

Tesis de Maestría

Análisis ambiental de la Laguna Carmen, Isla Grande de Tierra del Fuego. Inferencias paleoclimáticas para el holoceno tardío en el área

Llera, María Ángela

2018

Este documento forma parte de las colecciones digitales de la Biblioteca Central Dr. Luis Federico Leloir, disponible en bibliotecadigital.exactas.uba.ar. Su utilización debe ser acompañada por la cita bibliográfica con reconocimiento de la fuente.

This document is part of the digital collection of the Central Library Dr. Luis Federico Leloir, available in bibliotecadigital.exactas.uba.ar. It should be used accompanied by the corresponding citation acknowledging the source.

Cita tipo APA:

Llera, María Ángela. (2018). Análisis ambiental de la Laguna Carmen, Isla Grande de Tierra del Fuego. Inferencias paleoclimáticas para el holoceno tardío en el área. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires.

https://hdl.handle.net/20.500.12110/tesis_n6560_Llera

Cita tipo Chicago:

Llera, María Ángela. "Análisis ambiental de la Laguna Carmen, Isla Grande de Tierra del Fuego. Inferencias paleoclimáticas para el holoceno tardío en el área". Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires. 2018.

https://hdl.handle.net/20.500.12110/tesis_n6560_Llera

EXACTAS UBA

Facultad de Ciencias Exactas y Naturales



UBA

Universidad de Buenos Aires



UNIVERSIDAD DE BUENOS AIRES
Facultad de Ciencias Exactas y Naturales
Departamento de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos

**Magnetismo ambiental en la Laguna Carmen,
Isla Grande de Tierra del Fuego.**

Inferencias paleoambientales

Tesis para optar por el título de Magister en Ciencias
Ambientales de la Universidad de Buenos Aires

María Ángela Llera

Directoras de tesis: Dra. María Julia Orgeira
Dra. Ofelia Rita de las Mercedes Tofalo

Ciudad Autónoma de Buenos Aires, 2018

Dedicatorio
A mis padres.

ÍNDICE

RESUMEN	4
HIPOTESIS DE TRABAJO	6
OBJETIVOS	6
CAPÍTULO 1:	
Introducción	
Paleoclima del Cenozoico tardío	7
Las transformaciones del ambiente por la dinámica atmosférica	9
Ubicación y marco geomorfológico del área de estudio	10
Climas y ambientes naturales	14
CAPÍTULO 2:	
Magnetismo ambiental	16
Principios físicos	17
i. Diamagnetismo	18
ii. Paramagnetismo	19
iii. Ferromagnetismo	20
iv. Antiferromagnetismo	21
v. Ferrimagnetismo	22
CAPÍTULO 3:	
Análisis de sedimentos	24
Breve descripción de los procesos de sedimentación	26
Propiedades físico químicas de los sistemas lacustres	27
CAPÍTULO 4	
Metodología	29
Resultados	30
I. Análisis sedimentológico	30
Descripción de litofacies para el perfil N°1	32
II. Resultados de dataciones radimétricas	36
III. Ostracodos	36
IV. Resultados de análisis magnéticos	38
V. Resultado de análisis químico	44
CAPÍTULO 5	
Discusión y conclusiones	48
Apéndice 1: Imágenes de la laguna	53
Apéndice 2: Susceptibilidad magnética	54
Apéndice 3 (LCTF 1) Datos Magnéticos	56
Apéndice 4 (LCTF2) Datos Magnéticos	57
Apéndice 5: Datos Químicos. Análisis de Carbono	58
Apéndice 6: Datos geoquímicas	59
Índice de abreviaturas	61
AGRADECIMIENTOS	62
REFERENCIAS	63

RESUMEN

En la presente contribución se analiza sobre la base de proxies magnéticos las variaciones ambientales ocurridas sobre sedimentos asignados al holoceno tardío. Las muestras pertenecen a los dos testigos lacustres extraídos de laguna Carmen, ubicada en la zona central de Tierra del Fuego (Argentina). La sedimentación de facies es consistente con un modelo de sedimentación en un cuerpo de aguas poco profundas, que recibe aportes de sistemas fluviales de energía variable. La parte inferior de la secuencia hasta 65cm de profundidad esta compuesto por sedimentos gruesos y finos alternantes. Esta repetición rítmica se debe a cambios regulares en el material transportado y depositado y puede ser el resultado de cambios en las condiciones climáticas. Las capas de grano grueso se depositan cuando las condiciones climáticas son mas húmedas o debido al derretimiento de hielos. Las capas de grano fino se depositaron cuando no se asienta el material de grano fino que estaba en suspensión. En la parte superior del testigo predominan los granos finos lo que indica que la sedimentación se produjo principalmente por suspensión. Los minerales magnéticos presentes son magnetita y titanomagnetita. No se observan evidencias de minerales magnéticos diagenéticos. Los picos de parámetros extensivos (Susceptibilidad, Ms, y Mrs) están asociados con variaciones en el tamaño de grano de todos los minerales, incluidos los magnéticos.

Los elementos mayoritarios apuntan a un área de aporte constante y la prevalencia de condiciones subhúmedas a semiáridas. Sobre la base de la información paleontológica disponible los sedimentos limosos o fangosos tienen alta conductividad eléctrica, mientras que los de arena y limo grueso tienen baja CE. Se propone que durante la mayor parte del periodo comprendido aproximadamente entre 3500 y 1900 AP cal, los afluentes estuvieron activos y se mantuvo un balance hídrico positivo episódico. La composición de los ensambles de ostrácodos indica el predominio de condiciones de déficit hídricos durante los intervalos que no evidencian aportes significativos detríticos. Las condiciones de precipitación en el centro de la estepa fueguina fueron más altas que en la actualidad, aunque ellas se hubieran mantenido semi-áridas a subhúmedas durante todo el periodo de estudio.

ABSTRACT

In the present contribution the environmental variations occurring on sediments assigned to the late holocene are analyzed based on magnetic proxies. The samples belong to the two lacustrine witnesses extracted from Carmen Lake, located in the central zone of Tierra del Fuego (Argentina). The sedimentation of facies is consistent with a sedimentation model in a body of shallow water, which receives contributions from fluvial systems of variable energy. The lower part of the sequence up to 65cm deep is composed of alternating coarse and fine sediments. This rhythmic repetition is due to regular changes in the transported and deposited material and may be the result of changes in climatic conditions. The coarse-grained layers are deposited when the climatic conditions are more humid or due to the melting of ice. The fine-grained layers were deposited when the fine grain material that was in suspension did not settle. In the upper part of the control, fine grains predominate, which indicates that the sedimentation occurred mainly by suspension. The magnetic minerals present are magnetite and titanomagnetite. No evidence of diagenetic magnetic minerals is observed. The peaks of extensive parameters (Susceptibility, Ms, and Mrs) are associated with variations in the grain size of all minerals, including magnetic ones.

The majority elements point to an area of constant contribution and the prevalence of sub-humid to semi-arid conditions. Based on information available paleontological silty or muddy sediments have high electrical conductivity, while sand and coarse silt have lower E.C. It is proposed that during most of the period between approximately 3,500 and 1,900 BP, the tributaries were active and an episodic positive water balance was maintained. The assemblage composition ostracod indicates the prevalence of water deficit conditions during intervals that do not reveal significant contributions detrital. The conditions of precipitation in the center of the steppe fueguina were higher than at present, although they had remained semi-arid to sub throughout the study period.

HIPÓTESIS DE TRABAJO

Diferentes indicadores (litológicos, biológicos, geoquímicos y geofísicos) analizados en los sedimentos, son utilizados para conocer paleo-condiciones ambientales e indirectamente inferir variaciones paleoclimáticas.

En particular en la presente contribución se hace incapié en el uso de proxies magnéticos. Luego, la hipótesis empleada se basa en que las propiedades magnéticas de sedimentos lacustres son indicadoras de los minerales magnéticos presentes, y que ellos a su vez son reflejo de las condiciones redox del paleoambiente.

El Fe es muy susceptible a las variaciones ambientales y modifica su estado de oxidación de acuerdo con las condiciones redox. En consecuencia, el estado redox y de pH de un ambiente determinado, promueve la génesis, alteración o disolución de minerales para y ferromagnéticos. Luego, los ensambles de minerales magnéticos de cada uno de los horizontes de una secuencia dada, son indicativos de las condiciones ambientales de depositación y diagénesis temprana. Estas técnicas son ampliamente utilizadas para indicar cambios ambientales y/o climáticos e incluso como indicadores de contaminación (Evans y Heller, 2003, entre otros).

OBJETIVOS

Los objetivos de la presente contribución son analizar, sobre la base del Proxy magnético, las variaciones ambientales acaecidas en sedimentos asignados al Holoceno tardío, extraídos de laguna Carmen en Tierra del Fuego. Dicho Proxy será analizado en un contexto geológico adecuado y se contemplarán otras variables (paleontológicas y químicas), obtenidas en el marco de la presente Tesis de Maestría. Se estudiarán también las variaciones climáticas usando los sedimentos depositados en la laguna como indicadores naturales de tales variaciones.

Se emplearán técnicas de magnetismo ambiental, ya que los sedimentos acumulados dentro de un lago, ofrecen un registro de alta resolución de cambios ambientales y climáticos. La esencia del magnetismo ambiental, consiste en utilizar la mineralogía magnética como indicador climático y ambiental (Dekkers, 1997).

La realización de este trabajo está orientada a obtener el título de Master en Ciencias Ambientales cumpliendo con los requerimientos propuestos por el comité de Maestría del Departamento de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos.

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

Paleoclima del Cenozoico tardío

La atmósfera ha sufrido cambios a lo largo de la historia de la Tierra, de los cuales el más notable es la generación de oxígeno por el proceso de fotosíntesis. El clima no es un elemento aislado y el cambio en el mismo afecta mares, océanos, continentes y biota. Grandes cambios climáticos han ocurrido a lo largo de la historia de la tierra.

Para poder analizar acabadamente el cambio climático actual es necesario contar con registros fieles del clima en el pasado, particularmente en el pasado reciente, de tal forma de poder separar una componente natural del fenómeno puramente antrópico. Una de las fuentes de información para la reconstrucción paleoclimática son los sedimentos lacustres, debido a que los lagos son ambientes naturales de acumulación de sedimentos.

Entre las metodologías utilizadas para realizar un análisis ambiental está el magnetismo, disciplina que ha tenido auge en los últimos 15 a 20 años. El magnetismo ambiental relaciona la mineralogía magnética con diversos procesos ambientales, a través del análisis de las propiedades magnéticas de los materiales geológicos y su comparación con otras características físicas, químicas y biológicas.

El clima ha variado de acuerdo con diferentes escalas temporales, desde variaciones de cientos de años, miles, cientos de miles a millones de años; cada periodicidad es una manifestación de distintos mecanismos forzantes.

La mayor parte de los estudios paleoclimáticos se han centrado en el periodo Cuaternario (últimos 2,6 millones de años). Éste tiene, como principales características, amplias fluctuaciones en el clima, debido a la dinámica de los glaciares que avanzaron y retrocedieron sobre la superficie del planeta. Las etapas durante las que avanzaron los hielos se conocen como periodos glaciales y las etapas de retroceso como periodos interglaciales.

Las glaciaciones cuaternarias han sido explicadas por Milankovich a través de los ciclos orbitales. Las variaciones de excentricidad de la órbita de la tierra, la precesión de su eje y las variaciones de la inclinación del mismo, se asumen como los forzantes climáticos principales de los grandes cambios climáticos cuaternarios (Uriarte, 2004).

Asimismo, en los últimos años la comunidad científica se ha interesado en detectar y comprender todos los forzantes que han actuado y están actuando sobre el sistema Tierra en todos y cada uno

de sus componentes. Se trata de cambios climáticos de bajas frecuencias en escalas de millones de años, a altas frecuencias en escala de la vida humana.

Para ejemplificar las variadas frecuencias de cambios climáticos que se pueden tener, merecen mencionarse aquellas del Holoceno tardío vinculadas a la actividad solar. Se trata de las ocurridas en los últimos milenios durante las cuales los cambios climáticos se han caracterizado por una fuerte presencia de anomalías en las condiciones de humedad y temperatura, como la Anomalía Climática Medieval (ACM) del 900-1300 d.C, la Pequeña Edad de Hielo (PEH) entre 1300 y 1850 y durante las últimas décadas, el actual calentamiento global (Kanievski *et al.* 2011, entre muchos otros).

Otros cambios como la composición atmosférica, las erupciones volcánicas, y las variaciones en la órbita terrestre se vinculan a forzantes externos al sistema solar y a su vez, sinérgicos con cambio en la geodínamo terrestre. Este es el caso de la transición Pleistoceno-Plioceno (inicio del Cuaternario).

Recientemente, Wendler (2004) y Orgeira *et al.* (2016), propusieron una conexión entre las variaciones de la geodínamo terrestre (GT) durante la reversión de su polaridad y cambios climáticos ocurridos en el Cenozoico tardío. El mecanismo, por el cual las variaciones del campo magnético interno podrían provocar cambios climáticos, estaría vinculado a la influencia de dicho campo en la entrada a la atmósfera de Rayos Cósmicos Galácticos (RCG). Tal relación se establece debido a que el GT proporciona blindaje a tal radiación; a su vez, los RCG favorecen la formación de un manto de nubes bajas, lo que promovería el enfriamiento del planeta.

Por otra parte, varias contribuciones (Wallner *et al.* 2004; Ludwig *et al.* 2016; Fry *et al.* 2016; Breitschwerdt *et al.* 2016; entre otras), encuentran evidencia de deposición de ^{60}Fe en sedimentos de fondo oceánico, lo que confirma el nacimiento de una supernova en las cercanías de nuestro Sistema Solar. Se destaca que el colapso asociado a la Supernova no solo genera la expulsión de isótopos pesados, sino también una fuerte emisión de RCG. De acuerdo a los diferentes autores, el evento pudo haberse iniciado en torno a los 2,8 a 2,6 Ma y finalizado entre 1,7 y 1,5 Ma con un pico alrededor de los 2,2 Ma.

Sumado a lo anteriormente expuesto, Orgeira *et al.* (2017) señalan que existe un fenómeno simultáneo con el gran ingreso de RCG, la reversión Gauss-Matuyama del geodínamo terrestre (Ohno *et al.* 2012) ocurrida alrededor de 2,58 Ma. Según las citadas autoras, estos forzantes combinados podrían haber sido la causa del inicio de un período glaciario a nivel global.

Las transformaciones del ambiente por la dinámica atmosférica.

El clima condiciona los procesos físicos, químicos y biológicos que ocurren durante todo proceso exógeno. Los procesos meteorológicos fueron muy diferentes en épocas pasadas, especialmente en intensidad y frecuencia, pero sus procesos fundamentales, temperatura, vientos y precipitación siempre han sido el resultado combinado de la radiación recibida del sol, la velocidad de rotación y traslación de la tierra y la distribución de los continentes y mares.

La insolación, en las zonas ecuatoriales, calienta el aire que asciende al perder densidad, se desplaza hacia los polos a través de las capas altas de la atmósfera, donde se enfría y gana densidad, luego desciende para cerrar el circuito por la superficie. El esquema se complica con la forma geométrica de la Tierra y su movimiento de rotación, alcanzando en algunos puntos una velocidad máxima de 1.666km/h

La rotación de la Tierra produce un efecto desviatorio importante, conocido como “fuerza de Coriolis”, en cualquier partícula que se mueva cambiando de latitud. Si una masa de fluido (aire o agua) se mueve desde el Ecuador hacia uno de los polos, conserva inicialmente su velocidad rotacional, pero pasa a zonas donde ésta es menor en superficie; por tanto, tiende a desplazarse hacia el Este más deprisa que la superficie sólida sobre la que pasa. Lo contrario ocurre cuando una masa de fluido se desplaza desde latitudes altas hacia el Ecuador. Su velocidad rotacional es progresivamente menor comparada con que la de la superficie sólida y se desplaza más lentamente que ella, quedando retrasada y desplazándose hacia el Oeste. Por eso, la desviación es hacia la derecha en el Hemisferio Norte y hacia la izquierda en el sur y se forman los cinturones de vientos Alisios y los del NW en ambos hemisferios (Saavedra, M. 2011).

El aire húmedo y caliente de la zona ecuatorial se enfría en su ascenso, descargando lluvias en esta zona; al llegar a los trópicos ocupan una zona de menor tamaño que en el Ecuador, por lo tanto se comprime y aumenta la densidad, descendiendo a la superficie ya seco. Así se forma la zona subtropical de altas presiones donde se localizan desiertos cálidos. La circulación global se completa de igual manera con otras dos células de vientos de cada hemisferio, cuya posición latitudinal ha variado en el curso del tiempo geológico según la radiación solar recibida y la capacidad de almacenaje calórico de la atmosfera. (Diz, 1999).

Más adelante se detallarán las características del clima actual en el área de trabajo.

Ubicación y marco geomorfológico del área de estudio.

La Laguna Carmen se encuentra localizada a los $53^{\circ} 40' 60''$ S y $68^{\circ} 19' 0''$ O a y 83msnm. (Figs. 1 y 2 a) y forma parte de un grupo de cuerpos de agua de poca profundidad, ubicados en la estepa fueguina entre los ríos Chico y Grande. Una serie de cursos semipermanentes drenan hacia la laguna, formando el centro de deposición de la zona (Fig. 2b) (apéndice 1)

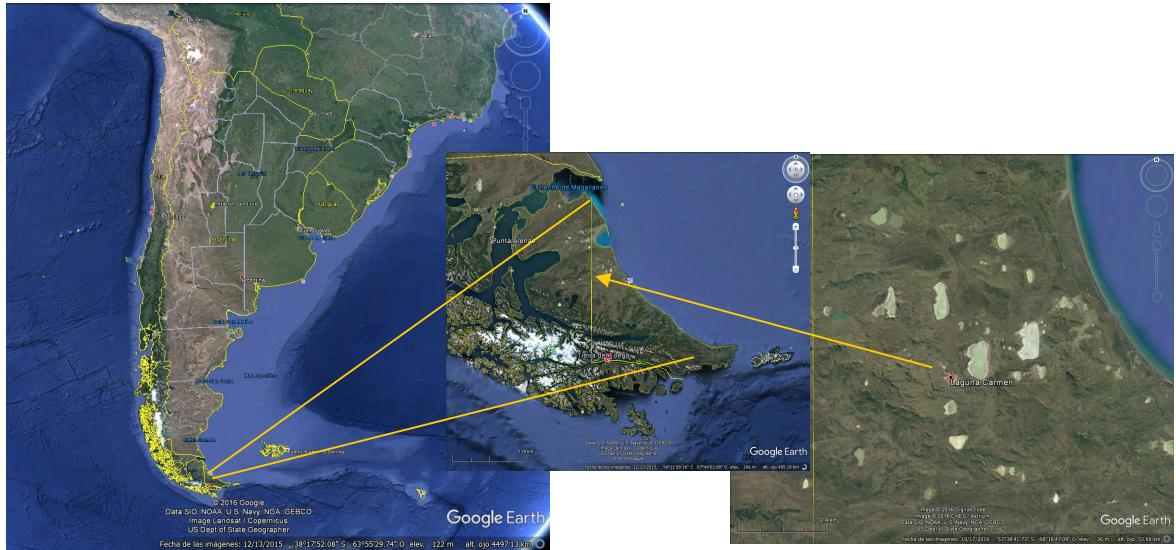


Figura 1: Imagen satelital de ubicación de Laguna Carmen, Isla Grande de Tierra del Fuego, Argentina. Fotografías satelitales tomadas desde Google Earth el día 22/2/2017



Figura 2a: Foto satelital descargada de Google Earth donde puede observarse las dimensiones de la laguna y los tributarios de la zona



Figura 2b: Imagen satelital que muestra laguna Carmen dentro del sistema de lagunas de la zona. Hacia el norte Laguna de la Suerte con área superficial mayor que Carmen, y hacia el sur, también muy cerca, Laguna Arturo.



Figura 3: Fotografías de Laguna Carmen, Isla Grande de Tierra del Fuego.

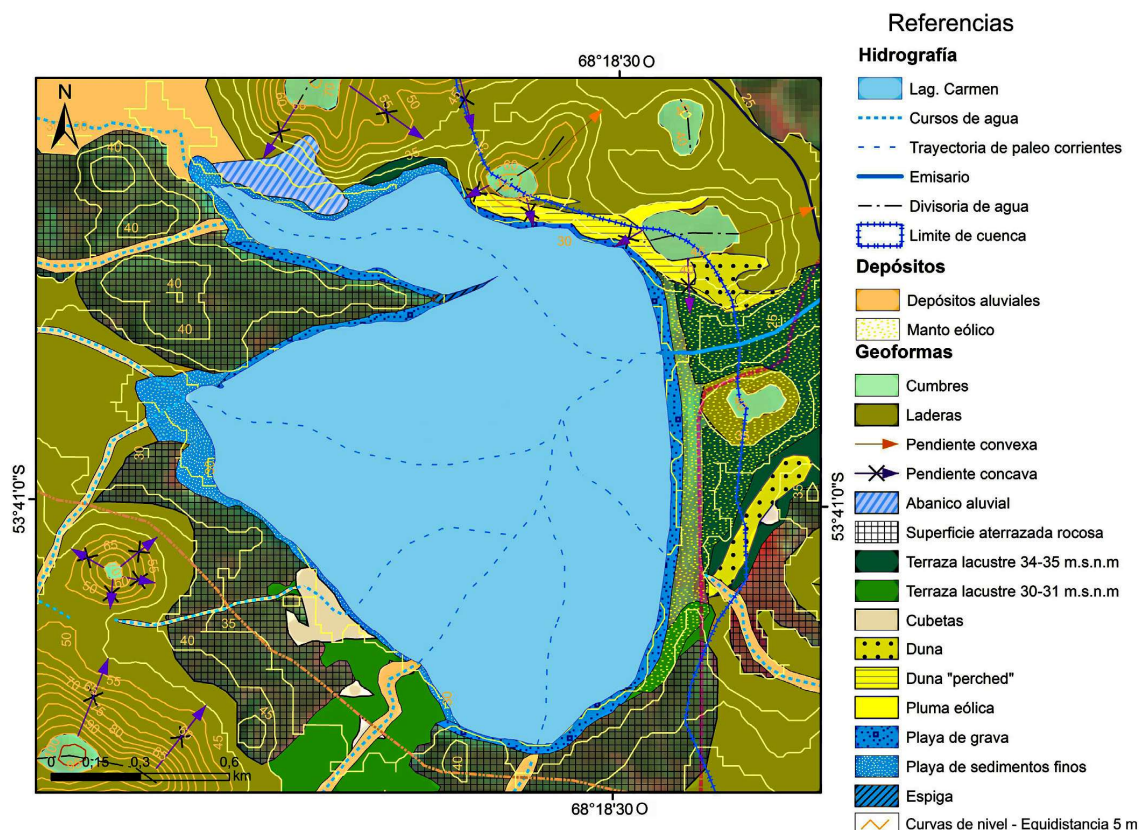


Figura 4: Mapa geomorfológico de la periferia de laguna Carmen, Tierra del Fuego. Las líneas de drenaje representadas en el cuerpo de agua indican la posible trayectoria de paleo-corrientes existentes a priori de la formación de la depresión, hoy ocupada transitoriamente por un cuerpo de agua. Se indican los puntos de muestreo de los testigos LCTF1 y LCTF2.

La laguna está emplazada en el extremo oriental de una cuenca hídrica labrada entre serranías de baja elevación. El mapa geomorfológico de la periferia de la laguna muestra el desarrollo de geoformas y depósitos de variado origen (Coronato *et al.* 2016).

- Serranías de sedimentitas marinas: son alineaciones de relieve positivo, con cumbres sub-horizontales, laderas cóncavas con valor de pendiente que oscila entre 6,58 % y 20,26 % y cerros de cumbre convexa, separados de las anteriores por líneas de drenaje, en algunos casos no funcionales. El desnivel máximo entre las cumbres y la costa de la laguna es de aproximadamente 100 m. En la ladera de la serranía ubicada en la costa norte se desarrolló un acantilado por acción del oleaje durante períodos de máxima altura del pelo de agua.
- Terrazas rocosas: se distribuyen en el oeste, sur y sudeste de la laguna. Se adosan al pie de las laderas de las serranías desarrollando una suave pendiente regional hacia el noreste. Son el resultado de erosión diferencial de estratos de areniscas del miembro superior de la secuencia litológica expuesta en la zona. Sobre esos estratos se depositaron delgadas capas

de bloques y grava fina, de origen fluvial o glacifluvial, coronadas por 0,50 m de arena sobre la que se desarrolla el suelo actual.

- Terrazas lacustres: se disponen en la costa noroeste, sur y suroeste. Se presentan en dos niveles, elevados por encima de la playa actual, el más extenso es el de mayor altura (34-35 m s.n.m.). Están conformadas por sedimentos limo-arcillosos de color gris, semejantes en textura y color a los que conforman el actual fondo de lago. En algunos sectores están desprovistas de la cubierta de suelo y sometidas a erosión por pisoteo de ganado y deflación. La acción eólica genera pequeñas cubetas que contienen agua en primavera y a partir de ellas se activan algunos cursos de agua de carácter estacional.
- Mantos y plumas eólicas, dunas: el manto eólico se desarrolla hacia el noreste en una extensión de 36,5 Ha, cubriendo parcialmente con material limo-areno-arcilloso a terrazas lacustres, depósitos aluviales y cerros rocosos aislados hasta una distancia de 9 km desde la costa; la dispersión de los sedimentos sobrepasa los límites de la cuenca. Los depósitos de manto no generan formas de relieve en particular, sino que se adaptan a las geoformas sobre las que se depositan (Coronato, *et al* 2016)
- Plumass eólicas y dunas: La pluma eólica tiene un desarrollo más localizado; se dispone en el sector sudoriental del área, sobre la terraza lacustre más alta; en ésta el contenido arenoso es mayor que en los mantos. El material que conforma ambos rasgos del paisaje es producto de la erosión eólica sobre el fondo parcial o totalmente seco de la laguna durante los veranos con sequía. Las dunas son de tipo “*lunettes*” y “*perched*”, formadas por material limo-arcilloso y limo-arenoso, respectivamente.
- Escorrentía superficial: cursos de agua temporarios drenan las serranías formadas por sedimentitas marinas durante la época de fusión nival y durante el inicio del verano. De los siete cursos que tributan a la laguna, sólo uno conforma una red hídrica con cauces múltiples; los restantes son cursos cortos y en algunos casos sin tributarios de menor orden. El tributario más importante drena desde el oeste la vertiente nororiental del Cerro Mesa (Figura 5), conformado por areniscas y conglomerados de la Formación Castillo (Codignotto y Malumian, 1981). Esta red hídrica se ajusta a valles labrados por ríos de mayor caudal que debieron existir durante períodos climáticos más húmedos.
- Cubetas: la depresión mayor que contiene el cuerpo de agua está circunscripta por afloramientos rocosos y depósitos sedimentarios de origen lacustre y eólico. La topografía de la cubeta es irregular, con desnivel de hasta 2 m y el desarrollo de dos pequeños promontorios en el sector central. La periferia de la cubeta está bordeada por playas de grava ubicadas al pie de acantilados y de terrazas lacustres.

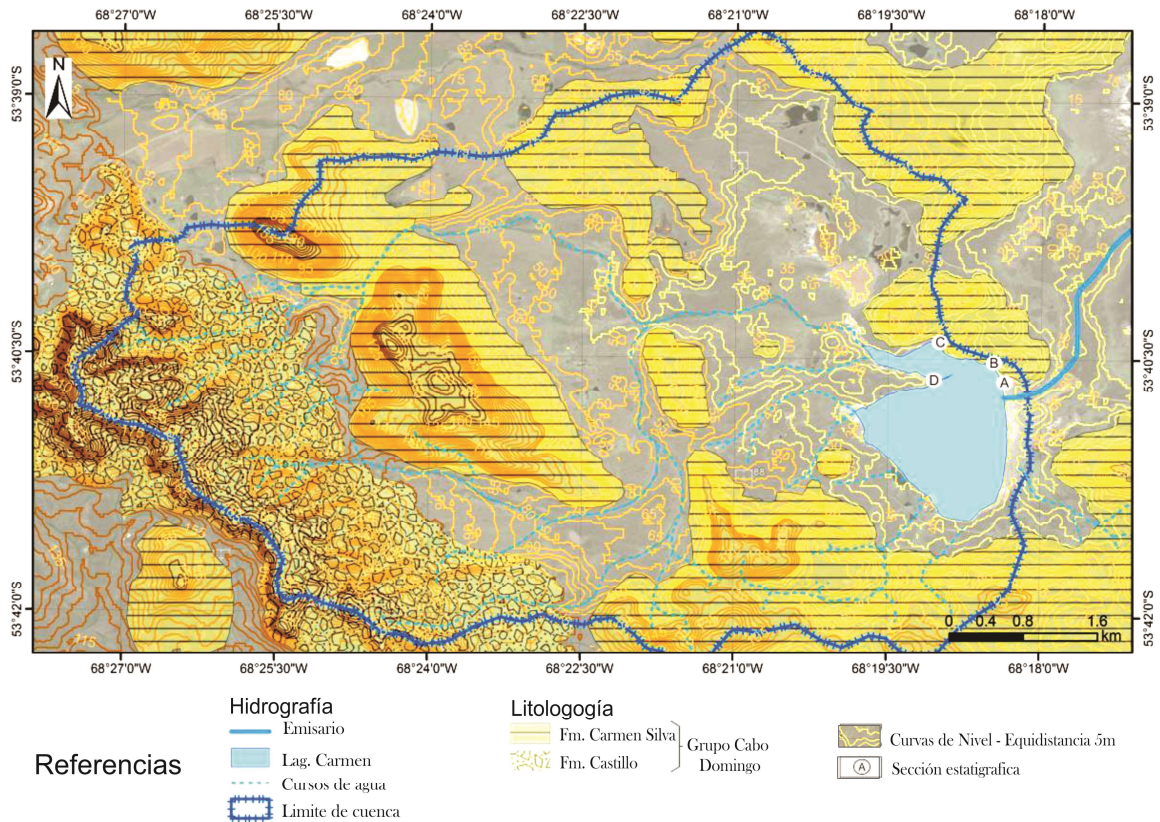


Figura 5: Mapa geológico de la cuenca de Laguna Carmen, Tierra del Fuego (modificado de Olivero et al. 2004).

Climas y ambientes naturales

De acuerdo con el sistema de Troll y Paffen (1964), que elaboraron una clasificación según la variación anual de los elementos climáticos conjuntamente con las exigencias ecológicas de la vegetación, la mayor parte de Tierra del Fuego pertenece a la “zona fría-templada”, con tres variantes climáticas dispuestas en sentido sudoeste – noreste: el clima oceánico fuerte, el clima oceánico y el clima seco con inviernos suaves de la estepa (Fig. 6.1). Según el sistema de clasificación de Walter *et al.* (1976), con nueve zonas climáticas ecológicas globales, Tierra del Fuego se ubica dentro de la variante “clima oceánico acentuado” de la zona antártica IX (Fig. 6.2). Con la excepción de la cordillera de los Andes, el clima de Tierra del Fuego es similar al del sur de Alaska y oeste de Escandinavia y las temperaturas medias varían entre -1°C y 10°C , con precipitación anual de 450 mm, vientos dominantes del sudoeste y fuertes tormentas (Rebertus *et al.* 1997).



Figura 6.1 : División climática de la región magallánica según el sistema de climas estacionales (Troll, 1964).



Figura 6.2: División de la región magallánica según la clasificación climática ecológica global (Walter et al. 1976).

Las características climáticas de Tierra del Fuego están influenciadas por los océanos Pacífico y Atlántico y la cercanía de la Antártida (aproximadamente 1.000 km). Los océanos moderan el enfriamiento invernal, lo que se manifiesta con temperaturas medias en las costas de Tierra del Fuego por encima del punto de congelación (Tuhkanen *et al.* 1990). Este efecto oceánico moderador se acentúa en invierno sobre la costa pacífica por acción de la corriente de aire proveniente del oeste. En la costa atlántica la corriente de agua fría proveniente de las Islas Malvinas, produce un enfriamiento de las temperaturas invernales debajo de 0° C.

La influencia anual ciclónica O-SO se relaciona con la dirección dominante de los vientos (Tuhkanen 1992). En invierno Tierra del Fuego se halla al paso del viento antártico que provoca condiciones secas y ventosas. Sobre la superficie relativamente cálida de las aguas oceánicas este viento frío se calienta rápidamente y se humidifica en su marcha con rumbo norte hacia Tierra del Fuego.

Con este patrón de vientos dominantes y el relieve de los Andes, se genera un acentuado gradiente de precipitación que influye en la distribución de la vegetación. Las nubes húmedas que transportan los vientos provenientes del Pacífico, descargan en la ladera oeste de los Andes. A causa de estas particularidades climáticas y de la geomorfología se presentan en Tierra del Fuego tres ambientes naturales muy bien diferenciados: la estepa en el norte, la zona de transición entre estepa y bosque en la región colinada central y la región boscosa de montaña en el sur.

Laguna Carmen se encuentra en el ambiente de Estepa, libre de bosques, en el sector norte de Tierra del Fuego, que abarca una superficie aproximada de 400.000 hectáreas (Catalano y

Fernández, 1986). El clima se caracteriza por temperaturas medias que oscilan entre 0°C en invierno y 10°C en verano. Las precipitaciones muestran una distribución anual relativamente regular, con excepción de un marcado aumento en marzo. La estepa tiene planos de meseta levemente ondulados, que están atravesados por valles de ancho variable que se disponen con dirección este-oeste. Los ríos más importantes son el Grande y el Chico. El pasto estepario *Festuca gracillima* (coirón) domina la vegetación y el uso de la tierra es exclusivamente ganadero, principalmente para la cría de ovinos.

CAPÍTULO II: MAGNETISMO AMBIENTAL

El material magnético presente en los sedimentos del fondo del mar clasificarse en detrítico, autigénico y diagenético. Los minerales detríticos son aquellos transportados por el agua y el viento, y se originaron a partir de la meteorización de roca madre preexistentes de diversas áreas de proveniencia. Los minerales autigénicos son los que se forman por procesos químicos y biológicos, in situ, después de la depositación, y los diagenéticos son aquellos que se forman debido a la transformación de minerales magnéticos, o no magnéticos, en otro tipo de minerales en procesos acaecidos durante el soterramiento en donde la temperatura del ambiente no supera los 200°C (Thompson y Oldfield, 1986).

Los materiales magnéticos presentes en una cuenca sedimentaria dependen de cuatro factores. Dos de estos factores dependen del material geológico transportado en forma activa, por aire, (viento) y agua (cursos permanentes o transitorios). Y el material producido por rocas, suelos y sedimentos circundantes generalmente transportado por cortas distancias por agua de escorrentía. Ambos factores están directamente relacionados con las condiciones climáticas del ambiente (viento y precipitación).

Una tercera forma de depositación en el lago se produce cuando las condiciones del pH facilitan la productividad del lago. Esto depende de la disponibilidad de nutrientes y el clima.

Por último, la cuarta forma de deposición depende exclusivamente de factores biológicos, esto es, los procesos metabólicos producidos por distintas bacterias anaeróbicas que pueden generar minerales magnéticos como magnetita, todo ello relacionado con las condiciones redox y éstas a su vez indirectamente vinculados a factores ambientales

El Magnetismo Ambiental es una disciplina, dentro de la Geofísica, relativamente nueva que surge a partir del magnetismo de rocas y tiene como objetivo fundamental estudiar las propiedades magnéticas de sedimentos medidos en presencia o ausencia de campo magnético, y

relacionar éstos con los ambientes de formación de dichos minerales (Thompson y Oldfield 1986).

El magnetismo ambiental está relacionado con el estudio del transporte, deposición, formación y transformación de los minerales magnéticos debido a los procesos ambientales. Puede ser aplicado a la caracterización de los procesos litosféricos, hidrosféricos y atmosféricos, tanto en el pasado como actualmente. Tiene perspectivas tan amplias porque toda la materia experimenta un comportamiento magnético. En concreto, el hierro y los minerales que contienen hierro muestran propiedades magnéticas muy fuertes y pueden estar detectadas aún en muy bajas concentraciones. Las propiedades magnéticas varían con la composición, el tamaño de grano y la concentración de las fases magnéticas presente en el sistema, por lo cual son sensibles a procesos ambientales variados.

La importancia de las mediciones magnéticas en los registros de sedimentos y suelos, reside en la capacidad de registrar (grabar) el campo magnético terrestre (de lo que trata el paleomagnetismo), registrar cambios climáticos y diferentes procesos ocurridos en la naturaleza (magnetismo ambiental) así como también de absorber, y/o incorporar, en su estructura cristalina elementos tóxicos o metales pesados cuando son producidos por fuentes antropogénicas (contaminación y magnetismo ambiental). Entre otros ejemplos de interés, la contaminación de sistemas fluviales, así como de suelos y su relación con parámetros magnéticos (Susceptibilidad magnética, magnetización remanente, entre otros) en distintos ambientes es útil para determinar la presencia de contaminantes.

El estudio de las propiedades magnéticas, permite comprender de manera más acabada los procesos pedogenéticos y su relación con la alteración y/o génesis de minerales magnéticos y por ende inferir climas pasados (Orgeira *et al.* 2009). La importancia reside en la sensibilidad que tienen las partículas magnéticas al cambio climático, como consecuencia de los procesos pedogenéticos (Orgeira *et al.* 2003).

Principios físicos

Para introducirnos en el magnetismo ambiental, es fundamental tener presente algunos conceptos.

Campo magnético: es el efecto generado en el espacio por una corriente eléctrica, o imán, en la que una carga eléctrica puntual de valor (q) que se desplaza a una velocidad (v) experimenta los efectos de una fuerza que es perpendicular y proporcional tanto a la velocidad (v) como al campo (B). Esto se explica a través de la ley de Faraday.

$$\vec{F} = q \cdot \vec{v} \times \vec{B}$$

También es importante conocer cuán magnetizable es un material, pues es aquí donde radican las bases del magnetismo ambiental. Si se coloca una pieza de material en un campo magnético uniforme (H) y el material adquiere magnetización por unidad de volumen (M), esto se define como Susceptibilidad volumétrica:

$$K_m = \frac{\left| \vec{M} \right|}{\left| \vec{H} \right|}$$

En SI (Sistema internacional) M y H, se miden en A/m, por lo tanto κ es adimensional. Si a la susceptibilidad volumétrica (κ) se la divide por la densidad (ρ) se obtiene la susceptibilidad másica:

$$\chi = \frac{K}{\rho}$$

Como κ es adimensional, χ posee unidades inversas de densidad, la susceptibilidad másica entonces se expresa en m^3/kg (Evans y Heller 2003).

En función de la susceptibilidad o sensibilidad de los materiales a la magnetización, se pueden clasificar las sustancias en: diamagnéticas, paramagnéticas, ferromagnéticas, antiferromagnéticas y ferrimagnéticas. El comportamiento de los materiales se debe al momento orbital que poseen los electrones en sus capas más externas.

i) Diamagnetismo

Son sustancias que poseen momento magnético neto nulo, o sea su susceptibilidad es muy pequeña y negativa. El comportamiento de estos cuerpos frente a un campo externo fue estudiado por Paul Langevin (1905). El ejemplo más significativo es el agua cuya susceptibilidad es $\chi = -0.9 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$.

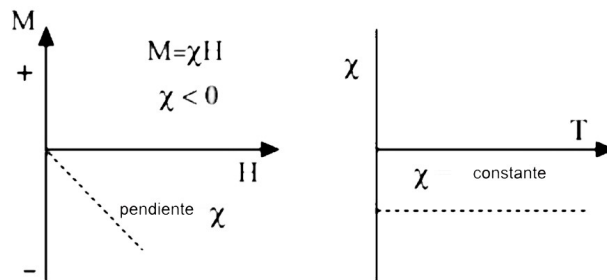


Figura 7. Comportamiento de una sustancia diamagnética (Dunlop et al 1997).

En general son diamagnéticos (Bercoff 2010):

- Los elementos con capas electrónicas llenas, gases nobles (He, Ne, Ar) cuyos electrones poseen momento cero.
- La mayoría de los gases diatómicos (H₂, N₂).
- Compuestos orgánicos.
- Algunos enlaces covalentes, porque comparten electrones. Ej. diamante.
- Minerales como la mayoría de los silicatos sin Fe, cuarzo, calcita, etc..

ii) Paramagnetismo

Pierre Curie realizó las primeras mediciones experimentales de susceptibilidad vs. Temperatura (X vs. T°). Encontró que ciertos materiales, al aplicar un campo magnético, experimentan una respuesta, pero al ser removido la magnetización vuelve a cero. Esta característica se conoce como la Ley de Curie-Weiss.

$$X = \frac{C}{T - T_c}$$

Donde C es la constante de Curie, T la temperatura absoluta medida en Kelvin, T_c es la temperatura de Curie medida en Kelvin.

Esta ley supone que el material está compuesto de átomos y moléculas cuyo momento neto es cero. Cuando el campo magnético es cero los electrones se orientan al azar y la magnetización es nula. Al aplicar campo magnético los electrones se alinean según el campo aplicado, pero al aumentar la temperatura, debido a la agitación térmica los electrones pierden esa alineación. Por lo tanto, la susceptibilidad de estos materiales es pequeña y positiva (Fig. 8) y con el aumento de la temperatura la susceptibilidad decrece aún más. Por ejemplo, la susceptibilidad de la pirita es de $5 \times 10^{-7} \text{ m}^3/\text{kg}$.

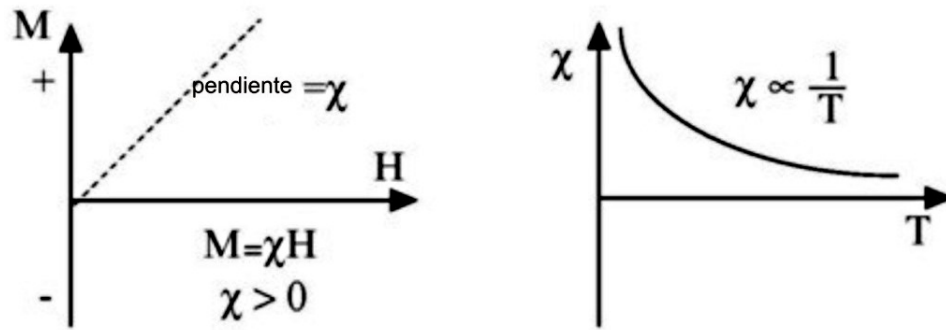


Figura 8. Comportamiento de una sustancia paramagnética (Dunlop y Özdhemir 1997).

Son sustancias paramagnéticas (Bercoff 2010):

- Sales de elementos de transición cloratos, sulfatos, carbonatos (Cr, Fe, Mn y Co)
- Minerales como la fayalita, biotita u otros filosilicatos con Fe, pirita, ilmenita, ulvoespinelo, anfíboles, piroxenos, entre muchos otros.

iii) Ferromagnetismo

En sustancias puras autosaturadas, los momentos magnéticos están altamente ordenados en la misma dirección y son lo suficientemente fuertes para generar magnetización espontánea (Fig. 9). Estas sustancias poseen una susceptibilidad muy alta, pero es muy raro encontrarlas en forma pura en la naturaleza. Son materiales ferromagnéticos el Fe, Ni, Co y los elementos con número atómico menor al Tantalio (Ta) (Dearing 1994).

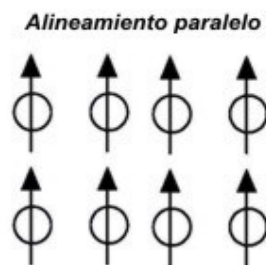


Figura 9. Alineamiento de una sustancia ferromagnética (Dunlop y Özdhemir 1997).

iv) Antiferromagnetismo

Son sustancias que se pueden visualizar como dos subredes magnéticas interpenetradas, los electrones de cada subred son antiparalelos, pero de igual magnitud y distinto sentido (Fig. 10). Cuando se aplica un campo por encima de la temperatura de Néel cada subred se magnetiza en dirección del campo, pero como son antiparalelos, la magnetización tiende a ser mínima. Sin embargo, pueden existir pequeñas desviaciones en los alineamientos antiparalelos de los momentos magnéticos. Este apartamiento de la colinealidad se conoce como canting o canteo (Fig. 11) que da como resultado una pequeña magnetización neta. Macroscópicamente se comportan como ferromagnéticos pero no saturan.

Son sustancias antiferromagnéticas canteadas: Minerales como la hematita y la goethita entre otros.

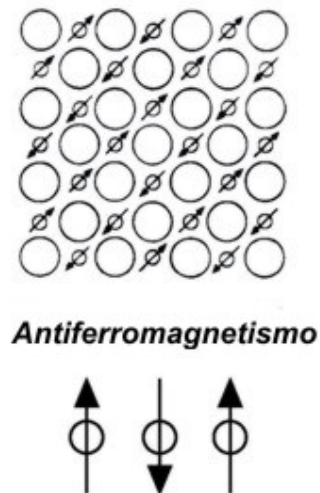


Figura 10: Alineamiento de una sustancia antiferromagnética (Dunlop y Özdhemir 1997).

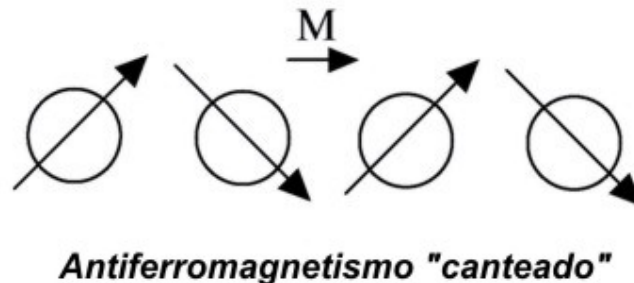


Figura 11: Configuración de la red en minerales con canting.

v) Ferrimagnetismo

Estas sustancias poseen momentos magnéticos fuertemente alineados pero de distinto sentido y magnitud, controlado por la red cristalina de los minerales o sustancias (Fig. 12). El momento magnético es la suma de los momentos cuya resultante será positiva. Su susceptibilidad es alta y positiva.

Son ferrimagnéticas (Bercoff and Bertorello, 2010):

- Magnetita
- Maghemita
- Titanomagnetita
- Titanohematita
- Pirrotina
- Greigita

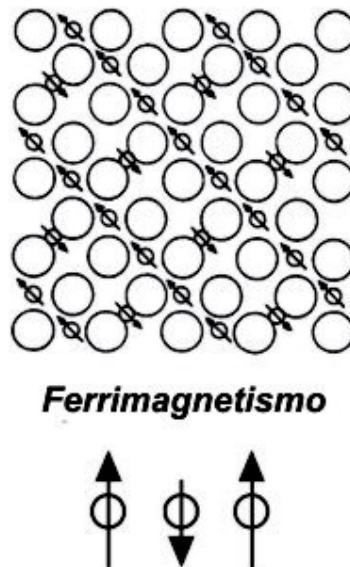


Figura 12: Alineamiento de una sustancia ferrimagnética (Dunlop y Özdhemir 1997).

Como se ha mencionado anteriormente todas estas sustancias se comportan de manera diferente ante un campo magnético, en el caso de los diamagnéticos y los paramagnéticos cuando el campo es removido la magnetización vuelve a cero, esto no es así con las sustancias ferromagnéticas y ferrimagnéticas. Cuando estos materiales se someten a un campo hasta saturar y luego el campo es removido, la magnetización no vuelve a cero. Este efecto se denomina histéresis magnética y se obtiene a través de un ciclo de histéresis, que consiste en aplicar un campo hasta saturar, removerlo y luego revertirlo (Fig. 13).

En los ciclos se obtienen los siguientes parámetros magnéticos: magnetización de saturación (M_s) se obtiene luego de someter la muestra a un campo alto y ésta satura. Luego que se remueve este campo, la muestra queda con una magnetización de saturación remanente (M_{rs}). Si se aplica un campo reverso que conduce la magnetización a cero se denomina fuerza coercitiva (H_c). Para arribar al punto, luego de remover el campo, donde la muestra posea remanencia cero se denomina coercitividad de la remanencia (H_{cr}) (Maher y Thompson 1999).

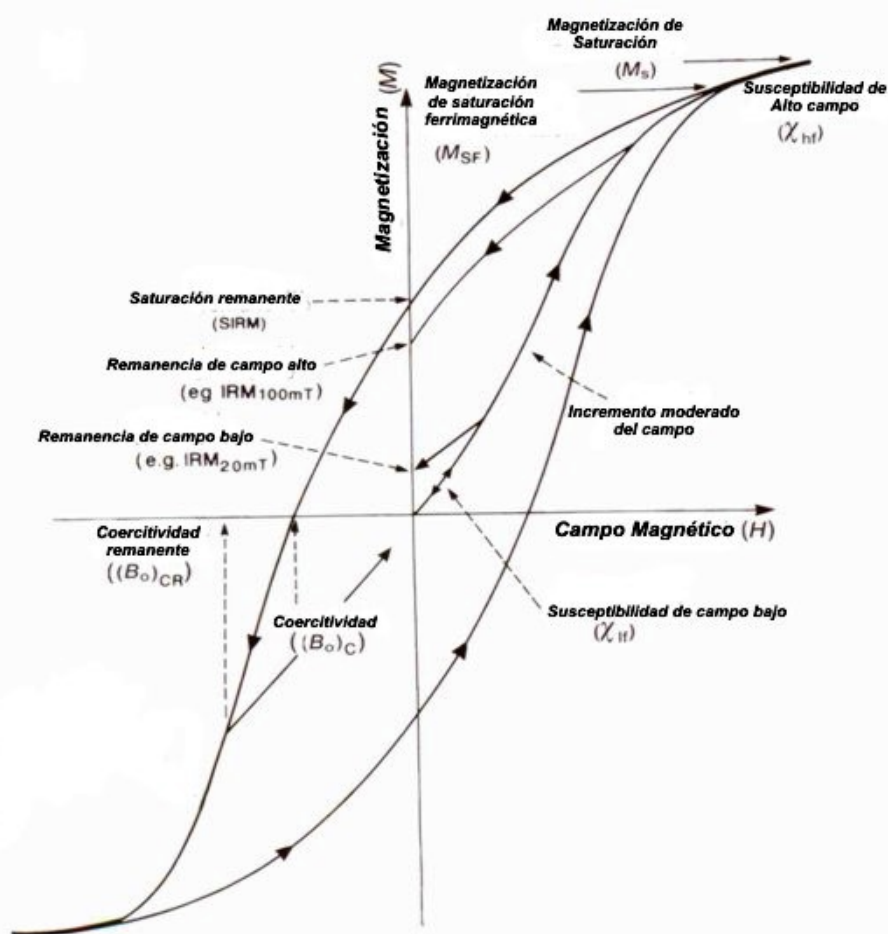


Figura 13: Ciclo de histéresis y sus componentes (Maher y Thompson 1999).

La forma de los ciclos, junto con los cocientes entre M_{rs}/M_s y H_{cr}/H_c , son empleados como elementos diagnósticos e indican tamaño de grano magnético (Dunlop 2002).

Las sustancias ferromagnéticas en su interior, se encuentran divididas en regiones llamadas dominios magnéticos. Los minerales que poseen más de un dominio se llaman multidominio (MD) y poseen un diámetro aproximado de $110 \mu\text{m}$, aquéllos que poseen un solo dominio se denominan dominio simple (DS) y su diámetro aproximado es $<2 \mu\text{m}$. Como el límite entre ambos no es preciso, existen granulometrías intermedias, hay granos que poseen características

mixtas entre MD y DS, a los que se denomina pseudodominio simple (PDS); dicho tamaño oscila entre los 0,2-110 μm . Otro tamaño más pequeño y de relevancia en valoraciones ambientales es el de partículas súper paramagnéticas (SP) e incluye granos ultrafinos cuya dimensión es $<0,03\mu\text{m}$, y con propiedades magnéticas únicas (Fig. 14). Su magnetización es fuerte e inestable debido a que la magnetización térmica contrarresta la magnetización inducida de manera muy rápida luego de ser removido el campo. Poseen un comportamiento similar a un paramagnético, pero con susceptibilidad mucho mayor (Dearing 1994).

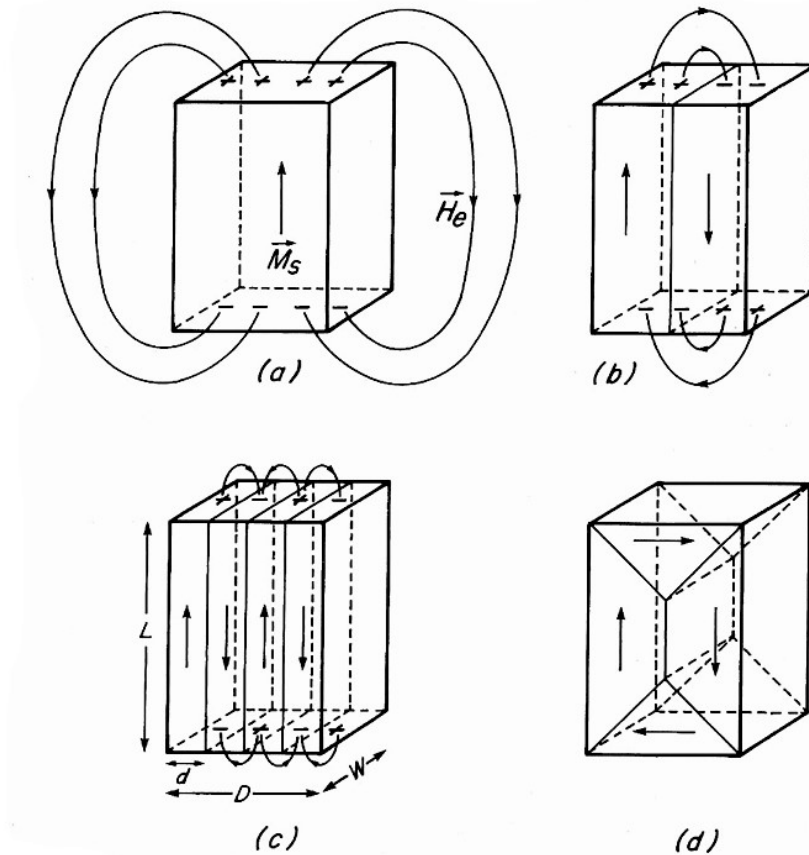


Figura 14. Esquemas de dominios. A) Dominio simple y b) c) y d) multidominio (Dunlop et al 1997).

CAPÍTULO III: ANÁLISIS DE SEDIMENTOS.

De acuerdo con (Evans, 2003), un medio sedimentario puede definirse como una parte de la superficie terrestre donde se acumulan sedimentos y que se diferencia física, química y biológicamente de las zonas adyacentes. Los ambientes o medios sedimentarios, pueden clasificarse en varios grupos y subgrupos y para su estudio se definen litofacies y sus

asociaciones. Para la sedimentología moderna las facies son productos resultantes característicos y varían de acuerdo con los diferentes agentes de transporte y sedimentación. Las facies pueden subdividirse en litofacies y biofacies. En la definición de biofacies prima el contenido de organismos fósiles (macro y/o microfósiles), además las estructuras orgánicas que las contienen permiten establecer las condiciones ambientales en las se formó.

Las litofacies son cuerpos de roca sedimentaria con características específicas. Se pueden definir por su color, estructuras, composición, textura, fósiles y arquitectura sedimentaria. Normalmente por una combinación entre estos atributos. Aún cuando su definición se efectúa con un criterio enteramente objetivo, se considera que este cuerpo de roca ha sido formado bajo determinadas condiciones físicas y químicas, y por lo tanto evidencia un proceso sedimentario en particular.

En los lagos el proceso de sedimentación es relativamente rápido, como consecuencia el estudio de los mismos proporciona la información necesaria para estudiar el pasado reciente.

De acuerdo con Miall (1996), el estudio e interpretación de las texturas, estructuras sedimentarias, fósiles y asociaciones litológicas de rocas sedimentarias a escala de afloramiento, de pozo o de un pequeño segmento de cuenca constituye el análisis de facies. Dicho autor propone que cada litofacies es un evento deposicional individual y que las mismas pueden ser agrupadas en asociaciones, que son la base para definir un modelo sedimentario.

Una asociación comprende facies ligadas genéticamente, por lo que reflejan un proceso, o procesos, en un determinado medio, o asociación de medios, durante un tiempo suficiente como para producir depósitos observables en el registro geológico.

Los sistemas lacustres, tanto actuales como fósiles, presentan una serie de peculiaridades o características que los diferencian de otros sistemas sedimentarios. De acuerdo con Allen (1963), algunas características son:

1. Las sucesiones lacustres brindan un buen registro temporal sobre los cambios ocurridos en los cuerpos de agua, dado que tienen un tiempo de respuesta corto a las variaciones que puedan sufrir en el medio, por lo que la posibilidad de que la huella quede incorporada al registro sedimentario es alta.
2. Pueden presentar variado rango de salinidad, pH, concentración de distintos iones y de elementos de origen orgánico como el fosforo y el nitrógeno.
3. El aporte de sedimentos y la tasa de sedimentación son, en general, independientes de las variaciones en el nivel del mar, que a su vez determina el espacio de acomodación disponible.
4. Los factores de control que determinan la configuración del lago, su composición y su dinámica, al igual que los que determinan su evolución sedimentaria interactúan de

distinta manera, y con distinta intensidad, a distintas escalas temporales. Por ejemplo, la tectónica es un factor que a corto plazo, o para un momento concreto de la vida de un lago, puede determinar la morfología de la cuenca lacustre, los patrones de drenaje de entrada y de salida del cuerpo de agua, la sismicidad regional y su posible reflejo sedimentario, etc.; A medio y largo plazo la tectónica determinara la conservación o no del registro sedimentario lacustre y las modificaciones drásticas o de mayor magnitud que se puedan producir en la configuración de la cuenca lacustre (Miralles, 2010).

Breve descripción de los procesos de sedimentación

La geografía del lugar, el contexto geomorfológico, los regímenes de lluvias, determinan la hidrología de la cuenca lacustre. Además, juegan un papel muy importante la biota del lugar y la dinámica del cuerpo de agua en sí mismo. El clima es uno de los factores de sedimentación que más impacta en la dinámica de un cuerpo de agua. De él y de su combinación con otras variables como el contexto geológico dependen la precipitación, la insolación, la temperatura, el régimen de vientos, la frecuencia de tormentas y su intensidad y las variaciones estacionales de estos factores. Juega, por tanto, un papel fundamental el balance hídrico del sistema, y las salidas de agua por evaporación o por drenaje desde el lago hacia otros puntos de la cuenca.

El régimen y la cantidad de precipitaciones condicionan la cantidad de agua de la que dispone el lago, bien por aporte directo de la lluvia y drenaje superficial desde otros puntos de la cuenca hidrográfica, bien por aporte indirecto por drenaje subterráneo.

La cinética y el comportamiento físico del agua dependen de la temperatura, y por consiguiente la densidad dependerá también de ésta. De esta forma, la temperatura, al producir variaciones en la densidad, condiciona un gran número de reacciones químicas que producen sedimento, o que, de una forma u otra intervienen en la dinámica del sistema.

En lagunas de mayor profundidad, las variaciones estacionales anuales son uno de los factores que intervienen en los procesos de mezcla de la columna de agua; de la estacionalidad del ambiente depende que las aguas de un lago puedan estratificarse o mezclarse una o varias veces al año. Esto no ocurre en Laguna Carmen, ya que es una laguna con poco caudal de agua.

Además, el régimen de vientos va a determinar la magnitud y constancia del oleaje que se pueda producir en el cuerpo de agua y es relevante como mecanismo conductor o coadyuvante de los procesos de mezcla de la columna de agua (Allen, 1983).

El clima también tendrá una fuerte influencia en la biota tanto dentro, como fuera del lago.

En la cuenca el drenaje, los procesos de erosión y meteorización que producirán el sedimento detrítico que se aportará al lago o laguna, dependerán igualmente del clima.

Todos los procesos y factores que dependen del clima se verán modificados a medida que éste evolucione y se modifique. Será, por tanto, un factor primordial en la evolución sedimentaria a medio y largo plazo, es decir a escala geológica (Miralles, 2010).

Las zonas topográficamente deprimidas reciben aportes de agua continental superficial o subterránea. Estas depresiones se pueden generar de varias formas, todas relacionadas directa o indirectamente con procesos tectónicos y geomorfológicos activos en la cuenca sedimentaria. La tectónica puede controlar también los patrones de drenaje de la cuenca y tener por tanto un papel importante en su hidrología y en la forma en que el agua y los sedimentos llegan finalmente a la laguna. Además, en los lagos se pueden depositar sedimentos de granulometría fina entre arcilla y arena fina, aunque no es raro encontrar texturas medias o gruesas, dependiendo de la energía del medio. Generalmente las granulometrías mas gruesas se encuentran hacia los márgenes de la cuenca o cerca de los afluentes, mientras que las finas se depositan en el depocentro de los lagos (Eugster and Hardie, 1978).

La morfología general de la cuenca guarda una fuerte relación con la tectónica, con los procesos geomorfológicos activos con la composición litológica del sustrato, con el clima, y con los procesos sedimentarios activos. Esta morfología participará decisivamente en la hidrología de la cuenca, es decir en la forma y tiempo en que se reparte de manera efectiva el agua dentro de la cuenca y por tanto en como llega a los lagos.

Así puede ocurrir que cuerpos de agua de distintas edades tengan estructuras de drenaje similares, esto producido porque están emparentados por los mismos procesos tectónicos (Miralles, 2010).

La biota y su dinámica, son factores que pueden tener un gran impacto en la sedimentación lacustre. En principio los ecosistemas asociados a un lago y su entorno dependerán de la región biogeográfica en la que el lago se encuentre, determinada por factores evolutivos y controlados fuertemente por el clima del lugar (Katz, 1990).

Propiedades físico químicas de los sistemas lacustres.

La densidad en un líquido varía con la temperatura, por lo tanto, es una de las magnitudes físicas que más control ejerce sobre la sedimentación de un sistema lacustre, no depende solo de la temperatura, sino que indirectamente influyen factores como la salinidad y la concentración de sedimentos. La principal fuente de calor de un lago es la insolación, por lo tanto, tiene un

gradiente vertical negativo con la profundidad, decreciente en forma lineal desde la parte superior hasta las partes más profundas. En el caso de Laguna Carmen este no es un factor determinante debido a la poca profundidad de la laguna.

El viento es, además, el agente conductor y productor de oleaje y de corrientes litorales derivadas de éste. Las corrientes tendrán un reflejo directo en los procesos de transporte y sedimentación por encima del nivel de base del oleaje normal. La presencia de plantas subacuáticas, macrófitos y algas puede jugar un papel importante en la efectividad del oleaje y las corrientes derivadas e influir en los procesos de distribución del sedimento, ya que pueden amortiguar su energía y atrapar el sedimento, aunque la acción de oleajes muy violentos puede inhibir su crecimiento (Miralles, 2010). El oleaje de tormenta puede llegar a tener una influencia importante en zonas profundas del lago y redistribuir los sedimentos acumulados previamente en los distintos cinturones ambientales (Katz, 1990).

El viento es el agente de transporte de sedimentos en suspensión y el responsable de la redistribución y dinámica que sigue el sedimento que se encuentra en la capa superficial del agua (Miall, 2014a).

También influye en la hidrodinámica del sistema lacustre la interacción que se produce entre el agua del lago y el agua que entra desde su cuenca de drenaje, que puede mostrar salinidad variable, puede ser limpia o con carga de sedimentos. La diferencia de densidad entre las dos masas de agua creará los gradientes de densidad necesarios para inducir circulación y crear corrientes dentro del cuerpo de agua, estas corrientes dependerán de la circulación del agua que ingresa al cuerpo del agua.

El comportamiento físico del agua de un lago tiene un reflejo directo en las características de los sedimentos que acumula, de manera que en sucesiones antiguas gran parte de los parámetros que determinan las características hidráulicas e hidrodinámicas pueden ser inferidos o deducidos a partir del análisis sedimentológico (Miralles, 2010).

CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA Y RESULTADOS.

METODOLOGÍA

En marzo de 2011 se obtuvieron dos testigos de fondo lacustre denominados LCTF1 y LCTF2, de 1,15 y 1,17 m de longitud respectivamente, utilizando un equipo tipo piston-corer. Los testigos están en resguardo en cámara fría (4°C) y oscuridad en el SACMa (Sondeos Ambientes Continentales y Marinos, FCEyN) de la Universidad de Buenos Aires, donde se realizó la descripción sedimentológica y posterior muestreo para análisis diversos.

Las dataciones radiocarbónicas fueron realizadas por AMS en el Arizona Laboratory Facility (Arizona University, EEUU). La calibración de las edades se realizó con el software CALIB 7.0 software (Stuiver et al., 2014) utilizando la curva para el Hemisferio Sur (SHcal13) (Hogg *et al.* 2013).

Se definieron las litofacies sedimentarias teniendo en cuenta espesor, geometría de los bancos, color, estructuras sedimentarias y grado de consolidación, tamaño de grano y composición. El color se determinó usando los estándares cromáticos de *Rock Color Chart Committee* y el código de litofacies fue modificado del propuesto por Miall (1996).

Para el estudio de ostrácodos se procesaron alícuotas de muestras de sedimento obtenidas cada 2.5 cm para la extracción de restos de ostrácodos según métodos estándar. Las muestras para ostrácodos fueron lavadas bajo agua corriente en un tamiz de malla Tyler Standard # 200 y el residuo secado en estufa termostática a 40°C. Los sedimentos secos fueron examinados bajo lupa binocular; los ejemplares presentes fueron extraídos con pincel y almacenados en portaobjetos micropaleontológicos. Los ostrácodos fueron contados, clasificados según estadio ontogenético y determinados a nivel específico mediante el uso de bibliografía especializada (Ramón Mercáu, 2015). Se aplicó una función de calibración para la reconstrucción de la conductividad eléctrica (CE) como proxy de salinidad desarrollada para Patagonia (Ramón Mercáu y Laprida, 2016) a las muestras con número absoluto de individuos ≥ 50 .

El muestreo para propiedades magnéticas se efectuó tomando cada espécimen contra el siguiente, siendo cada uno de ellos representativo de la sedimentación de 2 cm. Este mismo espaciado se empleó para el muestreo de las determinaciones químicas.

Las determinaciones de C total y C orgánico fueron efectuadas por el Laboratorio Agroambiental del Ingeis (UBA- CONICET); el resto de las determinaciones fueron efectuadas en el laboratorio privado DTP Laboratorios S.R.L. como servicios a terceros.

RESULTADOS.

I. Análisis sedimentológico

Los testigos fueron inicialmente descriptos someramente antes de comenzar los muestreos para las diferentes especialidades, una descripción preliminar se encuentra en la figura 15 (Coronato *et al*, 2017). Como puede verse en la figura 15, aun siendo extraídos a escasa distancia, resulta dificultosa la correlación litoestratigráfica debido a que ambos testigos estarían influenciados por la entrada de material proveniente de diferentes afluentes. Posteriormente se efectuó una descripción detallada del testigo LCTF1 (Figs. 16 y 17), la que se detalla a continuación. La obtención de proxies y datos por diferentes metodologías, así como la discusión de los resultados obtenidos se centró específicamente en este testigo.

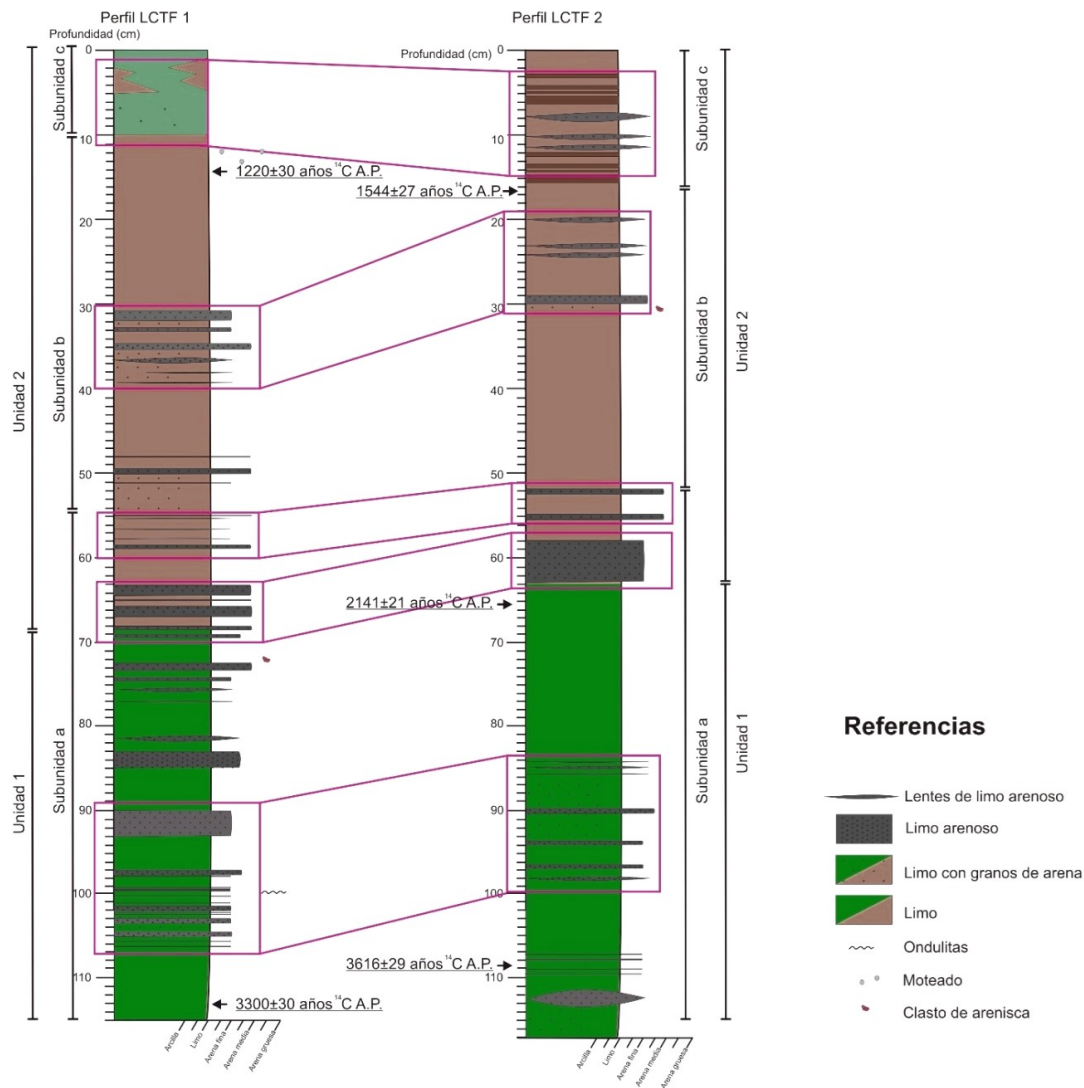
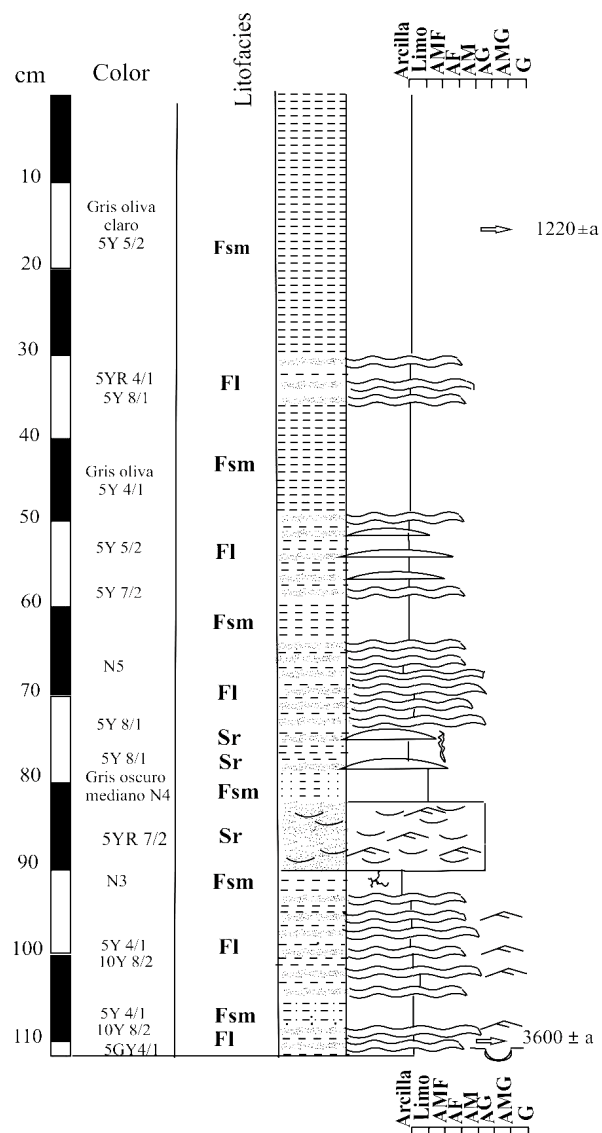


Figura 15: Descripción somera de ambos perfiles LCTF1 y LCTF2 (tomado de Coronato *et al.*, 2016)



Referencias

Litología	Estructuras Sedimentarias		Código de Litofacies
Arena	Masivo	Grietas con arena	Sr: arenas con ondulas Fl: arena, limo, arcilla, laminación fina, pequeñas ondulas Fsm: arcilla, limo, masivos Fr: massive by root emplacement
Fango	Ondulitas	Laminación flaser	
Arcilla	Laminación ondulosa	Estructuras de deformación	
	Laminación Lenticular	Grieta de contracción	

Figura 16: Perfil sedimentario del testigo L.C.T.F 1.

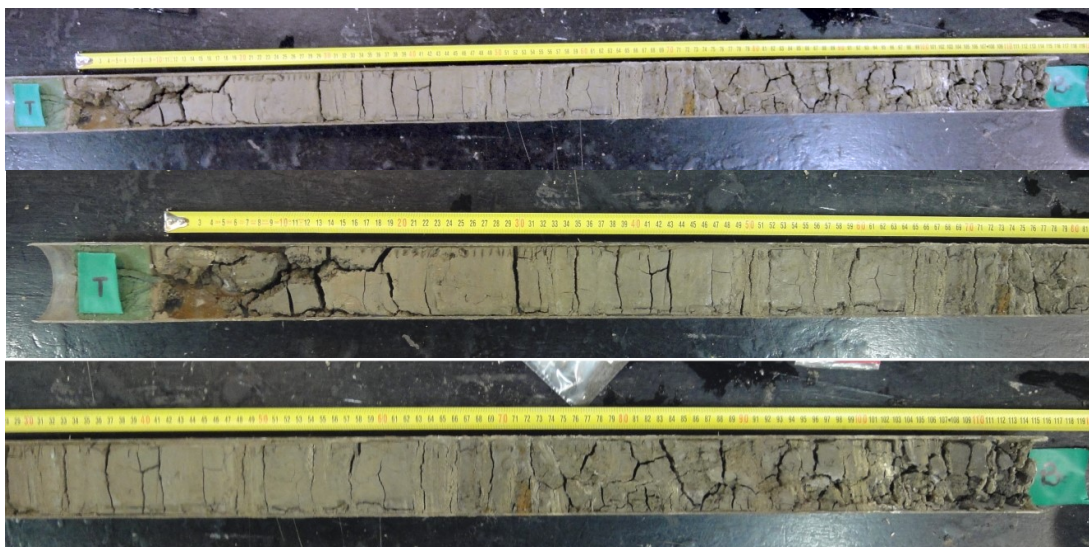


Figura 17: Imágenes del Perfil L.C.T.F 1 completo

La sucesión de 1,13 m de espesor (Figs. 16 y 17), está compuesta por sedimentos heterolíticos areno-limo-arcillosos (litofacies Fl con litofacies Sr y Fms subordinadas), dominantes desde la base hasta los 65 cm de profundidad, mientras que, desde dicha profundidad hasta el tope, predominan los sedimentos tamaño arcilla (litofacies Fms), con algunas láminas dispersas de arena, limo y arcilla (litofacies Fl).

Descripción e interpretación de litofacies

Litofacies Fl:

Está constituida por láminas finas a gruesas (1 a 30 mm), en la que se observan arenas finas a medias, limos y arcillas alternantes con laminación ondulosa (figura 18). Los banquillos de arena y limo grueso, de color gris oliva (5Y4/1), tienen laminación cruzada de pequeñas ondulitas. Las láminas de arcilla, de color gris verdoso oscuro (5GY 4/1) rellenan casi completamente las artesas de las ondulitas y forman una cubierta algo más fina sobre las crestas, por lo que la superficie de la lámina de arcilla sigue aproximadamente la concavidad y la convexidad de las ondulitas subyacentes. En algunos casos las láminas de arcilla son discontinuas, ya que no llegan a cubrir las crestas de las láminas de arena. La laminación ondulítica de las láminas de arena es verticalmente discontinua.



Figura 18: Intercalación de láminas de arena (claras) y arcilla (oscuras) en el sector basal del testigo

Para que se haya formado esta litofacies se requieren condiciones en que haya preservación tanto de las estructuras de arenas como de las arcillas. Representan, por lo tanto, deposición desde corrientes tractivas débiles (láminas arenosas y de limo grueso) y desde suspensión (láminas de arcilla y limo fino). En algunas ocasiones ha podido observarse que las láminas de arenas presentan gradación normal (figura 19).



Figura 19: Intercalación de láminas de arena y arcilla en el tramo medio del testigo. La punta de la espátula marca laminación granodecreciente.

Litofacies Fsm:

Se distingue de la litofacies Fl por la ausencia de bancos de arena. Está constituida por bancos con estratificación fina a mediana, de arcilla o de arcilla-limo fino (figura 20), masivas de color gris oliva (5Y 4/1) o gris oliva claro (5Y 5/2).



Figura 20: Litofacies Fsm, compuesta exclusivamente por material fino

En algunos bancos, como se muestra en la figura 21, como el ubicado a 92 cm de profundidad, se observan grietas por contracción, al secarse el material.



Figura 21: Grieta de contracción en la litofacies Fms

Estas capas de material fino se han generado por depositación del mismo desde la suspensión, durante períodos de inactividad de las corrientes.

En ocasiones entre el material arcilloo-limoso pueden observarse lentes de arenas finas, discontinuos y aislados, tanto en sentido lateral como vertical (ver figura 23). Es decir, pequeñas ondulaciones de arena se forman en un sustrato pelítico y se preservan como resultado de la depositación de un nuevo banco de arcilla, conformando una laminación lenticular.

Para que se genere laminación lenticular, se requieren condiciones en que las corrientes depositen arena, alternando con otras en las que predomine la depositación desde la suspensión.

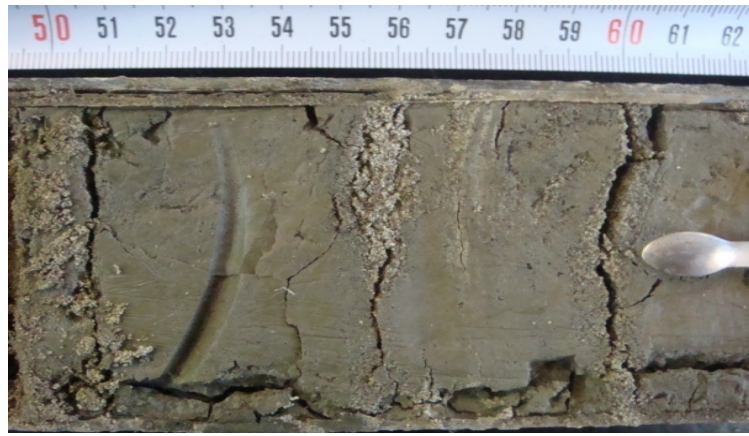


Figura 22: En la zona central lente de arena en el material limo-arcilloso

Litofacies Sr:

Está integrada por arenas finas a medianas-limo grueso, de color rosado naranja grisáceo (5YR 7/2), gris amarillento (5Y 8/1), con laminación entrecruzada de pequeña escala. Las unidades individuales tienen milímetros a 1 cm de espesor. La laminación cruzada es el resultado de la migración de ondulaciones de pequeña escala.

Entre 91 y 84 cm de profundidad se observan, dispersas en las artesas de la arena mediana, pequeñas lentes de arcilla, conformando *flasers*. Esto implica que cuando la actividad de las corrientes que depositaron la arena cesó momentáneamente, la arcilla que se encontraba en suspensión se depositó, principalmente en las artesas de las ondulaciones. Al iniciarse un nuevo ciclo, se erodan las crestas de las ondulaciones y se deposita nuevamente arena, cubriendo y preservando la laminación entrecruzada con *flasers* en las artesas (figura 23). Esto implica que las condiciones para la depositación y preservación de las arenas eran más favorables que para la depositación de arcillas.



Figura 23: Banco arenoso correspondiente a la litofacies Sr. La flecha señala un trozo del material donde pueden observarse flasers

II. Resultados de dataciones radimétricas.

Las dataciones radiocarbónicas de las muestras de sedimento fueron realizadas por AMS en el Arizona Laboratory Facility de Universidad de Arizona y en el Beta Analytic Inc. La calibración de las edades se realizó con el software CALIB 7.0 (Stuiver et al. 2014) utilizando la curva para el Hemisferio Sur (SHcal13) (Hogg *et al.* 2013). Los modelos de edad profundidad fueron realizados con el programa OxCal 4.2.4 (Ramsey y Lee 2013).

Siguiendo la metodología explicada precedentemente se obtuvieron las dataciones absolutas presentadas en el cuadro I. (Coronato et al, 2016).

Muestra	Profundidad (cm)	Años 14 C (AP)	Prob. Media (años calibrados AP)	Máximo 2 ó AP	Mínimo 2 ó AP	Material	Código de laboratorio
LCTF2-16,5	16,5	1544±27	1379	1411	1353	Materia Orgánica	AA104695
LCTF2-65,7	65,7	2141±21	2071	2116	2010	Materia Orgánica	AA107270
LCTF2-109	109	3616±29	3875	3923	3832	Materia Orgánica	AA104696
LCTF1-14	14	1220±30	1087	1109	1056	Materia Orgánica	Beta-343218
LCTF1-113	113	3300±30	3485	3512	3447	Materia Orgánica	Beta-343219

Cuadro1: Dataciones AMS y edades calibradas sobre muestras seleccionadas de los testigos LCTF1 y LCTF2.

III. Ostrácodos.

El estudio de ostrácodos fue realizado por la Dra Josefina Ramón Mercáu, perteneciente al grupo de investigación multidisciplinario que trabaja en lagos y lagunas del Sur argentino (Ramón Mercáu, 2015). A continuación, se presenta un resumen de los resultados más relevantes vinculados a esta tesis.

Varias especies de ostrácodos (Crustacea: Ostracoda) pertenecientes al género *Limnocythere* presentan marcadas afinidades hidroquímicas, habitando cuerpos de agua de concentración y composición de solutos definidas. De este modo, pueden utilizarse como indicadores paleohidrológicos en trabajos de reconstrucción ambiental.

Se encontraron ostrácodos en casi la totalidad de las muestras analizadas (cuarenta y seis en total), en abundancia variable de 3 a 407 valvas/g; cinco muestras resultaron estériles, mientras que otras 15 fueron consideradas como tales a efectos de interpretación ambiental por contener bajo número de individuos. La mayoría de los niveles con pocos o ningún ostrácodo corresponden a la base y al techo de la secuencia analizada. Se identificaron siete especies, entre las cuales predominan *Limnocythere rionegroensis* y *Eucypris cecryphalium*. Las restantes especies presentes son *Newnhamia patagónica*, *Argentocypris sara*, *A. virgata*, *A. sarsi* y *L. patagónica*.

La aplicación de la función de calibración para la reconstrucción de CE a la secuencia de ostrácodos dio valores en los rangos oligo a mesohalino, entre $1220 \pm 90 \mu\text{S/cm}$ y $9100 \pm 600 \mu\text{S/cm}$ (promedio: $3900 \pm 300 \mu\text{S/cm}$). En líneas generales, las variaciones observadas en la CE guardan relación con la litología: las muestras correspondientes a las litofacies F1 y Sr presentan los menores valores de CE, mientras que las muestras provenientes de la litofacies Fsm incluyen los máximos reconstruidos de esta variable.

La reconstrucción efectuada de la CE indica que la salinidad de la laguna fue relativamente baja, menor a la actual (en referencia al momento de muestreo), durante la mayor parte del intervalo para el cual fue posible estimar dicha variable. Durante este periodo se habrían producido variaciones en la concentración de solutos del agua, con máximos de salinidad en el rango oligo-mesohalino de magnitud comparable a las condiciones contemporáneas. Estos eventos de incremento en la salinidad estarían relacionados a descensos en la relación P/E atribuibles, al menos en parte, a una disminución en las precipitaciones. En efecto, tanto la litofacies F1 como la Sr están mayormente asociadas a especies de ostrácodos que habitan aguas alcalinas de salinidad en los rangos limnético y oligohalino. Esto sugiere la prevalencia de condiciones de balance hídrico favorable asociadas a períodos de aumento en el caudal de los afluentes temporarios de la laguna, a su vez atribuibles a condiciones de mayores precipitaciones. Por su parte, el ostrácodo *L. rionegroensis*, característico de aguas enriquecidas por concentración evaporativa, alcanza su mayor abundancia relativa en muestras asociadas a la litofacies Fsm, formada durante períodos de inactividad de las corrientes. Así, la composición de los ensambles de ostrácodos apunta al predominio de condiciones de déficit hídrico durante aquellos intervalos que no evidencian aportes significativos por escorrentía superficial.

Este patrón de variación en la composición de los ensambles de ostrácodos coincidente con cambios en la litología se verifica entre la base de la secuencia y los 22,5 cm de profundidad. Entre 22,5 cm y 15 cm de profundidad, la CE reconstruida desciende notablemente, con un valor promedio de $2150 \pm 150 \mu\text{S/cm}$, sin variaciones en el tamaño de partícula sedimentaria y la

susceptibilidad magnética. En base a esta evidencia, para el periodo comprendido en este segmento del testigo se infieren cambios en el balance hídrico asociados fundamentalmente a variaciones en la evapotranspiración

IV. Resultados de análisis magnéticos

Las muestras colectadas de los testigos fueron sometidas a diferentes mediciones magnéticas. Por una parte, se midió la susceptibilidad magnética normalizada a peso (ver apéndice 2). Los resultados obtenidos se encuentran representados en la figura 24.

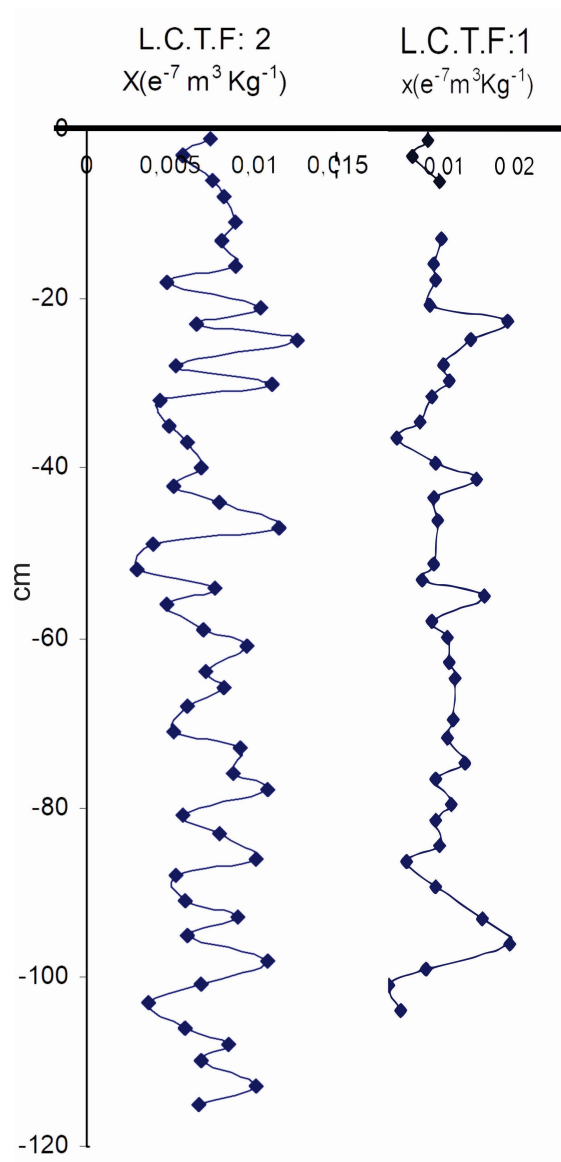


Figura 24: Susceptibilidad magnética para perfil 1 y 2

Como puede observarse en la figura, la correlación por susceptibilidad magnética entre ambos perfiles resulta compleja.

Notese que tal como se ha mencionado precedentemente, la descripción macroscópica de ambos testigos aún siendo extraídos a escasa distancia dentro del espejo de agua, resulta dificultosa la correlación litoestratigráfica. Ello se debe a que ambos testigos estarían influenciados por la entrada de material proveniente de diferentes afluentes.

Otra de las mediciones efectuadas fueron los ciclos de histéresis de cada muestra y las mediciones de magnetización remanente isotérmica y de campos inversos (back fields). En el apéndice 3 (para el testigo 1) y apéndice 4 (para el testigo 2) se encuentran todos los valores de los parámetros magnéticos obtenidos de las mencionadas mediciones.

En las figuras 25 y 26 se han representado algunos de los ciclos de histéresis obtenidos, los mismos son representativos de cada uno de los perfiles estudiados en los testigos del lago.

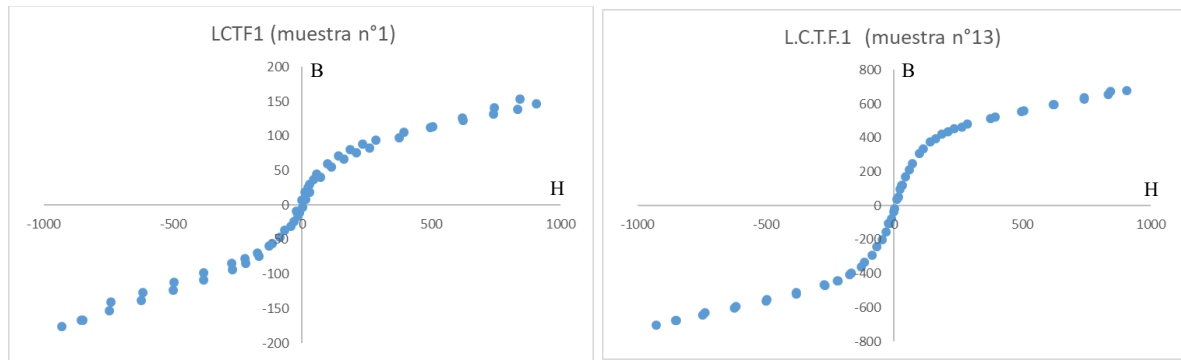


Figura 25: Ciclo de histéresis para dos muestras del perfil 1

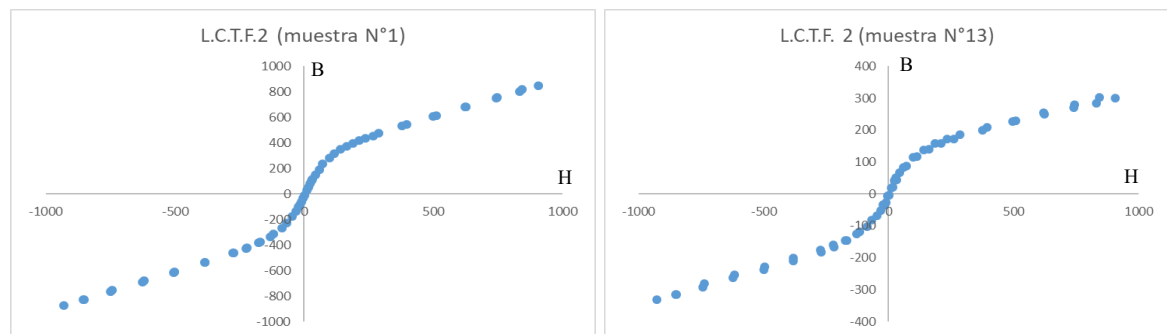


Figura 26: Curva de histéresis para la muestra numero dos del perfil 2

Los valores de coercitividad obtenidos en las muestras estudiadas, así como la morfología de los ciclos de histéresis obtenidos, son compatibles con los de magnetita y/o titanomagnetita para ambos testigos estudiados. Se descarta la presencia de sulfuros de Fe, pues no hay relación alta

X/Ms. Los valores bajos de coercitividad indican que no hay presencia de hematita. La mineralogía magnética parece constante a lo largo de ambos testigos.

En la Figura 26 se han representado los parámetros de susceptibilidad magnética, coercitividad y paramagnetismo en función de su posición estratigráfica. De la comparación de los citados parámetros magnéticos con el perfil estratigráfico de detalle descrito pueden realizarse las siguientes observaciones. En la figura 24 se han representado los resultados obtenidos de los perfiles uno y dos respectivamente. Nótese que en ambos la susceptibilidad magnética total y la paramagnética siguen tendencias similares; en consecuencia los aportes de minerales magnéticos detríticos ferrimagnéticos son análogos a los paramagnéticos.

Tal como se ha mencionado precedentemente, la susceptibilidad magnética es un parámetro magnético extensivo que depende de la mineralogía magnética, la cantidad de material magnético y el tamaño de partícula magnético. En la Figura 27 (Testigo 1) se han registrado incrementos de este parámetro magnético. Por otra parte, estos picos están asociados a incremento de Ms y Mrs (en este caso más suavizado), todos éstos parámetros extensivos. Notese que una parte de estos picos está asociada a decrecimientos de la coercitividad Hc. En consecuencia estos picos están claramente asociados con variaciones en el tamaño de partícula magnética; asimismo, están asociados al tamaño de grano total observado en la descripción estratigráfica del testigo analizado. Los dos picos observados en el tope del testigo (25 cm superiores) no parecen estar vinculados a la descripción de facies sedimentarias general; sin embargo, la interpretación del tamaño de partícula magnética es la misma.

En consecuencia, se infiere que los aumentos en la susceptibilidad magnética y el resto de parámetros extensivos se asocian con lentes de material sedimentario mas grueso (arenas), y ambos representan pulsos de mayor entrada de partículas (entre ellas las magnéticas) de mayor tamaño de grano.

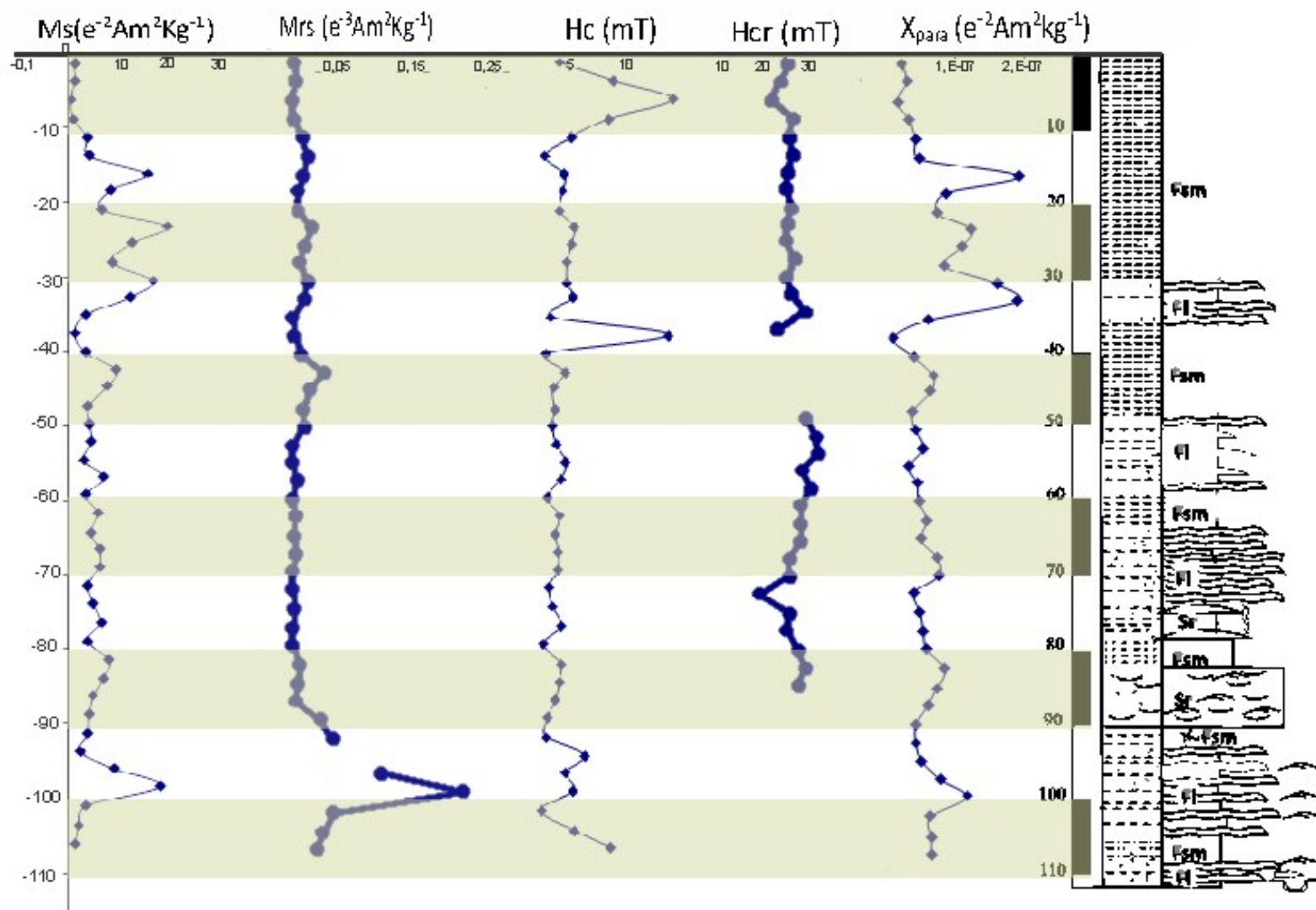


Figura 27: resultados magneticos para el perfil 1 de Laguna Carmen.

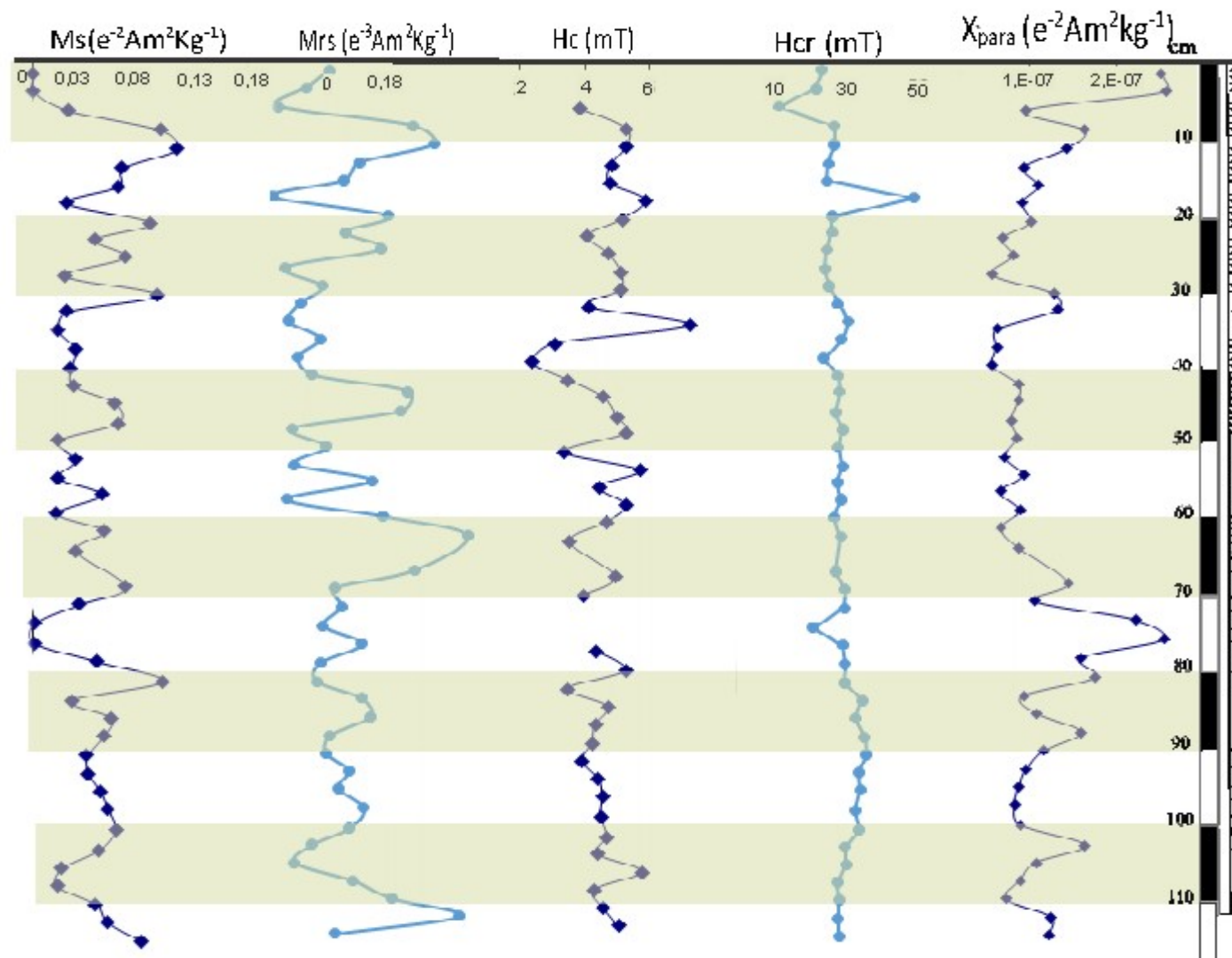


Figura 28: resultados magneticos para el perfil 2 de Laguna Carmen

En cuanto al testigo 2, (Figura 28). Se observa una alta variabilidad de los parámetros, siguiendo una tendencia análoga al testigo 1. Incrementos de la susceptibilidad magnética están asociados a incremento de M_s y M_{rs} , y a su vez estos picos están asociados a decrecimientos de la coercitividad H_c , y decrecimientos de la susceptibilidad a incrementos de H_c . En consecuencia estos picos están claramente asociados con variaciones en el tamaño de partícula magnética. Sin embargo, la descripción macroscópica del testigo (Coronato *et al.* 2016) respecto al tamaño de grano total observado no puede seguirse con tanta claridad como en el testigo 1.

Por otra parte se efectuaron cocientes entre diferentes parámetros magnéticos obtenidos. Estos cocientes se graficaron según la propuesta original de Day (1977), actualizada y aplicada por Dunlop (2002). El gráfico presenta los parámetros característicos del proceso de histéresis de los materiales (magnetización vs coercitividad). Dentro del diagrama de fases se puede determinar la distribución del tamaño de grano de cada perfil.

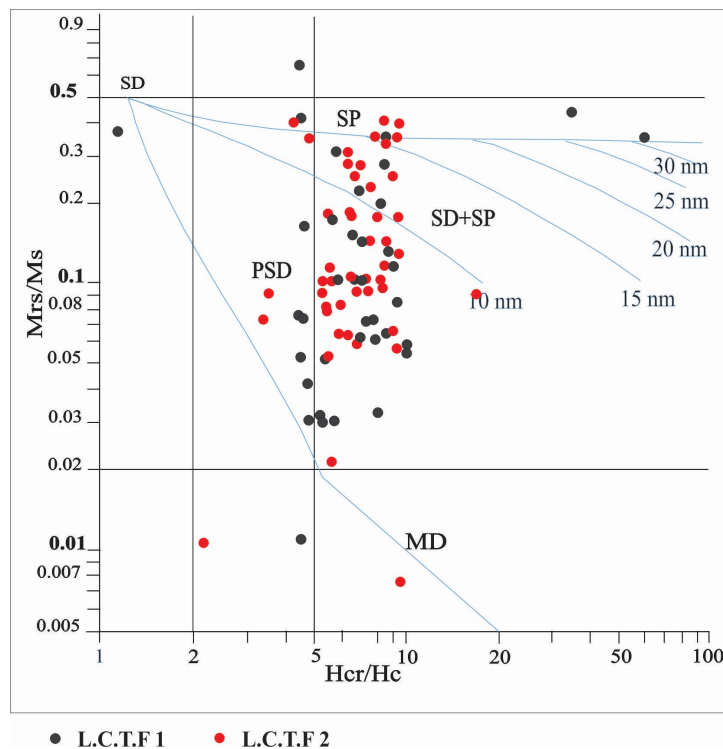


Figura 29: Diagrama de fases propuesto por Day para Laguna Carmen. En negro se puede ver la distribución del perfil 1 y en rojo la distribución del perfil 2.

Los resultados obtenidos (Figura 29) indican que el tamaño de grano para ambos perfiles es similar. En ambos casos el tamaño predominante por debajo de los 10 nm. La mayoría de las

muestras portan partículas magnéticas dominio simple (SD) con contenido de superparamagnéticos (SP) muy subordinado. Una menor proporción contiene partículas pseudo dominio simple (PSD). Se atribuyen las partículas SP a inclusiones de magnetita en vidrio volcánico (abundante en el área); como hipótesis alternativa para la fuente de estas partículas se propone que ellas se formaron en suelos semiáridos aledaños al cuerpo de agua (Maher et al 1988, entre otros) y luego fueron transportadas por agua de escorrentía al lago.

V. Resultado análisis químico

Los datos químicos se analizaron con la estrecha colaboración de la Dra Susana Alonso, miembro del grupo de investigación .

Se analizaron muestras de los niveles pelíticos utilizando la Difracción de Rayos X. Los estudios se llevaron a cabo sobre muestras totales y sobre la fracción menor de dos micrones, según la metodología detallada más arriba.

El análisis de las muestras totales permite reconocer una homogeneidad composicional a lo largo de la columna estudiada. Se observa un predominio de plagioclasa (siempre superior al 50%), acompañada por cuarzo abundante, variables cantidades de calcita (magnesian) y minerales de arcilla y en algunos casos cantidades menores de ceolita y cristobalita. Esta mineralogía es consistente con la presencia de litoclastos volcánicos en los tramos arenosos y probablemente la ocurrencia de vidrio volcánico entre el material fino acumulado.

Los componentes detectados son compatibles con el predominio de litoclastos de composición volcánica presentes en la fracción arena.

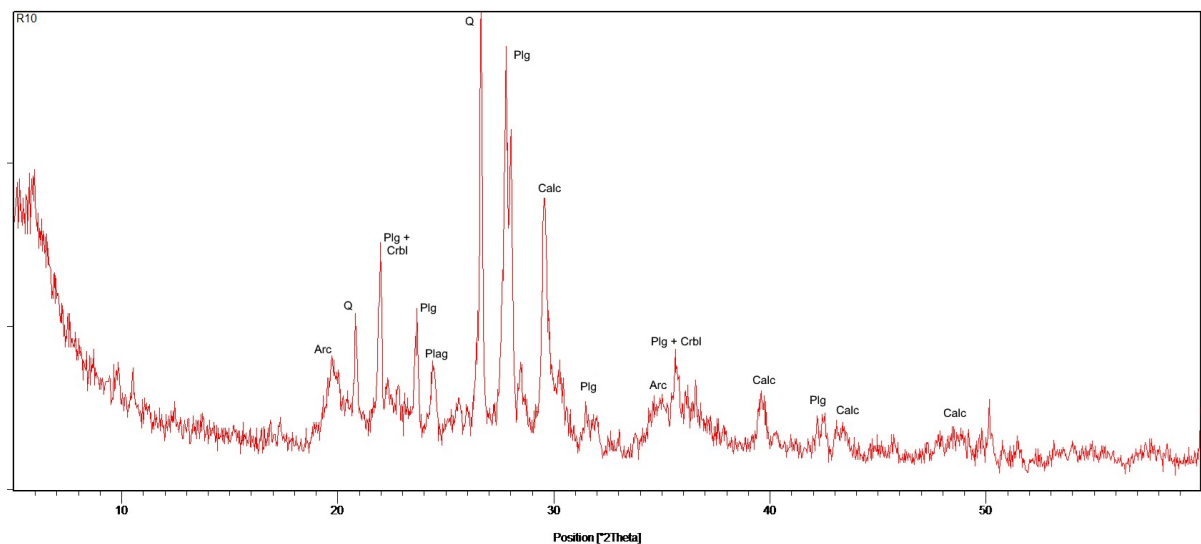


Figura 30: Difractograma de la muestra total.

El estudio de la fracción menor de dos micrones permitió identificar una presencia casi exclusiva de esmectita con muy escasa participación de I/Sm de bajo ordenamiento y trazas de illita y clorita. (Fig. 31) Nuevamente, el predominio de esmectita, indica una afinidad con materiales de proveniencia volcánica.

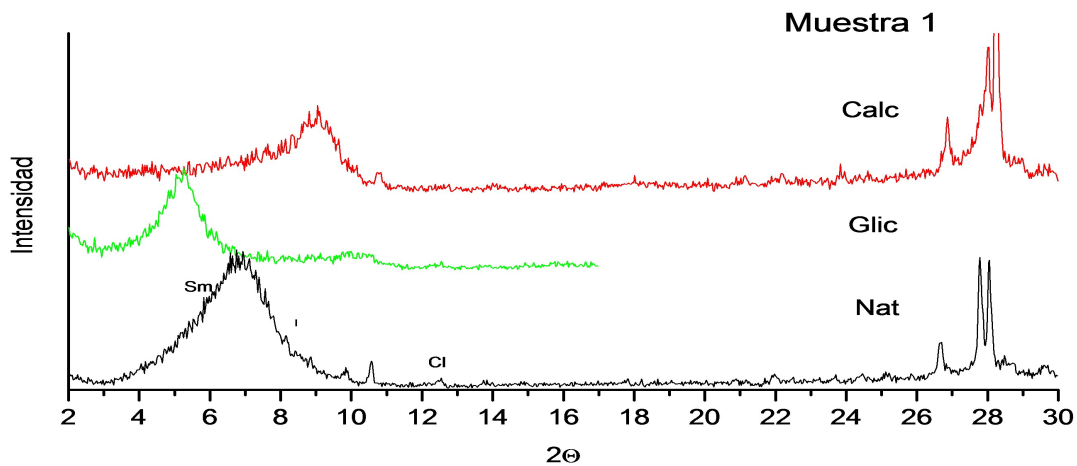


Figura 31: Fracción menor de dos micrones, sometida a tratamientos de glicolación y calcinado.

Para el análisis geoquímica se realizaron análisis elementales de mayoritarios y algunos elementos traza (cuadro 2). En la figura 32 se muestran los rangos de ocurrencia de los primeros y en la figura 34 las correlaciones entre ellos.

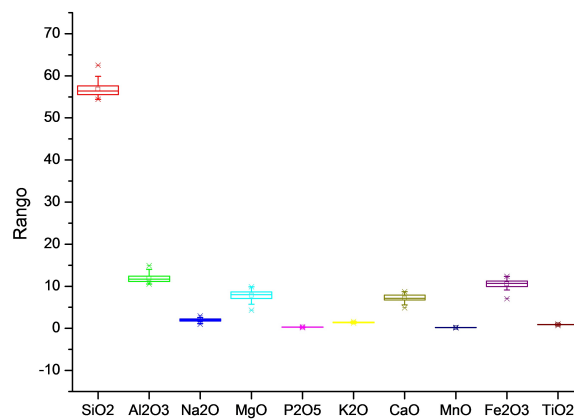


Figura 32. Diagrama de cajas de la ocurrencia de elementos mayoritarios analizados.

	Na2O	MgO	Al2O3	SiO2	P2O5	K2O	CaO	MnO	Fe2O3	TiO2
Na2O	1	-0,6926	0,70782	0,66836	-0,64356	-0,48619	-0,57305	-0,8674	-0,74473	0,48355
MgO	-0,6926	1	-0,96247	-0,95938	0,84641	0,50698	0,84819	0,84997	0,77708	0,46158
Al2O3	0,70782	-0,96247	1	0,97907	-0,82508	-0,45432	-0,86987	-0,89522	-0,86742	0,50952
SiO2	0,66836	-0,95938	0,97907	1	-0,86216	-0,41011	-0,86221	-0,89023	-0,87473	0,58229
P2O5	-0,64356	0,84641	-0,82508	-0,86216	1	0,22833	0,84622	0,8157	0,67337	0,3986
K2O	-0,48619	0,50698	-0,45432	-0,41011	0,22833	1	0,2079	0,40727	0,39441	0,36734
CaO	-0,57305	0,84819	-0,86987	-0,86221	0,84622	0,2079	1	0,77043	0,58869	0,21304
MnO	-0,8674	0,84997	-0,89522	-0,89023	0,8157	0,40727	0,77043	1	0,88265	0,60755
Fe2O3	-0,74473	0,77708	-0,86742	-0,87473	0,67337	0,39441	0,58869	0,88265	1	0,7555
TiO2	-0,48355	0,46158	-0,50952	-0,58229	0,3986	0,36734	0,21304	0,60755	0,7555	1

Cuadro 2: Correlaciones entre elementos mayoritarios analizados.

Las correlaciones positivas son indicativas de la presencia de los silicatos más frecuentes en la corteza continental.

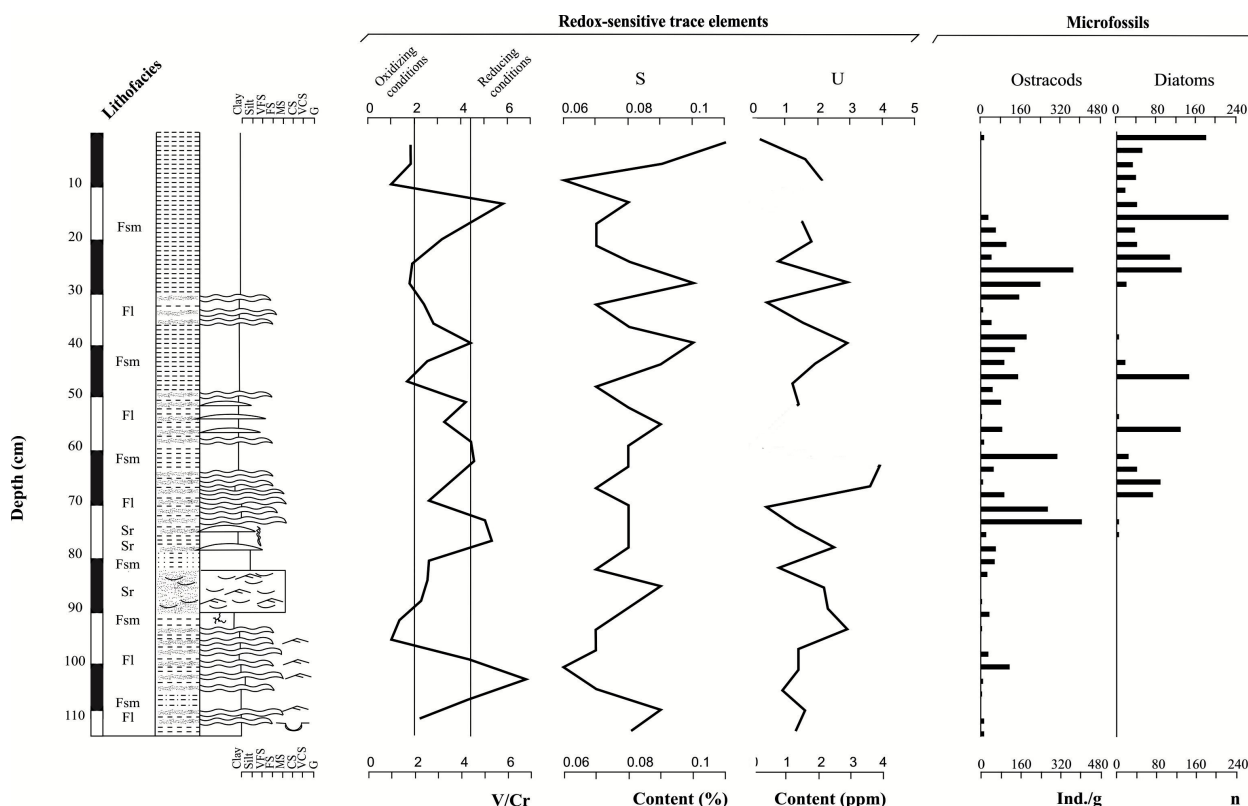


Figura 33. Evolución estratigráfica de la relación V/Cr, con los contenidos de S,U y el balance hídrico inferido a partir de los valores de conductividad.

Algunos rasgos interesantes que pueden extraerse de los análisis químicos realizados se muestran en la figura 33, en la que se comparan los contenidos de S, U y materia orgánica (ver apéndice 5) con la relación V/Cr, que es utilizada para estimar las condiciones redox del medio.

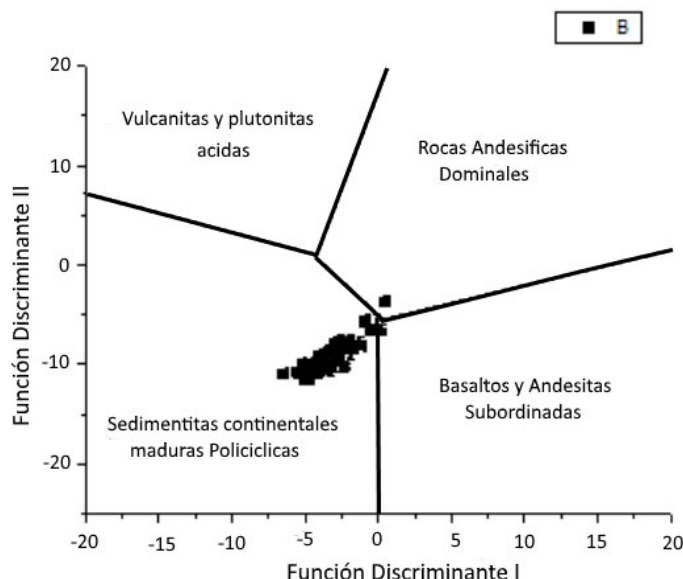


Figura 34: Diagrama de proveniencia de Roser y Korsh 1987

En este diagrama se observan en varios sectores del perfil una correlación positiva entre la relación V/Cr y los contenidos de S y U. La relación V/ cuyos valores son superiores a 4.25 se asocian con condiciones reductoras, entre 2 y 4,35 con condiciones de moderada reducción y menores a 2, de ambiente oxidante (Hua *et al.* 2013). Nótese que altas concentraciones de S y U (típicos de presencia de materia orgánica) aparecen en ambientes reductores. Esto representa también la evolución de los contenidos de materia orgánica, máximos de conductividad y balance hídrico negativo (estos dos últimos interpretados por proxy paleontológico).

Los contenidos de elementos mayoritarios (ver apéndice 6) se utilizaron para el diagrama de proveniencia de Roser y Korsh (1987), en el cual se ubicaron en el campo de las sedimentitas continentales maduras policíclicas (figura 34).

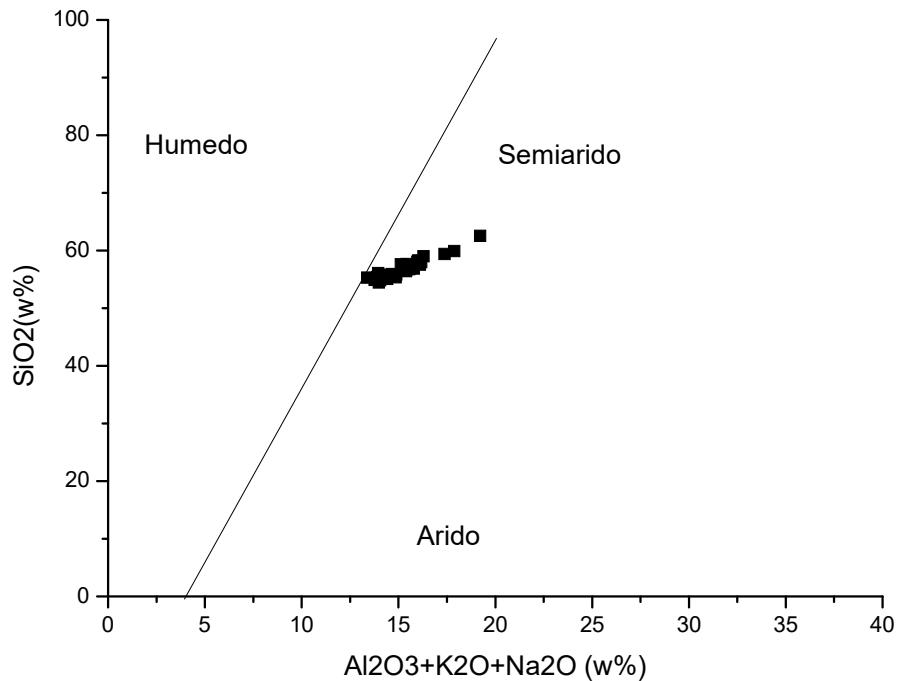


Figura 35: Diagrama de Suttner y Dutta para los resultados de Laguna Carmen (Suttner, 1986).

Otra observación realizada sobre los resultados químicos es la relación U/Th: Esta muestra valores mayoritariamente menores a 4, lo cual indica una moderada meteorización del área fuente del sedimento (Asiedu *et al.* 2000). Esto coincidiría con las condiciones semiáridas interpretadas a partir del diagrama de Suttner y Dutta (1986).

CAPÍTULO V: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

La asociación de facies es consistente con un modelo de sedimentación en un cuerpo de aguas poco profundas, que recibe aportes de sistemas fluviales cuya energía es variable, o que sólo contribuyen durante los periodos en los que están activos. La parte inferior de la secuencia, desde la base hasta 65 cm de profundidad, está compuesto por sedimentos gruesos y finos alternantes, de varios milímetros a unos pocos centímetros de espesor. Esta repetición rítmica se debe a cambios regulares en el material transportado y depositado, y puede ser el resultado de cambios en las condiciones climáticas. Las capas de grano grueso se depositan cuando hay abundante material detrítico tamaño arena, debido a condiciones climáticas más húmedas o al derretimiento del hielo

durante períodos relativamente más cálidos. Las capas de grano fino se depositan cuando no se dispone de material más grueso y se asienta el material de grano fino que estaba en suspensión.

En la parte superior del primer testigo (L.C.T.F.1) predominan los materiales finos, con capas esporádicas de arena fina y limo, lo que indica que la sedimentación se produjo principalmente a partir de la suspensión, con interrupciones ocasionales de los flujos tractivos.

Como se mencionó anteriormente, los picos de susceptibilidad magnética están claramente asociados con variaciones en el tamaño de partícula total observado en la descripción estratigráfica, particularmente en el testigo 1 que fue descripta con mucho mayor detalle para esta tesis. Por lo tanto, están directamente relacionados con el aumento del tamaño del grano magnético.

Los valores coercitividad obtenidos en las muestras estudiadas, así como la morfología de los ciclos de histéresis obtenidos, son compatibles con los de magnetita y/o titanomagnetita para ambos testigos estudiados. Se descarta la presencia de sulfuros de Fe y/o niveles mas oxidados con hematita. A mineralogía magnética parece constante a lo largo de ambos testigos.

Los resultados referidos al tamaño de grano para ambos perfiles son similares. En ambos casos el tamaño predominante por debajo de los 10nm. La mayoría de las muestras aportan partículas magnéticas de dominio simple (SD) con contenido de superparamagnéticos (SP) muy subordinado. Una menor proporción contiene partículas pseudo dominio simple (PSD). Se atribuyen las partículas SP a inclusiones de magnetita en vidrio volcánico (abundante en el área); como hipótesis alternativa para la fuente de estas partículas se propone que ellas se formaron en suelos semiáridos aledaños al cuerpo de agua (Maher et al 1988 entre otros) y luego fueron transportadas por agua de escorrentía al lago.

En general, los proxies analizados sugieren que durante los últimos 3.500 años la Laguna Carmen habría sido un lago permanente y de poca profundidad, que experimentó variaciones moderadas, pero significativas, en su balance hidrológico. La litología del testigo es consistente con las condiciones de sedimentación continua durante el período de estudio, sin evidencias de eventos de desecación, mientras que la composición de los elementos mayoritarios apunta a la constancia en el área fuente de sedimentos y a la prevalencia de condiciones subhúmedas a semiáridas. La mineralogía inferida por XRD, tanto de las muestras pelíticas masivas como de la fracción más fina, es consistente con la presencia de litoclastos volcánicos. Por su parte, la madurez inferida y la procedencia continental de los sedimentos no son sorprendentes, dada la generalizada presencia de sedimentitas terciarias y cuaternarias en la zona de drenaje del lago.

El número sorprendentemente bajo de fuentes de diatomeas presentes en el testigo sugiere más de un ambiente posible. Por un lado, puede indicar condiciones de pH relativamente alto, salinidad y / o turbidez a lo largo del periodo de estudio. También puede ser asociado con un bajo nivel de agua, el que generó la destrucción del registro sedimentario de diatomeas, más comúnmente asociado a sistemas salinos, pero también puede ocurrir en lagos efímeros de baja salinidad, que pueden atribuirse a la superficialidad y turbidez de las aguas hospederas.

La reconstrucción CE basada en ostrácodos indica que la Laguna Carmen habría presentado valores relativamente bajos de salinidad (oligohalina) durante periodos de siglos, alternando con periodos generalmente más cortos de condiciones de alta salinidad; esto sugiere que la escasez / ausencia de diatomeas en todo el testigo podría deberse a la prevalencia general de niveles de agua bajos y alta turbidez, en lugar de variaciones en la salinidad. En cuanto a las discontinuidades en el registro de ostrácodos, se observó que los valores más altos de V / Cr, indicativos de condiciones reductoras, se produjeron en niveles de la base y de la parte superior de la secuencia que carecían de ostracodos. Esto sugiere que la ausencia de estos organismos, a partir en esos niveles, podría estar asociada con el predominio de hipoxia/anoxia en el lago; aunque actualmente no hay información sobre las respuestas de los ostrácodos patagónicas a tales condiciones, se sabe que el grupo es generalmente intolerante a la hipoxia (Frenzel & Boomer, 2005).

Como se mencionó anteriormente, las muestras caracterizadas por altos valores CE reconstruidos están compuestas por sedimentos limosos o fangosos (litofacies Fsm), mientras que la mayoría de los valores CE reconstruidos bajos se asociaron a niveles de grano más grueso, consistentes en arena fina a media con limo grueso (litofacias Sr y Fl) y arcilla (litofacies Fl). Asimismo, se pudo asociar picos de los parámetros magnéticos extensivos (susceptibilidad, Ms y Mrs), interpretados como aumento del tamaño de grano de la partícula magnética, a lentes de arena fina a media.

En vista de esto, los patrones observados de litología, mineralogía magnética, geoquímica (V/cr, S y U) y la asociación de ostrácodos se interpretan como variaciones a escala decanal en el balance hidrológico, impulsado principalmente por cambios en la entrada de agua a través de la escorrentía superficial. La asociación entre litofacies Sr y F1, ambientes menos reductores, tamaño de partículas magnéticas relativamente mayores y especies típicas de ostrácodos de aguas diluidas, sugiere un balance hidrológico positivo mantenido por la descarga de los tributarios del lago. Es probable que algunos de los ostrácodos recuperados de estos niveles, fueran transportados al lago durante eventos de mayor escorrentía a partir de pequeños y efímeros cuerpos de agua en la periferia del lago, como los que actualmente se desarrollan en las terrazas lacustres que rodean la Laguna Carmen y que drenan en el lago (Coronato, *et al.*, 2016). En particular, este sería el caso del

conjunto de ostrácodos recuperado entre 70 - 72,5 cm de profundidad, que presentaba una abundancia total alta y estaba marcadamente dominado por *A. sara*, una especie apenas representada en el resto del registro. Todos los individuos de esta especie en la muestra fueron adultos, lo cual es consistente con un origen alóctono. Por el contrario, el dominio de una especie ostrácodos característica de las aguas enriquecidas por evaporación (*L.rionegroensis*), en sedimentos depositados bajo condiciones de agua tranquila (litofacies Fms), es consistente con un balance hidrológico negativo relacionado con la desecación de los afluentes al cuerpo de agua.

Por lo tanto, se propone que durante la mayor parte del período comprendido, aproximadamente, entre 3500-1900 AP cal, los afluentes de la Laguna Carmen estuvieron activos y se mantuvo un balance hidrológico positivo; en contraste, las condiciones actuales de escorrentía y la hidroquímica dan un balance hidrológico negativo. Esto sugiere que las precipitaciones en el sector noreste de la estepa fueguina fueron más altas que en la actualidad, aunque las condiciones climáticas se hubieran mantenido semi-áridas a subhúmedas durante todo el período del estudio. Durante este período, la laguna experimentó cuatro eventos a escala decenal de aumento de la salinidad, asociados con la falta de escorrentía superficial, centrada alrededor de 3300 cal AP, 2900 cal AP, 2700 cal AP y 2200 cal AP. Estos cambios en el balance hidrológico de la Laguna Carmen podrían deberse a una disminución de las precipitaciones en la cuenca durante esos lapsos. Condiciones similares, pero más persistentes, de precipitaciones disminuidas, desecado de los tributarios y balance hidrológico negativo habrían prevalecido en el período comprendido entre 1900 y 1300 cal AP aproximadamente.

Por el contrario, la parte del registro que correspondería a 1300-1100 cal AP presenta una marcada disminución en los valores reconstruidos de EC, sin cambios en el tamaño de grano general ni de partícula magnética. La disminución de la salinidad es consistente con una relación evaporación /precipitación más favorable mientras que la falta de evidencia de la reactivación de la corriente, sugiere que este cambio en el balance hidrológico fue impulsado principalmente por menores pérdidas por evaporación, en lugar de la variabilidad de las precipitaciones. A su vez, esto podría estar relacionado con condiciones más frías y/o menor intensidad del viento

En la parte cuspidal del testigo, el marcado aumento en el contenido de carbonatos apunta a un aumento de la evapotranspiración debido a temperaturas más altas y/o condiciones más ventosas.

En resumen, la reconstrucción de los cambios hidrológicos que se produjeron en la Laguna Carmen durante los últimos 3500 años, apunta a una variabilidad decenal y centenaria de las precipitaciones, que habría dado como resultado el predominio de condiciones más húmedas que

las actuales entre 3500-1900 cal AP aproximadamente, seguido por una disminución significativa en las precipitaciones. Además, los proxies analizados sugieren condiciones más frías y/o menos ventosas aproximadamente entre 1300-700 cal AP y un posterior aumento de la temperatura y/o la intensidad del viento.

APÉNDICE 1: Laguna Carmen, Tierra del Fuego, Argentina.

Figura 1: Vista satelital de Laguna Carmen y cuerpos de agua aledaños.



Figura 2.
Foto de Laguna
Carmen

APÉNDICE 2: Cuadros susceptibilidad magnética Bartington Instrument Ltd

LCTF 1			
	Masa (g)	susceptibilidad $e^{-07}m^4kg^{-1}$	normalizada m^3kg
-1	4,425	0,035	0,007909605
-3	4,537	0,026	0,005730659
-6	4,463	0,042	0,00941071
-8			
-13	6,082	0,06	0,009865176
-16	5,414	0,047	0,008681197
-18	3,02	0,027	0,008940397
-21	2,471	0,02	0,008093889
-23	6,487	0,123	0,018960999
-25	6,307	0,088	0,013952751
-28	6,798	0,069	0,010150044
-30	4,889	0,054	0,011045204
-32	5,198	0,044	0,008464794
-35	5,056	0,034	0,006724684
-37	0,839	0,003	0,003575685
-40	5,041	0,046	0,009125174
-42	7,153	0,106	0,014818957
-44	3,255	0,028	0,008602151
-47	8,045	0,074	0,00919826
-52	6,819	0,06	0,008798944
-54	7,061	0,05	0,00708115
-56	7,342	0,117	0,015935712
-59	2,911	0,025	0,008588114
-61	6,699	0,072	0,010747873
-64	5,3	0,058	0,010943396
-66	5,753	0,067	0,011646098
-71	5,746	0,066	0,011486251
-73	6,447	0,068	0,010547541
-76	7,402	0,097	0,013104566
-78	2,773	0,025	0,009015507
-81	6,776	0,075	0,011068477
-83	7,518	0,068	0,009044959
-86	6,461	0,062	0,009596038
-88	4,459	0,022	0,004933842
-91	7,262	0,065	0,008950702
-95	8,305	0,129	0,015532812
0	6,182	0,119	0,019249434
0	4,322	0,033	0,007635354
0	3,966	0,01	0,002521432
0	3,187	0,013	0,004079071

cm	LCTF 2		
	Masa (g)	susceptibilidad	normalizada
		$\text{e}^{-07}\text{m}^4\text{kg}^{-1}$	m^3kg
-6	2,26	0,017	0,007522124
-8	6,809	0,056	0,008224409
-11	7,965	0,071	0,008913999
-13	7,211	0,059	0,008181944
-16	5,452	0,049	0,008987528
-18	2,258	0,011	0,004871568
-21	7,168	0,075	0,01046317
-23	3,162	0,021	0,006641366
-25	4,916	0,062	0,01261188
-28	5,36	0,029	0,005410448
-30	8,277	0,092	0,011115138
-32	2,747	0,012	0,004368402
-35	2,023	0,01	0,004943154
-37	4,965	0,03	0,006042296
-40	2,463	0,017	0,006902152
-42	1,712	0,009	0,005257009
-44	7,543	0,06	0,007954395
-47	6,713	0,078	0,011619246
-49	1,75	0,007	0,004
-52	2,006	0,006	0,002991027
-54	6,856	0,053	0,007730455
-56	2,472	0,012	0,004854369
-59	2,428	0,017	0,007001647
-61	3,756	0,036	0,009584665
-64	4,227	0,03	0,007097232
-66	5,483	0,045	0,008207186
-68	4,991	0,03	0,006010819
-71	4,726	0,025	0,005289886
-73	2,937	0,027	0,009193054
-76	3,057	0,027	0,008832188
-78	5,625	0,061	0,010844444
-81	4,869	0,028	0,005750667
-83	6,313	0,05	0,007920165
-86	7,166	0,073	0,010186994
-88	5,219	0,028	0,005365012
-91	6,018	0,036	0,005982054
-93	3,412	0,031	0,00908558
-95	2,669	0,016	0,005994755
-98	6,35	0,069	0,010866142
-101	5,691	0,039	0,006852926
-103	2,392	0,009	0,003762542
-106	2,855	0,017	0,005954466
-108	6,219	0,053	0,00852227
-110	3,771	0,026	0,006894723
-113	7,143	0,073	0,010219796
-115	2,818	0,019	0,00674237

APÉNDICE 3: Datos magnéticos para perfil N°1.

N° de muestra	Profundidad (cm)	Ms	Hc	Xtotal	Pend	Xpara
1	-1,3	0,0157758	9,00234735	1,8843E-07	2,2125E-05	2,7796E-08
2	-3,7	0,01386767	4,27999791	1,6579E-07	1,7452E-05	2,1925E-08
3	-6,2	0,00658882	14,1308246	8,299E-08	1,1455E-05	1,439E-08
4	-8,8	0,01267248	8,53570382	1,6524E-07	2,5475E-05	3,2003E-08
5	-11,3	0,03942815	5,2735983	4,6074E-07	3,2308E-05	4,0588E-08
6	-13,8	0,04324656	2,93292896	5,3281E-07	3,7745E-05	4,7418E-08
7	-16,2	0,1599055	4,68362109	1,9326E-06	0,00015297	1,9217E-07
8	-18,4	0,0853839	4,57288168	1,1768E-06	6,7692E-05	8,5041E-08
9	-21	0,06950762	4,28890427	8,4721E-07	5,7519E-05	7,2259E-08
10	-23,2	0,19997166	5,54046252	2,8345E-06	9,8447E-05	1,2368E-07
11	-25,5	0,12813234	5,32174204	1,7773E-06	8,6524E-05	1,087E-07
12	-28	0,08831382	4,94302922	1,243E-06	6,678E-05	8,3895E-08
13	-30,5	0,171552	4,88999878	2,3982E-06	0,00012909	1,6217E-07
14	-32,7	0,12495644	5,38826968	1,8047E-06	0,00015172	1,906E-07
15	-35,2	0,03484554	3,54654805	3,9492E-07	4,7975E-05	6,027E-08
16	-37,6	0,01504451	13,7887423	1,7271E-07	7,0638E-06	8,8741E-09
17	-40,1	0,03679862	3,09595376	4,2626E-07	3,1371E-05	3,9411E-08
18	-42,5	0,09725026	4,73230837	1,4028E-06	5,3677E-05	6,7433E-08
19	-44,7	0,07910326	3,69315254	7,7076E-07	5,0121E-05	6,2966E-08
20	-47,4	0,04185618	3,81234281	5,1854E-07	2,8797E-05	3,6177E-08
21	-49,7	0,04482557	3,66022049	5,3696E-07	3,2675E-05	4,105E-08
22	-52,2	0,03136412	4,83620125	3,7572E-07	2,4886E-05	3,1264E-08
23	-54,6	0,07289495	4,37206023	1,0361E-06	3,5016E-05	4,399E-08
24	-56,8	0,03798947	3,20248919	4,5079E-07	3,6369E-05	4,569E-08
25	-59,3	0,06107362	4,23494242	8,6864E-07	4,6318E-05	5,8188E-08
26	-61,6	0,04743689	3,9029572	5,725E-07	3,8335E-05	4,8159E-08
27	-64,2	0,06374818	4,175048	9,5335E-07	5,7668E-05	7,2448E-08
28	-66,6	0,04000633	3,33233694	4,7928E-07	3,1146E-05	3,9128E-08
29	-68,9	0,06493821	4,13139971	9,9193E-07	6,0366E-05	7,5837E-08
30	-71,3	0,05234589	3,63445137	7,2975E-07	3,8139E-05	4,7913E-08
31	-73,8	0,06685561	4,33827036	9,8005E-07	4,1779E-05	5,2487E-08
32	-76,4	0,03841946	2,79607649	4,5494E-07	4,5498E-05	5,7159E-08
33	-78,8	0,08446293	4,34308645	1,2203E-06	6,7312E-05	8,4563E-08
34	-81,4	0,07181425	4,21924725	9,0119E-07	5,7838E-05	7,2661E-08
35	-83,9	0,05245053	3,93057216	6,2494E-07	4,7012E-05	5,906E-08
36	-86,2	0,04830483	3,96937798	5,5484E-07	4,1842E-05	5,2565E-08
37	-88,7	0,04366416	3,2438408	5,1026E-07	3,3418E-05	4,1982E-08
38	-91,2	0,05098663	4,26516129	7,1968E-07	4,73E-05	5,9422E-08
39	-93,6	0,04183287	3,12977812	4,893E-07	3,3152E-05	4,1648E-08
40	-95,9	0,02429847	6,4638118	3,0033E-07	4,0286E-05	5,061E-08
41	-98,3	0,09290532	4,81999244	1,3092E-06	6,1548E-05	7,7322E-08
42	-101	0,18482292	5,48790382	2,4761E-06	9,326E-05	1,1716E-07
43	-103,7	0,17538577	5,3858907	2,3628E-06	9,0806E-05	1,1408E-07
44	-106	0,03662246	2,64580579	3,9648E-07	5,0291E-05	6,3179E-08
45	-108,4	0,02405187	5,61284395	2,9563E-07	5,1311E-05	6,4461E-08
46	-110,8	0,01574269	8,72135803	2,0669E-07	5,131E-05	6,446E-08
47	-113,2	0,01578438	8,91204745	2,0881E-07	5,1892E-05	6,5191E-08

APÉNDICE 4: Datos magnéticos para perfil N°2.

n° de muestra	Profundidad (cm)	Fecha	Ms	Hc	Xtotal	Pend	Xpara
1	-1,3	24/2/2015	1,215E-05	0,56130342	-3,032E-09	0,00020017	2,5147E-07
2	-3,7	24/2/2015	1,4167E-05		9,1393E-10	0,00020451	2,5692E-07
3	-6,2	24/2/2015	0,02872878	3,87624062	3,6971E-07	7,6302E-05	9,5857E-08
4	-8,8	24/2/2015	0,10672421	5,30065515	1,6309E-06	0,00012999	1,633E-07
5	-11,3	24/2/2015	0,12055274	5,28364733	1,8719E-06	0,00011315	1,4215E-07
6	-13,8	24/2/2015	0,07450078	4,81422165	1,1463E-06	7,4119E-05	9,3115E-08
7	-16,2	24/2/2015	0,07133781	4,78798569	1,0501E-06	8,8045E-05	1,1061E-07
8	-18,4	24/2/2015	0,02708694	5,89496754	3,2151E-07	7,2513E-05	9,1096E-08
9	-21	24/2/2015	0,09739519	5,1498714	1,4545E-06	8,0668E-05	1,0134E-07
10	-23,2	5/3/2015	0,05073827	4,09815664	6,2891E-07	5,4533E-05	6,8509E-08
11	-25,5	5/3/2015	0,07683133	4,71626324	1,0837E-06	6,4598E-05	8,1153E-08
12	-28	5/3/2015	0,02669199	5,12791641	3,4602E-07	4,5284E-05	5,689E-08
13	-30,5	5/3/2015	0,10426638	5,10088203	1,6132E-06	0,00010191	1,2803E-07
14	-32,7	5/3/2015	0,02833399	4,12797835	3,7511E-07	0,00010489	1,3177E-07
15	-35,2	13/3/2015	0,02031708	7,27229463	2,7342E-07	5,0228E-05	6,31E-08
16	-37,6	13/3/2015	0,03555462	3,10971914	4,4209E-07	4,9426E-05	6,2093E-08
17	-40,1	13/3/2015	0,0311264	2,37099438	3,834E-07	4,5477E-05	5,7132E-08
18	-42,5	13/3/2015	0,03316958	3,478569	4,3066E-07	6,9529E-05	8,7348E-08
19	-44,7	13/3/2015	0,06756607	4,54770053	9,8797E-07	6,9274E-05	8,7027E-08
20	-47,4	13/3/2015	0,07033602	5,01533457	1,0349E-06	6,2368E-05	7,8352E-08
21	-49,7	13/3/2015	0,02017263	5,25177554	2,6501E-07	6,8019E-05	8,5451E-08
22	-52,2	13/3/2015	0,03564925	3,3626917	4,5093E-07	5,6783E-05	7,1335E-08
23	-54,6	13/3/2015	0,02030054	5,6995535	2,7187E-07	7,3803E-05	9,2718E-08
24	-56,8	13/3/2015	0,05721887	4,44723992	8,3024E-07	5,2475E-05	6,5923E-08
25	-59,3	13/3/2015	0,01900976	5,28840847	2,5846E-07	7,0798E-05	8,8942E-08
26	-61,6	13/3/2015	0,05884625	4,67022121	8,8751E-07	5,3129E-05	6,6744E-08
27	-64,2	13/3/2015	0,0348191	3,5443629	4,3132E-07	6,9193E-05	8,6926E-08
28	-68,9	14/4/2015	0,07731552	4,96788405	1,2264E-06	0,00011506	1,4454E-07
29	-71,3	14/4/2015	0,03806634	3,93568304	4,8866E-07	8,4524E-05	1,0619E-07
30	-73,8	21/4/2015	0,00059644		-1,9633E-09	0,00017692	2,2226E-07
31	-76,4	21/4/2015	0,00064037		-1,1337E-10	0,00020332	2,5543E-07
32	-78,8	21/4/2015	0,05311769	4,32516705	8,1264E-07	0,00012693	1,5946E-07
33	-81,4	21/4/2015	0,10857962	5,26780726	1,6747E-06	0,00014022	1,7615E-07
34	-83,9	21/4/2015	0,03144861	3,45989483	3,8471E-07	7,3578E-05	9,2435E-08
35	-86,2	21/4/2015	0,06463417	4,71225778	9,424E-07	8,6212E-05	1,0831E-07
36	-88,7	21/4/2015	0,05834269	4,32516705	8,1264E-07	0,00012693	1,5946E-07
37	-91,2	21/4/2015	0,04469881	4,21476678	5,31E-07	9,2478E-05	1,1618E-07
38	-93,6	21/4/2015	0,04573394	3,91807487	5,3065E-07	7,8557E-05	9,6303E-08
39	-95,9	21/4/2015	0,05583324	4,42402516	8,2573E-07	7,0064E-05	8,70E-08
40	-98,3	29/4/2015	0,06235677	4,54955042	8,9751E-07	6,5767E-05	8,2622E-08
41	-101	29/4/2015	0,06865335	4,48617955	9,9267E-07	7,1274E-05	8,9541E-08
42	-103,7	29/4/2015	0,05415969	4,70013995	8,5655E-07	0,00013048	1,6393E-07
43	-106	9/5/2015	0,02374875	4,37692089	3,2426E-07	8,5329E-05	1,072E-07
44	-108,4	9/5/2015	0,019537	5,76759183	2,6474E-07	7,0536E-05	8,8614E-08
45	-110,8	9/5/2015	0,05185052	4,2950543	7,5714E-07	5,765E-05	7,2425E-08
46	-113,2	9/5/2015	0,06192	4,56500294	9,6204E-07	9,9004E-05	1,2438E-07
47	-115,6	9/5/2015	0,09022884	5,04134254	1,4224E-06	9,7806E-05	1,2287E-07
48	-118	9/5/2015	0,03791211	4,00756107	4,732E-07	7,031E-05	8,8329E-08

APÉNDICE 5: Datos Químicos. Análisis de Carbono

pto medio	CO3 %	C total (g/kg)	C total (%)	M.O. (%)
1,875	14,3	19,1	1,91	3,29
5,625	12,3	12,3	1,23	2,12
9,375	9,5	21	2,1	3,61
13,125	4,6	18	1,8	3,10
16,875			0	0,00
20,625	4,9	28,4	2,84	4,88
24,375	8,8	15,9	1,59	2,73
28,125	11,4	25,4	2,54	4,37
31,875	10,1	10,1	1,01	1,74
35,625	14,8	29,5	2,95	5,07
39,375	10,3	36,1	3,61	6,21
43,125	11,3	25,2	2,52	4,33
46,875	6,3	19,8	1,98	3,41
50,625	17	27,7	2,77	4,76
54,375	13,2	35,4	3,54	6,09
58,125	10,8	17,4	1,74	2,99
61,875	9,7	26,4	2,64	4,54
65,625	10,2	26,8	2,68	4,61
69,375	7,2	19,7	1,97	3,39
73,125	15,8	29,4	2,94	5,06
76,875	8,9	27,9	2,79	4,80
80,625	16,2	23,3	2,33	4,01
84,375	14,7	26,3	2,63	4,52
88,125	10,1	12,1	1,21	2,08
91,875	11,3	20,7	2,07	3,56
95,625	9,9	13,9	1,39	2,39
99,375	15,3	17,6	1,76	3,03
103,125	11,4	18	1,8	3,10
106,875	16	36,3	3,63	6,24
110,625	16,1	26,9	2,69	4,63
115	19,3	20,4	2,04	3,51

APÉNDICE 6: Datos geoquímicos

Profundidad	Na2O	MgO	Al2O3	SiO2	P2O5	S	K2O	CaO	MnO	Fe2O3
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
-1,88	1,10452	8,74441	11,15536	55,38053	0,33146	0,11229	1,64977	7,23608	0,21702	12,05474
-5,63	0,96977	8,86786	10,91429	55,29877	0,34603	0,09367	1,49873	8,20335	0,22591	11,66035
-9,38	2,96293	4,30858	14,89033	62,51491	0,17935	0,06013	1,37572	4,885	0,10782	7,02685
-13,13	1,98179	7,03594	12,92465	58,97532	0,24731	0,08171	1,38692	5,94645	0,16669	9,37617
-15	1,91999	9,88894	10,54354	54,42969	0,34372	0,07444	1,51936	8,71112	0,19485	10,54573
-20,38	1,96399	7,11072	12,74925	58,25547	0,26855	0,07226	1,3158	6,31153	0,17904	9,88253
-24,36	1,85892	7,87769	12,08412	56,41073	0,28406	0,08181	1,44419	6,91414	0,20566	10,84332
-28,13	1,80795	8,4851	10,74211	54,88812	0,31359	0,09813	1,22557	8,32831	0,21546	12,02421
-31,88	2,26668	7,54331	12,26933	56,82906	0,32953	0,07159	1,25599	6,06097	0,18424	11,24706
-35,63	1,64541	8,05419	11,97138	57,55846	0,2657	0,08323	1,50563	6,74597	0,19527	10,1403
-39,38	1,33175	8,2671	11,19383	56,0829	0,32234	0,10038	1,43325	7,96372	0,22196	11,1916
-43,13	1,9338	7,87317	11,87552	57,32629	0,28888	0,09055	1,47137	6,95909	0,19403	10,11742
-46,86	2,5973	5,77544	14,00857	59,86788	0,25898	0,06714	1,2832	6,33604	0,14601	7,88142
-50,63	1,55346	8,31007	11,14233	55,55533	0,32459	0,08142	1,32549	8,02565	0,21386	11,57656
-54,38	1,48869	8,67473	11,25098	55,77009	0,32713	0,09438	1,3085	8,17492	0,21558	10,84984
-58,13	2,20127	8,10187	11,27688	55,83102	0,29738	0,07826	1,41869	7,67816	0,19676	10,94708
-61,86	1,66756	8,43052	11,11887	55,74564	0,26425	0,08311	1,48962	6,72353	0,20885	12,33145
-65,63	2,19002	6,83715	12,48026	57,50968	0,25465	0,07243	1,44303	6,53609	0,18788	10,54376
-69,37	1,83505	9,20877	10,62343	54,83981	0,3253	0,07673	1,60594	7,80168	0,21074	11,55825
-73,13	1,74851	9,08153	11,04136	55,51144	0,31216	0,08045	1,55757	7,49285	0,20596	11,08427
-76,86	1,81458	8,1733	11,31864	55,90315	0,29073	0,0757	1,5458	7,27368	0,21064	11,47114
-80,63	2,10518	8,01038	11,68657	56,5386	0,27915	0,07346	1,51434	6,79827	0,18365	10,89214
-84,38	2,15361	6,96862	11,97632	57,62261	0,26188	0,09155	1,29131	6,90155	0,17565	10,67543
-88,13	2,21593	7,7117	11,91838	56,69389	0,33832	0,0805	1,27821	7,77806	0,19799	9,93851
-91,88	2,31417	7,1053	12,51923	57,98418	0,26769	0,06993	1,34829	7,10202	0,16826	9,26978
-95,63	2,4883	5,74249	13,62858	59,37781	0,2219	0,06894	1,26246	5,58522	0,14542	9,58374
-99,38	2,25969	7,28401	12,40867	58,02019	0,27592	0,06325	1,31415	7,26438	0,17449	9,12601
-103,13	2,31481	7,66449	11,85621	56,72113	0,28105	0,07407	1,39542	7,13508	0,17865	10,46187
-106,88	2,07406	9,14117	10,90552	55,08441	0,30755	0,0928	1,45141	7,91637	0,18777	10,96487
-110,65	2,22305	9,03446	11,2575	55,33075	0,31603	0,07819	1,38031	7,96366	0,19114	10,32028

TiO2	Cs	V	Cr	Ni	Cu	Zn	Rb	Sr	Y	Zr	Mo	Ba	Pb	Th	U	As
%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
1,01383	10,4	191,5	106,7	45,2	36,1	127,5	43,7	316,5	34	140,4	9,5	240,5	3,9	5,9	0,2	4,5
0,92128	11,5	142,7	79	33,6	40,6	138,4	40,4	327,5	35,2	137,8	1,3	226,5	15,9	10,4	1,6	5,9
0,68838	12,8	110,8	113,3	34,4	36	94,4	38,5	572,7	28,3	132,5	17,2	393,1	4,2	1,2	2,1	2,3
0,87704	17	143,5	24,9	23,7	31	104,8	41,5	490,3	30,1	134,6	3,6	389,9	11,6	10,2	<LD	8,9
0,82864	18,5	154,2	35,9	22,4	32,4	117,8	40,3	410,7	27,9	126,9	2	254,5	13,5	0,1	1,5	9,4
0,89086	4,7	168,5	58,1	23	31,1	115,2	43,9	442,4	26,6	166,4	4,9	293,6	9,9	1,8	1,8	7,3
0,99536	12,1	167,3	89	53,1	30,1	118,9	37	443,1	35,1	174,5	23,6	379,9	3,1	9,3	0,8	4,4
0,87144	20,7	154,7	88,3	49,8	30	134,4	39,9	312,2	36,9	149,4	2,4	265,5	8,9	8	2,9	4,7
0,94226	10,4	152,4	65,1	21,5	32,2	102,5	40,2	477,4	20,9	139,2	9,6	245,7	5,9	4,5	0,4	9,1
0,83444	<LD	171,8	62,1	23,5	34,3	127,1	43,3	394,1	32,4	128,7	0,9	257,3	7,1	0,1	1,5	8,4
0,89118	14,1	204,3	46,7	39,7	44,9	133,9	44,6	334,7	30,1	126,6	1,5	281,4	5,3	3,9	2,9	6,1
0,86989	3,2	184,9	73,7	32,2	33	121,2	36,6	414,2	26,8	135,1	4,4	270	5,7	8,9	1,9	10,7
0,77802	13,6	95,2	58,1	9,7	30,7	95,3	36,7	572,9	32,3	129,9	8,1	338,3	7,6	5,4	1,2	8,5
0,89126	12	176,5	42,6	14,5	29,3	135	38,4	343,9	28,8	134,7	4,4	290,1	10,1	6,2	1,4	4,6
0,84516	1,6	139,6	42,9	26,1	29,9	108,9	42,1	411,1	21,7	120,7	7,1	293,6	10,1	0,1	0,7	7,7
0,97263	13,6	181	41,2	36,7	33	115,2	42,4	416	30,3	140,4	1,5	332,3	9,6	9,1	<LD	7,1
0,93661	11,9	203,2	44,8	27,8	38,8	133,2	51,7	319,5	35,9	128,2	2,8	300,3	8,6	8,5	3,9	8
0,94505	<LD	155	43,7	31,4	29,2	111,8	39,3	428	34,4	151,4	1,7	244	12,3	7,7	3,6	9,3
0,91429	13,8	167,9	64,8	9,5	37	132,1	40,1	352,4	40,3	129,3	1,7	189,3	3	7,6	0,4	7,9
0,88391	12,5	180,6	36,2	40,8	31,7	123,2	39,8	369,9	34,9	129,4	1,1	248,9	5,2	1,8	1,3	5,4
0,92265	8,6	163,4	31	17,8	30,6	125	36,8	364,2	39,4	137,2	5,1	230,1	6,5	10,5	2,5	9
0,91826	16,9	182,2	70,3	34,2	30,1	121,3	38,5	402,5	32,8	143,8	3,9	259,9	6,7	0,7	0,8	8,3
0,88146	16	149,4	59	28,7	32,5	120,6	43,5	373,9	29,2	131,4	1,2	183,5	9,7	0,1	2,2	7,1
0,84852	13	121,2	53,7	25,9	30,7	106,4	35,1	455,6	33	166,2	4,2	245,8	0,8	1	2,3	5
0,85115	4	111,1	82,3	19	36,9	103	37,1	509,3	31,1	121,1	1,2	397,5	6,7	6,5	2,9	7,4
0,89514	17,1	99,6	102,2	38,3	31,5	114,5	40,1	468,3	30,2	141,4	11,6	218,3	8,1	0,8	1,4	7,6
0,80921	<LD	152,9	35,3	17,3	30,6	106,6	34,7	519,7	38,8	131	3,8	339,5	12,4	5,8	1,4	9,6
0,91721	11,3	194,1	28,8	10,2	33,3	124,3	43,7	426,1	31,2	150,8	1,9	317,6	5,5	1,7	0,9	5,3
0,87408	11,5	166,4	39,2	25,7	32,5	124,8	39,7	385,7	29,2	125,7	2,6	278,2	7	9,7	1,6	8,9
0,90464	<LD	141,3	64,8	28,5	26,4	104	35,6	459	34,3	129,3	6,4	299,6	3,3	3,8	1,3	7,1

Índice de abreviaturas

A. C. M: Anomalía Climática Medieval

GT: geodínamo terrestre

RCG: Rayos cósmicos galácticos

L.C.T.F.1: Laguna Carmen Tierra del Fuego 1

L.C.T.F.2: Laguna Carmen Tierra del Fuego 2

B: Campo Magnético

H: Campo magnético uniforme.

X: Susceptibilidad.

Mrs.: Magnetización de Saturación remanente (por sus siglas en inglés)

Ms: Magnetización de Saturación

Hcr: Coercitividad de la remanencia

Hc: Fuerza Coercitiva

MD: Multidonimio

DS: Dominio simple

SH: Hemisferio Sur (por sus siglas en inglés)

C.E: Conductividad eléctrica

P/E: Precipitación/ Evaporación

AP: Antes del presente

A.M.S: Espectrometría de masas con aceleradores (por sus siglas en inglés)

cal: Fechado radiocarbónico calibrado.

AGRADECIMIENTOS

Especialmente a mis Directoras de tesis, Dra. Maria Julia Orgeira y Dra. Ofelia Rita Tofalo, por la enorme oportunidad y por acompañarme durante todo el proceso con correcciones y críticas constructivas. A la Universidad de Buenos Aires, entidad que por los subsidios UBACyT de mis directoras ha financiado este trabajo. A las Doctoras Susana Alonso y Josefina Ramón Mercáu por sus invalorable observaciones y colaboraciones en las interpretaciones. A los institutos UBA-CONICET e IDEAN por el uso de su equipamiento. A la Doctora Laprida y a su grupo de investigación, por facilitarme el material de estudio ya que este grupo realizó la extracción de testigos en el campo. Al Dr. Guillermo Jorge por permitirme tomar el tiempo y espacio necesario para culminar esta maestría.

REFERENCIAS

- ALLEN, J.R.L. (1983). Studies in fluvial sedimentation bars, bar complexes and sandstone sheets (low-sinuosity braided streams) in the Brownstones (L. Devonian), Wells Borders. *Sediment. Geol.*, 33, 237-293.
- ASIEDU, D., SHIGEYUKI Suzuki, KENJI Nogami y TSUGIO Shibata (2000). Geochemistry of Lower Cretaceous sediments, Inner Zone of Southwest Japan: Constraints on provenance and tectonic environment. *Geochemical Journal*, Vol. 34, pp. 155 to 173.
- BERCOFF, P. G. y BERTORELLO, H. R. (2010). Magnetic properties of hematite with large coercivity. *Applied Physics A: Materials Science & Processing*, 100(4), 1019-1027.
- BREITSCHWERDT, D., FEIGE, J., SCHULREICH, M. M., de AVILLEZ, M. A., DETTBARN, C. y FUCHS, B. 2016. The locations of recent supernovae near the Sun from modelling ^{60}Fe transport. *Nature*, 532(7597): 73-76.
- CATALANO A. & E. FERNANDEZ. 1986. Aspectos de la producción pecuaria de las distintas zonas agroecológicas de Tierra del Fuego. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. 29-39.
- CODIGNOTTO, J. y MALUMNIÁN, N. 1981. Geología de la Región al N del paralelo 54° L.S. de la Isla Grande de Tierra del Fuego. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 1:44-88.
- CORONATO, A. M. J., PONDE, J. F, QUIROGA, D.R y GOGORZA, C. (2016). Caracterización geológica y geomorfológica de la cuenca de la Laguna Carmen (Estepa Fueguina, Argentina) y su registro sedimentario durante el Holoceno tardío. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 74(2).
- DAY, R., FULLER, M., y SCHMIDT, V. A. (1977). Hysteresis properties of titanomagnetites: grain-size and compositional dependence. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 13(4), 260-267.
- DEARING, J. (1994). Environmental magnetic susceptibility. Using the Bartington MS2 system. Kenilworth, Chi Publ.
- DEKKERS, M. J. 1997. Environmental Magnetism: An Introduction. *Geologie En Mijnbouw*- 76 (1), 163-182.

Diz, J. I., & de EXACTAS, N. D. L. S. (1999). Teoría astronómica de Milankovitch y modelos climáticos. Vol 93, Nº1. pp 29-33.

DUNLOP, D. J., ÖZDEMİR, Ö. y SCHMIDT, P. W. (1997). Paleomagnetism and paleothermometry of the Sydney Basin 2. Origin of anomalously high unblocking temperatures. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 102(B12), 27285-27295.

DUNLOP, D. (2002 b). Theory and application of the Day plot (Mrs/Ms versus Hcr/Hc). 2. Application to data for rocks, sediments and soils. *Journal of Geophysical Research*. Vol.107. No.B3.PP. 10.1029. EPM 5-1.

EUGSTER, H. P. y HARDIE, L. A. (1978). Saline lakes. In *Lakes* (pp. 237-293). Springer New York.

EVANS, M. y HELLER, F. (2003). Environmental magnetism: principles and applications of enviromagnetics (Vol. 86). Academic press.

FRENZEL, P. y BOOMER, I. (2005). The use of ostracods from marginal marine, brackish waters as bioindicators of modern and Quaternary environmental change. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 225(1), 68-92.

FRY, B. J., FIELDS, B. D. y ELLIS, J. R. 2016. Radioactive Iron Rain: Transporting 60 Fe in Supernova Dust to the Ocean Floor. arXiv preprint arXiv:1604.00958.

GUO HUA, DU YUANSHENG, ZHOU LIAN, YANG JIANGHAI, HUANG HU, LIU MIN, WANG YUAN. (2013) Trace and rare earth elemental geochemistry of carbonate succession in the Middle Gaoyuzhuang Formation, Pingquan Section: Implications for Early Mesoproterozoic ocean redox conditions, *Journal of Palaeogeography*, Volume 2, Issue 2, 209-221, ISSN 2095-3836

HOGG, A. G., HUA, Q., BLACKWELL, P. G., NIU, M., BUCK, C. E., GUILDERTSON, T. P. y TURNEY, C. S. (2013). SHCal13 Southern Hemisphere calibration, 0–50,000 years cal BP. *Radiocarbon*, 55(4), 1889-1903.

KATZ, B. J. (1990). Controls on Distribution of Lacustrine Source Rocks through Time and Space: Chapter 4.

KANIEWSKI, D., VAN CAMPO, E., PAULISSEN, E., WEISS, H., BAKKER, J., ROSSIGNOL, I., & VAN LERBERGHE, K. (2011). The medieval climate anomaly and the little Ice Age in

coastal Syria inferred from pollen-derived palaeoclimatic patterns. *Global and Planetary Change*, 78(3-4), 178-187.

LANGEVIN, P. (1905). Magnétisme et théorie des électrons. *Ann. chim. et phys.*, (8), 203.

LUDWING, P., BISHOP, S., EGLI, R., CHERNENKO, V., DENEVA, B., FAESTERMANN, T., FAMULOKA N., FIMIANIA L., GÓMEZ-GUZMÁNA J.M., HAINA K., KORSCHINEKA G., HANZLIK M., MERCHELD S. y RUGELD G. 2016. Time-resolved 2-million-year-old supernova activity discovered in Earth's microfossil record. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 201601040.

MAHER, B. A. (1988). Magnetic properties of some synthetic sub-micron magnetites. *Geophysical Journal International*, 94(1), 83-96.

MAHER, B. A y R. THOMPSON, (1999). *Quaternary Climate, Environments and Magnetism*. Cambridge University Press, Cambridge, 390 pp.

MERCAU, J. R. y LAPRIDA, C. (2016). An ostracod-based calibration function for electrical conductivity reconstruction in lacustrine environments in Patagonia, Southern South America. *Ecological Indicators*, 69, 522-532.

MIALL, A. D., 1981. Analysis of fluvial depositional systems. *American Association Petroleum Geologists Education Course Notes* 20, Calgary.

MIALL, A. D., 1996. *The Geology of fluvial Deposits*. Springer-Verlag, 582 p., Berlín.

MIALL, A. (2014). The facies and architecture of fluvial systems. In *Fluvial Depositional Systems* (pp. 9-68). Springer International Publishing.

MIRALLES, A. A. (2010). *Sedimentología: del proceso físico a la cuenca sedimentaria* (Vol. 46). Editorial CSIC-CSIC Press.

OHNO, M., T. HAYASHI T., KOMATSU F., MURAKANI F., ZHAO M., GUYODO Y., ACTON G., EVANS H.F. y KANAMATSU T. 2012, A detailed paleomagnetic record between 2.1 and 2.75 Ma at IODP Site U1314 in the North Atlantic: Geomagnetic excursions and the Gauss-Matuyama transition, *Geochemistry. Geophysics. Geosystems.*, 13, Q12Z39, doi:10.1029/2012GC004080.

ORGEIRA, M. J. y COMPAGNUCCI, R. H. (2009). Uso de la señal magnética de suelos y paleosuelos como función climática. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 65(4), 612-623.

ORGEIRA M.J., COMPAGNUCCI R.H. y SINITO A.M., 2017. Relacion entre el nacimiento de una supernova, una transición de polaridad del campo magnético terrestre y el limite plio pleistoceno- XX. Congreso Geológico Argentino, San Miguel de Tucumán, Agosto 2017. Actas on line. 4 páginas.

ORGEIRA, M. J., SINITO, A. M. y COMPAGNUCCI, R. H. 2016. The Influence of the Geomagnetic Field in Climate Changes. In Marine Isotope Stage 3 in Southern South America, 60 KA BP-30 KA BP . Ed gasparini G.M., Rabassa J., Deschamp C. and Tonni E. Springer earth system series. 354pp

ORGEIRA, M. J., WALTHER, A. M., TOFALO, R. O., VASQUEZ, C., BERQUÓ, T., DOBOIS, C. F., y BOHNEL, H. (2003). Environmental magnetism in fluvial and loessic Holocene sediments and paleosols from the Chacopampean plain (Argentina). *Journal of South American Earth Sciences*, 16(4), 259-274.

RAMÓN MERCAU, J. 2015. Estudio de la biodiversidad de Ostrácodos actuales y su aplicación en la elaboración de funciones de transferencia para reconstrucciones paleoambientales del Holoceno en la provincia de Santa Cruz (50-52° S). Tesis presentada para optar al título de Doctor de la Universidad de Buenos Aires, área Ciencias Biológicas, 220pp.

REBERTUS, A. J., KITZBERGER, T., VEBLEN, T. T. y ROOVERS, L. M. (1997). Blowdown history and landscape patterns in the Andes of Tierra del Fuego, Argentina. *Ecology*, 78(3), 678-692.

RAMSEY, C. B. y LEE, S. (2013). Recent and planned developments of the program OxCal. *Radiocarbon*, 55(2-3), 720-730.

ROSER, B. P. y KORSCH, R. J. (1988). Provenance signatures of sandstone-mudstone suites determined using discriminant function analysis of major-element data. *Chemical geology*, 67(1-2), 119-139.

SAAVEDRA, M., Calvo, M., & JIMÉNEZ, C. (2011). Caracterización climática de la circulación atmosférica en América del Sur. *Revista de Investigación de Física*, 14(01).

- SUTTNER L.J y DUTTA P.K. (1986) Alluvial sandstones composition and paleoclimate, I, framework mineralogy [J]. *Journal of Sedimentary Petrology*. 56, 329–345
- STUIVER, M., REIMER, P. J., & REIMER, R. (2014). Programa Calib 7.0.
- THOMPSON, R y OTFIELD F., (1986). *Environmental Magnetism*, Allen and Unwin. 227. p Winchester
- TROLL, C., PAFFEN, K. H. (1963). "Seasonal Climates of the Earth", in Rodenwaldt E., Juszat H. J. (eds), *World Maps of Climatology*, Berlin-Heidelberg, Springer Verlag.
- TUHKANEN, S. 1992. The climate of Tierra del Fuego from a vegetation geographical point of view and its ecoclimatic counterparts elsewhere. *Acta Botanica Fennica* 125: 4–17.
- TUHKANEN, S., KUOKKA, I., HYVÖNEN, J., STENROOS, S. y NIEMELÄ, J. (1990). Tierra del Fuego as a target for biogeographical research in the past and present. In *Anales del Instituto de la Patagonia Serie Ciencias Naturales* (Vol. 19, No. 2, pp. 1-107).
- URIARTE CANTOLLA, A. (2004) *Historia del clima de la tierra*. Gobierno Vasco. Departamento de Transportes y Obras Públicas. Dirección de Meteorología y Climatología, Vitoria Gasteiz.
- WALTER, H. y BOX, E. (1976). Global classification of natural terrestrial ecosystems. *Plant Ecology*, 32(2), 75-81.
- WALLNER, C., FAESTERMANN, T., GERSTMANN, U., KNIE, K., KORSCHINEK, G., LIERSE, C., and RUGEL, G. 2004. Supernova produced and anthropogenic ²⁴⁴ Pu in deep sea manganese encrustations. *New Astronomy Reviews*, 48(1): 145-150.
- WENDLER, J. 2004. External forcing of the geomagnetic field? Implications for the cosmic ray flux—climate variability. *Journal of Atmospheric and Solar-terrestrial Physics*, 66(13): 1195-1203.