Moreno, P. I; Dunbar, R. B; Kaplan, M. R; Francois, J. P; Villalba, R; Haberzettl, T. (2009). Climate change in southern South America during the last two millennia. In *Past climate variability in South America and surrounding regions* (pp. 353-393). Springer Netherlands.

Munsell soil color charts (2000). Munsell Color.

Muslow, S; Piovano, E; Cordoba, F. (2009). Recent aquatic ecosystem response to environmental events revealed from 210 Pb sediment profiles. *Marine pollution bulletin*, 59(4), 175-181.

Neukom, R; Luterbacher, J; Villalba, R; Küttel, M; Frank, D; Jones, P. D., ...Wanner, H. (2010). Multi-centennial summer and winter precipitation variability in southern South America. *Geophysical Research Letters*, 37(14).

Neukom R, Gergis J, Karoly D J, Wanner H, Curran M, Elbert J, Gonzalez-Rouco F, Braddock K L, Moy AD, Mundo I, Raible C C, Steig E J, van Ommen T, Vance T, Villalba R, Frank D (2014) Inter-hemispheric temperature variability over the past millennium. *Nature Climate Change*, 4(5), 362-367.

Oliver, DR. (1971). Life history of the Chironomidae. *Annual review of entomology*, 16(1), 211-230.

Oksanen, J., Kindt, R., Legendre, P., O'Hara, B., Stevens, M. H. H., Oksanen, M. J., & Suggests, M. A. S. S. (2007). The vegan package. *Community ecology package*, 10, 631-637.

Paggi, A.C. (1975). Formas imaginales y preimaginales de *Chironomus* (Dicrotendipes) *alsiniensis* sp. Nov (Diptera: Chironomidae). *Neotropica* Vol.21: 66, 149-156

Paggi, A.C. (1978). Formas imaginales y preimaginales de Quironómidos (Diptera) IV *Dicrotendeipes nestori* sp. Nov. *Limnobiós* 1:7. 235-241.

Paggi, A.C. (1987). Formas imaginales y preimaginales de Quironómidos (Diptera Chironomidae) IV. *Dicrotendipes pelegriniensis* sp Nov y *D. embalsensis* sp. Nov. *Limnobiós* 2:9 695-706

Paggi, A. C. (1999). Los Chironomidae como indicadores de calidad de ambientes dulceacuícolas. *Revista de la Sociedad Entomológica Argentina*, 58(1-2), 202-207.

Paggi, A.C (2001) Diptera: Chironomidae. En: Fernández HR & Domínguez E (eds) *Guía para la determinación de los artrópodos bentónicos sudamericanos*. Editorial University of Tucumán, Tucumán, Argentina. 167-193.

Paggi, A. C; Fernández, H.R; Domínguez, E. (2001). Diptera: chironomidae. *Guía para la determinación de los artrópodos bentónicos Sudamericanos*. Editorial Universitaria de Tucumán, Tucumán, Argentina, 167-194.

Pal, N. (2008). Aportes al estudio de la integridad del sitio Laguna La Barrancosa 1 (partido de Benito Juárez, provincia de Buenos Aires): análisis textural y distribucional de los microdesechos líticos. *Intersecciones en antropología*(9), 59-75.

Paruelo, J. M., Beltrán, A., Jobbagy, E., Sala, O. E., & Golluscio, R. A. (1998). The climate of Patagonia: general patterns and controls on biotic processes. *Ecología Austral*, 8(2), 85-101.

Pascual, M. A; Cussac, V; Dyer, B; Soto, D; Vigliano, P; Ortubay, S; Macchi, P. (2007). Freshwater fishes of Patagonia in the 21st century after a hundred years of human settlement, species introductions, and environmental change. *Aquatic Ecosystem Health & Management*, 10(2), 212-227.

Pasquini, A. I; Lecomte, K.L; Piovano, E. L; Depetris, P. J. (2006). Recent rainfall and runoff variability in central Argentina. *Quaternary International*, 158(1), 127-139.

Pedrozo, F; Chillrud, S; Temporetti, P; Diaz, M. (1993). Chemical composition and nutrient limitation in rivers and lakes of northern Patagonia Andes (39.51–42.1S; 71.1W) (Rep. Argentina). *Verhandlungen des Internationalen Verein Limnologie* 25: 207-214

Pengue, W.A. (2005). Transgenic crops in Argentina: the ecological and social debt. *Bulletin of Science, Technology & Society*, 25(4), 314-322.

Pérez, G. L; Queimaliños, C. P., & Modenutti, B. E. (2002). Light climate and plankton in the deep chlorophyll maxima in North Patagonian Andean lakes. *Journal of Plankton Research*, 24(6), 591-599.

Pérez, G. L; Torremorell, A; Bustingorry, J; Escaray, R; Pérez, P; Diéguez, M; Zagarese, H (2010). Optical characteristics of shallow lakes from the Pampa and Patagonia regions of Argentina. *Limnologica-Ecology and Management of Inland Waters*, 40(1), 30-39.

Pérez, L, Lorenschat, J, Massafferro, J; Pailles, C; Sylvestre, F; Hollwedel, Werner, . . . Lozano, M L. (2013). Bioindicators of climate and trophic state in lowland and highland aquatic ecosystems of the Northern Neotropics. *Revista de Biología Tropical*, 61(2), 603-644.

Pérez Quintanilla, V.Q. (2008). Perturbaciones a la vegetación nativa por grandes fuegos de 50 años atrás, en bosques Nordpatagónicos. Caso de estudio en Chile Meridional/Disturb to the native vegetation by major fires 50 years ago in Nordpatagonic forest. Study case in meridional Chile. En *Anales de Geografía de la Universidad Complutense* (Vol. 28, No. 1, p. 85). Universidad Complutense de Madrid.

Perotti, M. G; Diéguez, M. C; Jara, F. G. (2005). Estado del conocimiento de humedales del norte patagónico (Argentina): aspectos relevantes e importancia para la conservación de la biodiversidad regional. *Revista chilena de historia natural*, 78(4), 723-737.

Piovano, E L; Ariztegui, D A; Moreira, S D (2002). Recent environmental changes in Laguna Mar Chiquita (central Argentina): a sedimentary model for a highly variable saline lake. *Sedimentology*, 49(6), 1371-1384.

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.

Piovano, E. L, Villalba, R, & Leroy, S A. (2006). Holocene environmental catastrophes in South America: from the lowlands to the Andes: Pergamon. *Quatern. Int.*, 158 pp. 1-3

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 Past climate variability in South America and surrounding regions (pp. 323-351): Springer

Piovano, E. L; Larizzatti, F. E; Favaro, D; Oliveira, S. M.B; Damatto, S.R; Mazzilli, B. P; Aristegui, 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.

Planas, F H (1997). Geología y Geomorfología de la Región de San Carlos de Bariloche. Apuntes universitarios materia Geología (2005). Universidad Nacional del Comahue.

Plastani, M. S (2016). Ostrácodos y paleolimnología del sur de la Pampa Bonaerense: reconstrucción de parámetros ambientales y climáticos para el Holoceno Tardío. Tesis Doctoral. Inédito. FCEyN-Universidad de Buenos Aires. Inedito

Plastani, M.S; Montes de Oca, F., Massaferró, J., Lami, A; Laprida, C.. Environmental change and human impact during the 20th century in a shallow pampean lake inferred through multiproxy analysis. En prensa. *Journal of Paleolimnology*

Podestá, G., Bert, F., Rajagopalan, B., Apipattanavis, S., Laciana, C., Weber, E., Easterling, W., Katz, R., Letson, D; Menendez, A., (2009). Decadal climate variability in the Argentine Pampas: regional impacts of plausible climate scenarios on agricultural systems. *Climate Research* 40(2-3):199-210.

Quattrocchio, M.E., Borromei, 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. *Quatern. Int.* 181: 123–138.

Queimaliños, C. & Diaz, M. (2014). Phytoplankton of Andean Patagonian lakes. *Advances in Limnology*, 235-256.

Quinlan, R. & Smol, J.P. (2001). Setting minimum head capsule abundance and taxa deletion criteria in chironomid-based inference models. *Journal of Paleolimnology*, 26(3), 327-342.

Quirós, R. (1995). The effects of fish assemblage composition on lake water quality. *Lake and Reservoir Management*, 11(4), 291-298.

Quirós, R. (2005). *Sobre la morfología de las lagunas pampeanas. Documento de Trabajo del Área de Sistemas de Producción Acuática N°3*. Facultad de Agronomía de la Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires, 16 p.

Quirós, R, & Drago, Ed. (1999). The environmental state of Argentinean lakes: an overview. *Lakes & Reservoirs: Research & Management*, 4(1-2), 55-64.

Quirós, R., Rennella, A.M., Boveri, M.B., Rosso, J.J. y Sosnovsky, A. (2002). Factores que afectan la estructura y el funcionamiento de las lagunas pampeanas. Asociación Argentina de Ecología. *Ecología Austral* 12: 175–185. 173

Quirós, R., Boveri, M.B., Petracchi, C.A., Rennella, A.M., Rosso, J.J., Sosnovsky, A. y Von Bernard, H.T., (2006). Los efectos de la agriculturización del humedal pampeano sobre la eutrofización de sus lagunas. En: J.G. Tundizi, T. Matsumura-Tundisi y C. Sidagis Galli (eds), *Eutrofização na América do Sul: causas, conseqüências e tecnologias de gerenciamento e controle*. Instituto Internacional de Ecologia, p.1-16.

Rabassa, J. (2010). El cambio climático global en la Patagonia desde el viaje de Charles Darwin hasta nuestros días. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 67(1), 139-156.

Rabassa, J; Brandani, A; Salemme, M; Politis, G. (1985). La Pequeña Edad del Hielo (siglos XVII a XIX) y su posible influencia en la aridización de áreas marginales de la Pampa Húmeda (Provincia de Buenos Aires). *Actas I Jornadas Geológicas Bonaerenses, Tandil, Buenos Aires*, 256-577.

Rabinovitch, J.E. & Torres, F. (2004). Caracterización de los síndromes de sostenibilidad del desarrollo. El caso de Argentina. Taller "Síndromes de sostenibilidad del desarrollo en América Latina", Santiago de Chile. repositorio.cepal.org

Rennella, A.M, & Quirós, R. (2006). The effects of hydrology on plankton biomass in shallow lakes of the Pampa Plain. *Hydrobiologia*, 556(1), 181-191.

Ribeiro Guevara, S; Meili, M; Rizzo, A; Daga, R; Arribére, M. (2010). Sediment records of highly variable mercury inputs to mountain lakes in Patagonia during the past millennium. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 10(7), 3443-3453.

Ribeiro Guevara, S., Rizzo, A., Sánchez, R., & Arribére, M. (2003). 210Pb fluxes in sediment layers sampled from Northern Patagonia lakes. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 258(3), 583-595.

Rizzo, A. P. (2007). *Dípteros quironómidos (Insecta) subfósiles y recientes en sedimentos lacustres andino-patagónicos* (Doctoral dissertation, Facultad de Ciencias Naturales y Museo, La Plata Buenos Aires).

Rizzo, A; Daga, R; Arcagni, M; Perez Catán, S; Bubach, D; Sánchez, R; Ribeiro Guevara, S; Arribére, M.A. (2010) Concentraciones de metales pesados en distintos compartimentos de lagos andinos de Patagonia Norte. *Ecología Austral* 20: 155-171

Robbins, J. A. (1978). Geochemical and geophysical applications of radioactive lead. In: Nriagu JO (ed) *Biogeochemistry of Lead in the Environment*. Elsevier Scientific, Amsterdam pp 285–393

Rodriguez, M. S; Paggi, A.C; Medina, A.I. (2009). A new Neotropical species of the genus *Parochlus* Enderlein, 1912 (Chironomidae: Podonominae) and new distribution in Argentina. *Zootaxa*, 2300, 39-46.

Rogora, M; Massaferrro, J; Marchetto, A; Tartari, G; Mosello, R. (2008). The water chemistry of some shallow lakes in Northern Patagonia and their nitrogen status in comparison with remote lakes in different regions of the globe. *Journal of Limnology* 67: 75-86

Rojo, L. D; Villalba, R; Gil, A. (2010). Late Holocene environments in arid and semiarid regions of central-western Argentina (30–5 S): pollen records and paleoclimatic inferences. In 2nd International Symposium "Reconstructing Climate Variations in South America and the Antarctic Peninsula over the last 2000 years (p. 85).

Romanelli, A; Quiroz Londoño, O.M; Massone, H.E; Martínez, D.E; Bocanegra, E. (2010). El agua subterránea en el funcionamiento hidrológico de los humedales del Sudeste

Bonaerense, Provincia de Buenos Aires, Argentina. *Boletín Geológico y Minero*, 121(4), 373-386.

Rossaro, B. (1991). Factors that determine Chironomidae species distribution in fresh waters. *Italian Journal of Zoology*, 58(3), 281-286.

Russián, G. F; Agosta, E. A; Compagnucci, R. H. (2010). Variabilidad interanual a interdecádica de la precipitación en Patagonia Norte. *Geoacta*, 35(2), 27-43.

Santos M, Callil C, Fantin-Cruz I and Girard P (2013) Factors structuring the spatial distribution of Chironomidae larvae community in the floodplain of the northern Pantanal, Brazil. *Acta Limnol. Brasiliensis* 25(2):131-139.

Saulnier- Talbot, E. (2016). Paleolimnology as a Tool to Achieve Environmental Sustainability in the Anthropocene: An Overview. *Geosciences* 2016, 6, 26; doi:10.3390/geosciences6020026

Scheffer, M. (2004). *Ecology of shallow lakes*. Springer Science & Business Media.

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.

Schwerdt, M.G. & Cazorla, A.C (2014). Ecología trófica del pejerrey (odontesthes bonariensis) en la laguna del Venado y Alsina, dos ambientes del sistema encadenadas del oeste, prov. de Buenos Aires. *Biología Acuática* (30).

Scian, B., & Pierini, J. (2013). Variability and trends of extreme dry and wet seasonal precipitation in Argentina. A retrospective analysis. *Atmósfera*, 26(1), 3-26.

Scuffi, D; Ricci, S; Mariottini, Y; Torrusio, S. E; Wysiecki, L. M. (2012). ¿ La práctica de la siembra directa en cultivos de soja favorece las poblaciones de acridios (Orthoptera: Acrididae) en el partido de Benito Juárez? *Revista de la Sociedad Entomológica Argentina*, 71(3-4), 203-213.

Sequeira, N. D; Vazquez, P; Zulaica, L. (2016). Consecuencias ambientales de la expansión agrícola en el Partido de Benito Juárez (Buenos Aires, Argentina), en el período 2003-2011. *Revista Geoaraguaia*, 5(2).

Serra, M.N; Albariño, R; Diaz Villanueva, V. (2013). Invasive *Salix fragilis* alters benthic invertebrate communities and litter decomposition in northern Patagonian streams. *Hydrobiologia*. 701: 173-188.

Serra, M N; García, M L; Maidana, N; Villarosa, G; Lami, A; Massaferrero, J (2016). Little Ice Age to present paleoenvironmental reconstruction based on multiproxy analyses from Nahuel Huapi Lake (Patagonia, Argentina). *Ameghiniana* 53: 58–73.

Siri, A. & Donato, M. (2012) Two new species of Podonomus (Diptera: Chironomidae: Podonominae) of the Brundin's decarthrus group from Ventania system, Argentina *Zootaxa* 3548: 39-54

Siri, A., Donato, M., & Fuentes, C. (2014). Nuevo registro de Parochlus carolinae (Chironomidae: Podonominae) del sistema de Ventania y descripción de la hembra. *Revista de la Sociedad Entomológica Argentina*, 73(3-4), 171-175.

Smol, J.P (2008). Pollution of Lakes and Rivers A Paleoenvironmental Perspective. J.P Smol. – 2nd ed.

Smol, J. P. (2010). The power of the past: using sediments to track the effects of multiple stressors on lake ecosystems. *Freshwater Biology*, 55(s1), 43-59.

Smol, J. P., Birks, H. J. B; Last, W. M. (2001). *Tracking environmental change using lake sediments. Volume 4: Zoological indicators*. Kluwer Academic Publishers.

Sosnovsky, A. & Quirós, R. (2006). El estado trófico de pequeñas lagunas pampeanas, su relación con la hidrología y el uso de la tierra. *Ecología austral*, 16(2), 115-124.

Sosnovsky, A. & Quirós, R. (2009). Effects of fish manipulation on the plankton community in small hypertrophic lakes from the Pampa Plain (Argentina). *Limnological Ecology and Management of Inland Waters*, 39(3), 219-229.

Sosnovsky, A; Rosso, J. J; Quirós, R. (2010). Trophic interactions in shallow lakes of the Pampa plain (Argentina) and their effects on water transparency during two cold seasons of contrasting fish abundance. *Limnetica*, 29(2), 0233-246.

Spies, M. & Reiss, F. (1996). Catalog and bibliography of neotropical and Mexican Chironomidae (Insecta, Diptera). *Spixiana Supplement*, 22, 61-119.

Stine, S. (1994). Extreme and persistent drought in California and Patagonia during mediaeval time. *Nature*, 369(6481), 546-549.

Stutz, S; Prieto, A; Isla, F. (2002). Historia de la vegetación del Holoceno de la laguna Los Hinojales, sudeste de la provincia de Buenos Aires, *Ameghiniana*. 39: 85-94

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., Borel, C. M., Fontana, S. L., Del Puerto, L., Inda, H., García-Rodríguez, F; Tonello, M. S. (2010). Late Holocene climate and environment of the SE Pampa grasslands, Argentina, inferred from biological indicators in shallow, freshwater Lake Nahuel Rucá. *Journal of Paleolimnology*, 44(3), 761-775.

Stutz, S; Tonello, M; González Sagrario, M; Fontana, S; Navarro, D. (2016) Paleoecología de la llanura Pampeana: registros lacustres de largo plazo como base para

elucidar el funcionamiento de los lagos someros durante el Holoceno. VI Reunión Binacional de Ecología. Puerto Iguazú, Misiones

Stutz, S., Tonello, M.S., González Sagrario, M; Navarro, D; Fontana, S. L. (2014). Historia ambiental de los lagos someros de la llanura Pampeana (Argentina) desde el Holoceno medio. *Latin American journal of sedimentology and basin analysis*, 21(2).

Takahashi, MA; Higuti, J; Bagatini, YM; Zviejkovski, IP Velho; LFM (2008) Composition and biomass of larval chironomid (Insecta, Diptera) as potential indicator of trophic conditions in southern Brazil reservoirs. *Acta Limnol. Brasiliensia* 20(1):5-13.

Tejerina, E. G. & Malizia, A. (2012). Chironomidae (Diptera) larvae assemblages differ along an altitudinal gradient and temporal periods in a subtropical montane stream in Northwest Argentina. *Hydrobiologia*, 686(1), 41-54.

ter Braak, C. J., & Šmilauer, P. (2015). Topics in constrained and unconstrained ordination. *Plant Ecology*, 216(5), 683-696.

Thompson, R., Price, D., Cameron, N., Jones, V., Bigler, C., Rosén, P., ... & Korhola, A. (2005). Quantitative calibration of remote mountain-lake sediments as climatic recorders of air temperature and ice-cover duration. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*, 37(4), 626-635.

Thompson S.E; Sivapalan M; Harman C.J; Srinivasan V; Hipsey M.R; Reed P; Montanari A; G. Blöschl (2013). Developing predictive insight into changing water systems: Use-inspired hydrologic science for the anthropocene. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 17, 5013–5039

Tonello, M. & Prieto, A. (2010). Tendencias climáticas para los pastizales pampeanos durante el Pleistoceno tardío-Holoceno: estimaciones cuantitativas basadas en secuencias polínicas fósiles. *Ameghiniana*, 47(4), 501-478.

Toresani, I; López, H. L; Gómez, S.E (1994). Lagunas de la Provincia de Buenos Aires. Ministerio de la producción de la Provincia de Buenos Aires, La Plata, 108pp

Torremorell, A; Bustigorry, J, Escaray, R & Zagarese, H E. (2007). Seasonal dynamics of a large, shallow lake, laguna Chascomús: the role of light limitation and other physical variables. *Limnologica-Ecology and Management of Inland Waters*, 37(1), 100-108.

Tricart, J. (1973). *Geomorfología de la Pampa Deprimida: base para los estudios edafológicos y agronómicos*: Secretaría de Estado de Agricultura y Ganadería de la Nación, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria.

Tripaldi, A; Zárate, M.A; Forman, S. L; Badger, T; Doyle, M. E & Ciccioli, P. (2013). Geological evidence for a drought episode in the western Pampas (Argentina, South America) during the early–mid 20th century. *The Holocene*, 23(12), 1731-1746.

- Trivinho-Strixino, S., Roque, F. O., & Cranston, P. S. (2009). Redescription of *Riethia truncatocaudata* (Edwards, 1931)(Diptera: Chironomidae), with description of female, pupa and larva and generic diagnosis for *Riethia*. *Aquatic Insects*, 31(4), 247-259.
- Úbeda, C; Zagarese, H; Diaz, M; Pedrozo, F. (1999). First steps towards the conservation of the microendemic Patagonian frog *Atelognathus nitoi*. *Oryx*, 33(01), 59-66.
- Urrutia, R; Araneda, A; Cruces, F; Torres, L; Chirinos, L; Treutler, H.C, . . . Barra, R. (2007). Changes in diatom, pollen, and chironomid assemblages in response to a recent volcanic event in Lake Galletué (Chilean Andes). *Limnologica-Ecology and Management of Inland Waters*, 37(1), 49-62.
- Veblen, T. T., Holz, A., Paritsis, J., Raffaele, E., Kitzberger, T., & Blackhall, M. (2011). Adapting to global environmental change in Patagonia: what role for disturbance ecology?. *Austral Ecology*, 36(8), 891-903.
- Vera, C; Higgins, W; Amador, J; Ambrizzi, T; Garreaud, R; Gochis, D;Nogues-Paegle, J. (2006). Toward a unified view of the American monsoon systems. *Journal of Climate*, 19(20), 4977-5000
- Vermaire, J. C., Greffard, M. H., Saulnier-Talbot, É., & Gregory-Eaves, I. (2013). Changes in submerged macrophyte abundance altered diatom and chironomid assemblages in a shallow lake. *Journal of paleolimnology*, 50(4), 447-456.
- Verschuren, D. & Eggermont, H. (2006). Quaternary paleoecology of aquatic Diptera in tropical and Southern Hemisphere regions, with special reference to the Chironomidae. *Quaternary Science Reviews*, 25(15), 1926-1947.
- Viglizzo, E. F. & Frank, F. C. (2006). Ecological interactions, feedbacks, thresholds and collapses in the Argentine Pampas in response to climate and farming during the last century. *Quaternary International*, 158(1), 122-126.
- Viglizzo, E. & Jobbágy, E. G. (2010). Expansión de la frontera agropecuaria en Argentina y su impacto ecológico-ambiental. Buenos Aires: Ediciones INTA, 2010.
- Viglizzo, E. F; Frank, F. C; Carreno, L. V; Jobbagy, E. G; Pereyra, H., Clatt, J., ... & Ricard, M. F. (2011). Ecological and environmental footprint of 50 years of agricultural expansion in Argentina. *Global Change Biology*, 17(2), 959-973.
- Vignatti, A; Echaniz, S; Martín, M. C. (2007). El zooplancton de tres lagos someros de diferente salinidad y estado trófico en la región semiárida pampeana (Argentina). *Gayana (Concepción)*, 71(1), 34-48.
- Villalba, R. (1990). Climatic fluctuations in northern Patagonia during the last 1000 years as inferred from tree-ring records. *Quaternary Research*, 34(3), 346-360.

Villalba, R., Boninsegna, J. A., Veblen, T. T., Schmelter, A; Rubulis, S. (1997). Recent trends in tree-ring records from high elevation sites in the Andes of northern Patagonia. In *Climatic Change at High Elevation Sites* (pp. 193-222). Springer Netherlands.

Villalba, R., D'Arrigo, R. D., Cook, E. R., Jacoby, G. C., & Wiles, G. (2001). Decadal-scale climatic variability along the extratropical western coast of the Americas: Evidence from tree-ring records. *Interhemispheric Climate Linkages*, 155-172.

Villalba, R., Leiva, J. C., Rubulls, S., Suarez, J., & Lenzano, L. (1990). Climate, tree-ring, and glacial fluctuations in the Rio Frias Valley, Rio Negro, Argentina. *Arctic and Alpine Research*, 215-232.

Villarosa, G; Outes, V; Hajduk, A; Crivelli Montero, E; Sellés, D; Fernández, M; Crivelli, E. (2006). Explosive volcanism during the Holocene in the Upper Limay River Basin: the effects of ashfalls on human societies, Northern Patagonia, Argentina. *Quat. Int.* 158, 44-57. <http://dx.doi.org/10.1016/j.quaint.2006.05.016>.

Walker, I R. (1987). Chironomidae (Diptera) in paleoecology. *Quaternary Science Reviews*, 6(1), 29-40.

Walker, I. R. (2001). Midges: Chironomidae and related diptera. In *Tracking environmental change using lake sediments* (pp. 43-66). Springer Netherlands.

Walker, I. R. & Cwynar, L C. (2006). Midges and palaeotemperature reconstruction—the North American experience. *Quaternary Science Reviews*, 25(15), 1911-1925.

Walker, I. R., Smol, J. P., Engstrom, D. R., & Birks, H. J. B. (1991). An assessment of Chironomidae as quantitative indicators of past climatic change. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 48(6), 975-987.

Walker, I R, Wilson, SE, & Smol, J P. (1995). Chironomidae (Diptera): quantitative palaeosalinity indicators for lakes of western Canada. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 52(5), 950-960.

Ward Jr, J. H. (1963). Hierarchical grouping to optimize an objective function. *Journal of the American statistical association*, 58(301), 236-244.

Wetzel RG., 1981. Limnología. Ediciones Omega, S.A. Barcelona. pp 679.

Williams, N (2012). Análisis de las asociaciones subfósiles de quironómidos y posibles cambios morfológicos, en respuesta a altas concentraciones de mercurio y ceniza volcánica registradas en el Lago Tonček (Patagonia, Argentina). Tesis para optar al grado de Licenciatura en Ciencias Biológicas . Universidad Nacional del Comahue. Inedito

Williams, N; Rieradevall, M; Añon Suarez, D; Rizzo, A; Daga, R; Ribeiro Guevara, S; Arribere, M.A. (2016) Chironomids as indicators of natural and human impacts in a 700-yr

record from the northern Patagonian Andes, *Quaternary Research*
<http://dx.doi.org/10.1016/j.yqres.2016.07.002>

Wolfe, A. P., Hobbs, W. O., Birks, H. H., Briner, J. P., Holmgren, S. U., Ingólfsson, Ó., ... & Vinebrooke, R. D. (2013). Stratigraphic expressions of the Holocene–Anthropocene transition revealed in sediments from remote lakes. *Earth-Science Reviews*, 116, 17-34.

Zagarese, H.E; Diaz, M; Pedrozo, F; Úbeda, C. (2000). Mountain lakes in northwestern Patagonia. *Verhandlungen des Internationalen Verein Limnologie* 27: 533–538

Zárate, M. A. (2003). Loess of southern South America. *Quaternary Science Reviews*, 22(18), 1987-2006.

Zhou, J. & Lau, K. M. (2001). Principal modes of interannual and decadal variability of summer rainfall over South America. *International Journal of Climatology*, 21(13), 1623-1644.

TABLAS

CHIRONOMIDAE		
Subfamilia	Tribu	Géneros (más frecuentes)
CHIRONOMINAE	Pseudochironomini	<i>Pseudochironomus</i> , <i>Riethia</i>
	Chironomini	<i>Apedilum</i> , <i>Chironomus</i> , <i>Cladopelma</i> , <i>Cryptochironomus</i> , <i>Goeldochironomus</i> , <i>Glyptotendipes</i> , <i>Endotribelos</i> , <i>Dicrotendipes</i> , <i>Harrisius</i> , <i>Parachironomus</i> , <i>Phaenopsectra</i> , <i>Polypedilum</i>
	Tanytarsini	<i>Tanytarsini 1A</i> , <i>Tanytarsini B</i> , <i>Tanytarsini 1B</i> <i>Tanytarsini C</i> , <i>Tanytarsini D</i> , <i>Tanytarsini 1D</i> <i>Tanytarsini D2</i> <i>Tanytarsus</i> <i>Paratanytarsus</i> <i>Rheotanytarsus</i> , <i>Microtendipes</i>
ORTHOCLADIINAE		<i>Bryophaenocladius</i> , <i>Botryocladius</i> , <i>Cricotopus</i> , <i>Corynoneura</i> , <i>Diplocladius</i> , <i>Eukiefferiella</i> , <i>Gymnomectriocnemus</i> , <i>Mesosmittia</i> , <i>Microtendipes</i> , <i>Limnophyes</i> , <i>Onconeura</i> , <i>Paralimnophyes</i> , <i>Parametriocnemus</i> , <i>Parakiefferiella</i> , <i>Parapsectrocladius</i> , <i>Parasmittia</i> , <i>Paratrachocladius</i> , <i>Psectrocladius</i> , <i>Pseudosmittia</i> , <i>Smittia</i> , <i>Stictocladius</i>
TANYPODINAE	Coelotanypodini	<i>Alotanypus</i> , <i>Coelotanypus</i>
	Macropelopini	<i>Apsectrotanypus</i> , <i>Macropelopia</i>
	Pentaneurini	<i>Ablabesmyia</i> , <i>Labrundinia</i> , <i>Pentaneura</i>
	Procladini	<i>Djalmabatista</i> , <i>Procladius</i>
	Tanypodini	<i>Tanypus</i>
PODONOMINAE		<i>Parochlus</i> , <i>Podochlus</i> , <i>Podonomus</i> , <i>Rheochlus</i>

Tabla 1. Lista taxonómica de los quironómidos más frecuentes de Argentina (Massaferro *et al.*, 1991; Paggi, 2001; Verschuren & Eggermont, 2006; Donato *et al.*, 2008, Tejerina & Malizia, 2012, Massaferro & Vandergoes, 2013; entre otros)

Fechado sedimentos TLB, Laguna La Barrancosa				
método	Profundidad (cm)	Edad (años AD)	Desvío Standard	TAS (g/m ² /año)
¹⁴ C	74,5	610	-	
	52	603		
	32,5	1278	-	
²¹⁰ Pb	26,5	1927,24515		17,2842685
	24,5	1947,04	9,32532117	18,2440251
	23,5	1968,66	7,9264618	59,952278
	17,5	1979,99	3,77743548	56,9058274
	13,5	2000,23208		70,2986188
	7,5	2006,38	0,79444691	152,219917
	6,5	2007,86111		132,226699
	4,5	2008,77	0,37590073	116,208646
	2,25	2011,26	0,09880887	100,878437
	0,75	2012,29	0	104,14952

Tabla: 2 Fechado de los sedimentos del testigo TLB, laguna La Barrancosa por los métodos de datación ¹⁴C y ²¹⁰Pb.

Exploratorio	proxy	Análisis de ordenamiento	Eigenvalue 1° y 2° eje	Largo de gradiente
	Quironómidos	DCA	0,424 (4%); 0,254	3,58 ; 3,5057
	Geoquímicos	PCA	6,5372; 1,0848	
Directo	CCA		Eigenvalue 1° y 2° eje	Proporción explicada 1° y 2° eje
			0,391; 0,12393	0,2945; 0,1019
	ANOVA			Pr>F
				0,001 ***

Tabla 3. Análisis estadístico indirectos y directos, TLB.

Fechado sedimentos TLV, Laguna Verde				
Método	Intervalos de profundidad (cm)	Intervalos de edad (años AD)		TAS (g/m ² /año)
BACON	45-16	1561 [?] /1844 [?]		0,10
	15-11	1855 [?] /1921		0,06
	10-0	1939/2012		0,14
	Profundidad (cm)	Edad (años AD)	+/- años	SAR (g/m ² /año)
²¹⁰ Pb	9	1947,43	8,16	
	8	1963,19	7,13	
	7	1969,44	6,68	
	6	1974,39	6,29	
	5	1978,41	5,97	
	4	1986,19	5,27	
	3	1994,91	4,37	
	2	1996,81	4,15	
	0,5	2012,00	0,00	

Tabla 4 Fechado de los sedimentos del testigo TLB, laguna Verde a partir del modelo edad profundidad BACON (Blaauw & Christen, 2011) y método ²¹⁰Pb.

Exploratorio	proxy	Análisis de ordenamiento	Eigenvalue 1° y 2° eje	Largo de gradiente 1° y 2° eje
	Quironómidos	DCA	0,1843; 0,1304	1,9849; 1,7038
	Geoquímicos	PCA	3.,392 0,6506	
Directo	RDA		Eigenvalue 1° y 2° eje	Proporción explicada 1° y 2° eje
			1,5156; 0,11959	0,9269; 0,07314
	ANOVA			Pr(>F)
				0.049 *

Tabla 5 Análisis estadístico indirectos y directos, TLV

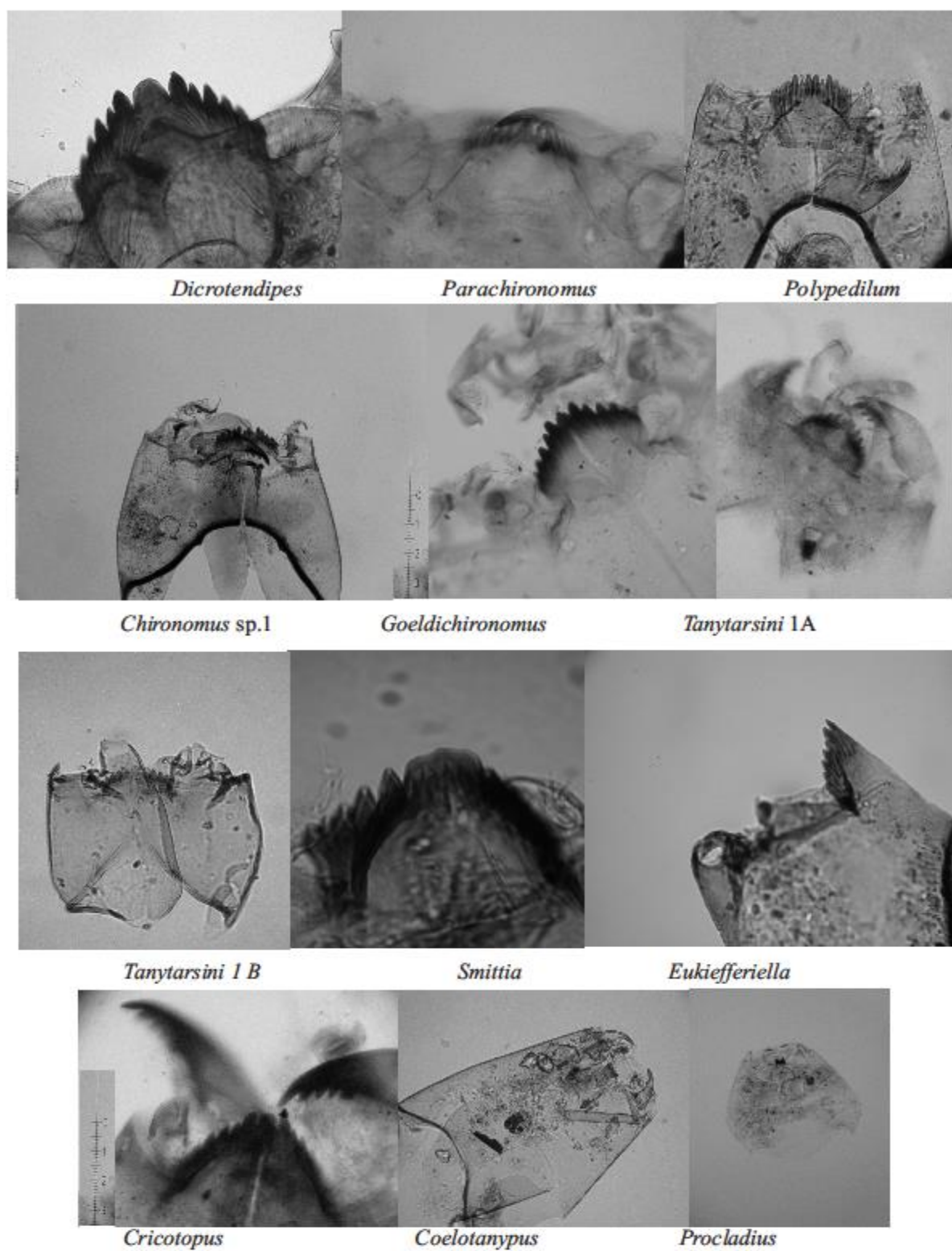
Fechado sedimentos TLTK, Laguna Toncek				
Método	Intervalos de profundidad (cm)	Intervalos de edad (años AD)		TAS (g/m ² /año)
BACON	25-21	1644?/?1767?		0,03
	20-16	1798?/?1844?		0,09
	15-11	1855?/1884?		0,14
	10-6	1891?/1926		0,11
	5-0	1962/2012		0,07
	Profundidad (cm)	Edad (años AD)	+/- años	
²¹⁰ Pb	9	1877,48	11,6842	
	8	1923,19	9,5294	
	7	1949,61	8,0244	
	5	1960,36	7,3240	
	3	1969,31	6,6854	
	2	1982,94	5,5730	
	1	1999,41	3,8198	
	0,5	2012,00	0,0000	

Tabla 6 Fechado de los sedimentos del testigo TLB, laguna Toncek a partir del modelo edad profundidad BACON (Blaauw & Christen, 2011) y método ²¹⁰Pb.

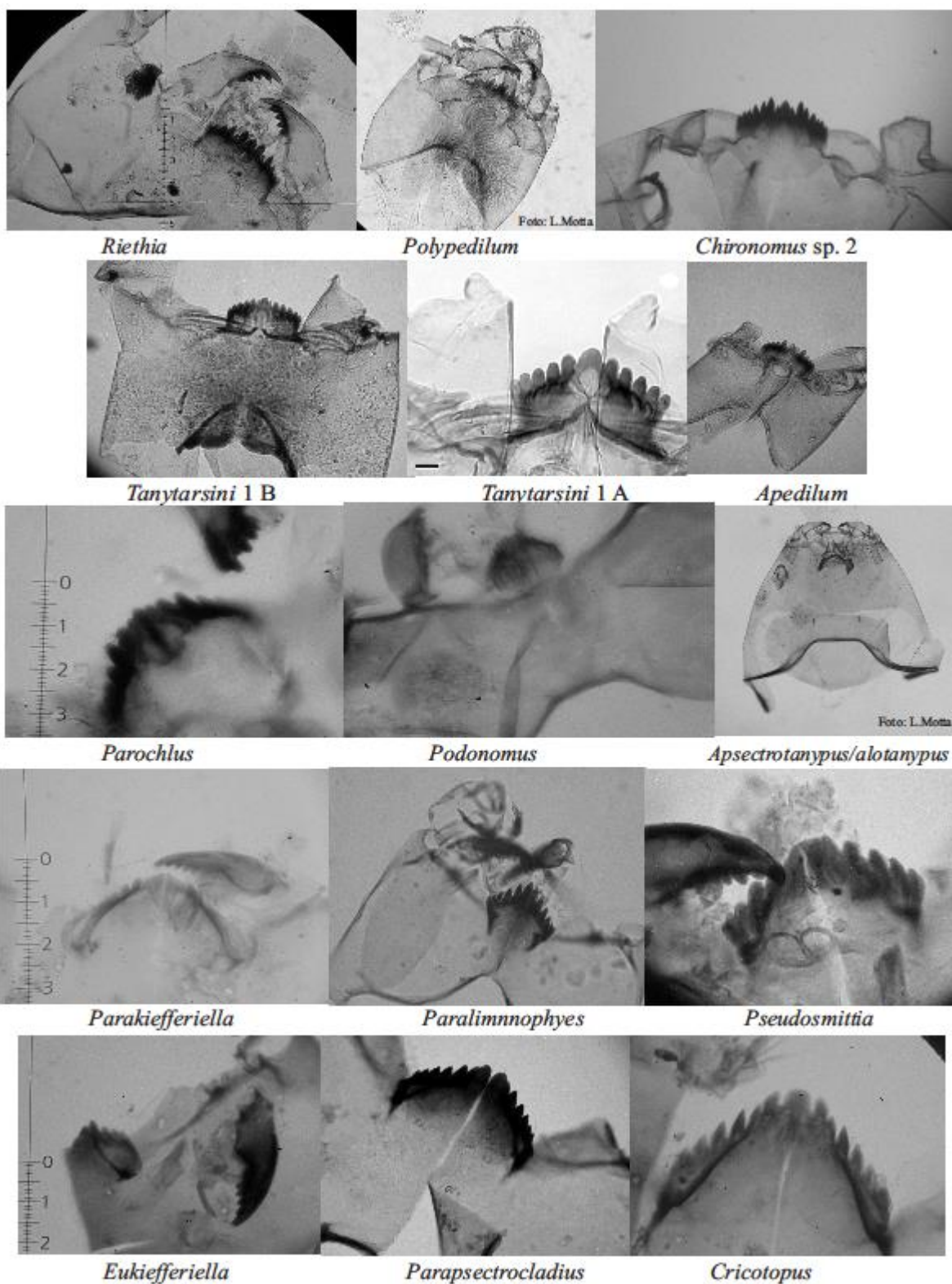
	proxy	Análisis de ordenamiento	Eigenvalue 1° y 2° eje	Largo de gradiente 1° y 2° eje
Exploratorio	Quironómidos	DCA	0,1707; 0,06240	1,7071; 1;13895
	Geoquímicos	PCA	1,9984; 1,4370	
Directo	RDA		Eigenvalue 1° y 2° eje	Proporción explicada 1° y 2° eje
			3,7154 ; 0,7759	0.7983 0.1667
ANOVA			Pr(>F)
				0,006 **

Tabla 7. Análisis estadístico indirectos y directos, TLTK.

LAMINAS



Cápsulas cefálicas de larvas de quironómidos subfósiles (V. ventral), frecuentes en la laguna La Barrancosa, suroeste bonaerense (36°S). Fotos ilustrativas



Cápsulas cefálicas de larvas de quironómidos subfósiles (V. Ventral), frecuentes en las lagunas Verde y Toncek, Noroeste de Patagonia (41°S). Fotos ilustrativas