



MANTOS EÓLICOS Y LAGUNAS SEMIPERMANENTES DE LA ESTEPA FUEGUINA (53°S), ARGENTINA

Aeolian sheets and semi-permanent lakes of the Fuegian Steppe (53°S), Argentina

María Laura Villarreal^{1,2}, Andrea Coronato^{1,2}, Elizabeth Mazzoni³ y Ramiro López¹

¹CONICET-CADIC. B. Houssay 200. (9410). Ushuaia, Argentina.

²ICPRNA-UNTDF. Onas 450. (9410). Ushuaia, Argentina. mlauravillarreal@gmail.com

³UNPA-UARG. Av. Gregores y Piloto Rivera s/n. (9400). Río Gallegos, Argentina.

Abstract: Morphometric, sedimentary and substrata features of thin, silty-clayed or sandy silty-clayed sheets developed leeward semi-permanent lakes are shown. Their origin is attributed to deflation over the dry bottom lakes. They cover the pre-existing relief without creating new landforms. A multi-temporal analysis using Landsat and QuickBird images was performed in order to record changes in lake, dry bottom and dust sheet sizes; also the spectral signature of these sheets was obtained. It was obtained a statistical relationship among the aeolian sheets size and the dried bottom lakes size. The salinity condition in water and sheet's sediments is established and is pointed their influence in the vegetation cover.

Key words: Dust sheets, deflation, semi-permanent lakes, fuegian steppe.

Resumen: Se presentan las características morfológicas, sedimentarias y del sustrato de delgados mantos limo-arcillosos y areno-limo-arcillosos ubicados a sotavento de lagunas semipermanentes, originados por deflación de los fondos secos de las lagunas. Cubren el relieve pre-existente sin originar nuevas geoformas. Mediante imágenes Landsat y QuickBird se realizó un análisis multi-temporal de la variación del tamaño de los fondos secos de las lagunas y de los mantos eólicos, y se estableció la relación estadística entre ellos. Se analizó la salinidad del agua y de los sedimentos según su posición en el manto eólico, observándose una relación con la distribución de la vegetación.

Palabras claves: Mantos de polvo, deflación, lagunas semipermanentes, estepa fueguina.

Villarreal, M.L., Coronato, A., Mazzoni, E. y López, R. (2014): Mantos eólicos y lagunas semipermanentes de la Estepa Fueguina (53°S), Argentina. *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 27(2): 81-96

Los procesos eólicos ocurren en el sector semiárido del extremo sur de Sudamérica y en el norte de la Isla Grande de Tierra del Fuego (52°-54° latitud sur), aunque éstos están aun escasamente estudiados (Movia, 1979; Mazzoni, 2001; Mazzoni *et al.*, 2001, 2002). Dunas de tipo *perched* han sido descritas asociadas a otras de las lagunas semipermanentes de la estepa fueguina (Coronato *et al.*, 2011a y b) y al Lago Fagnano, de origen glacial y ubicado en la zona boscosa de Tierra del Fuego (Coronato *et al.*, 2006). Campos de *lunettes* fueron descritos por Arche y Vilas (1987) en la marisma holocena de la Bahía de San Sebastián, mientras que Raedeke (1978) hizo referencia a dunas longitudinales

y transversales asociadas a lagunas, en ambos casos se trata de ambientes geomorfológicos ubicados al norte del área de estudio (Fig. 1).

Poco se conoce sobre la ocurrencia de deflación en ambientes templado-fríos con presencia de nieve y/o hielo en invierno (Goudie, 1994; Seppälä, 2004). El objetivo de este trabajo es presentar evidencias de procesos de deflación en ambientes templado-fríos analizando las fuentes del material, el efecto del viento y describiendo las características morfológicas y sedimentológicas de los rasgos geomorfológicos resultantes, aquí denominados mantos eólicos.

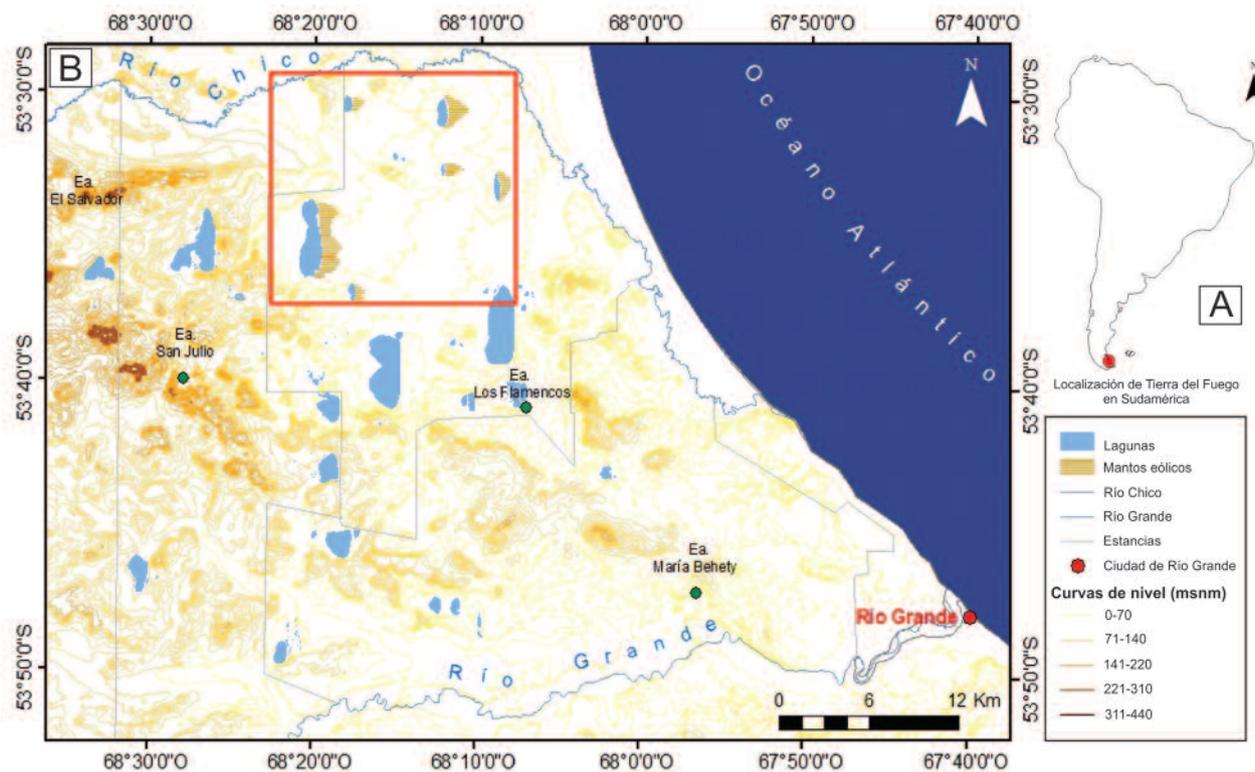


Fig. 1.- Situación geográfica del área donde se disponen las lagunas estudiadas. A: Situación de Tierra del Fuego en el subcontinente Sudamericano. B: Situación de la Estepa Fueguina. El recuadro delimita la región donde se disponen las lagunas consideradas en este trabajo.

Área de Trabajo

El sector estudiado se sitúa en la estepa fueguina. Está caracterizado por un relieve de serranías formadas por rocas sedimentarias marinas (Codignotto y Malumnián, 1981), fuertemente disectadas, y planicies de depósitos glaciofluviales (Bujalesky *et al.*, 2001). Forman parte del relieve depresiones cerradas en las que se emplazan lagunas salobres, semipermanentes (Fig. 2), algunas de las cuales están afectadas por deflación en sus orillas orientales.

El clima de la región fue caracterizado como frío de Estepa (Pisano, 1977). La temperatura media del mes más frío (agosto) fue establecida en -2°C y la del mes más cálido (febrero) en 10°C (Tuhkanen, 1992). Según los registros propios de la estación San Julio ($53^{\circ}39'\text{S}$, $68^{\circ}27'\text{W}$; Fig. 1) para los años 2011 y 2012, la temperatura media del mes más frío (julio) fue de $0,3^{\circ}\text{C}$ y la del mes más cálido (enero) fue de $11,09^{\circ}\text{C}$. A pesar de la condición oceánica de Tierra del Fuego (Tuhkanen, 1992; Coronato *et al.*, 2008), el índice de continentalidad adquiere sus mayores valores en la zona de estudio, siendo igual a 8, con un máximo de 10 al SW (Tuhkanen, 1992). La precipitación anual fue estimada entre 300-400 mm con un gradiente decreciente de oeste a este y de sur a norte (Tuhkanen, 1992), aunque los registros propios de la estación mencionada indican valores anuales de 245 mm para los años 2011-2012. La nieve o hielo en el suelo se presenta entre mayo y agosto. El viento es permanente a lo largo del año. La zona está afectada por el Anticiclón del Pacífico Sur que aporta vientos del NW-W y por sistemas de Altas Presiones ubicados en Antártida, que aportan

viento desde el SW, S y SE formando parte del Frente Polar. El viento proveniente del E es el menos frecuente, pero es el que aporta humedad desde el Atlántico Sur y ocasiona tormentas de nieve invernales. El viento tiene un intenso efecto de desecación durante la temporada estival sobre la humedad del suelo y el agua de las lagunas (Iturraspe y Urciuolo, 2002). Un análisis de dirección, intensidad y ráfagas de viento se presenta más adelante, como parte de los resultados obtenidos por este trabajo.

La vegetación predominante de la estepa es *Festuca gracillima* (coirón), *Empetrum rubrum* (murtilla), *Chilictrichium diffusum* (mata negra), *Hordeum cosmosum* y diferentes especies de *Poa*, mientras que en las zonas con uso ganadero intenso aparecen especies endémicas propias de ambientes fríos y suelos pobres en nutrientes, tales como *Bolax gummifera* y *Azorella trifurcata* (Moore, 1983; Collantes, 1989). *Hieracium pilosella* constituye la especie invasora de mayor importancia y diseminación en el área estudiada.

Métodos

Se realizó el análisis visual de lagunas y mantos eólicos utilizando las imágenes de satélite *Quickbird* (*Digital Globe*) disponibles en *Google Earth*®, de fechas 01/01/1970, 18/03/2004, 19/03/2004, 21/02/2006 y 22/02/2006 y las imágenes *Landsat TM* y *ETM path/row 227-097* de los días 5/04/1985, 02/10/2001 y 29/10/2005, previamente georreferenciadas al sistema de coordenadas *Transverse Mercator* y datum WGS84. A fin de obtener mejores resultados en pantalla, se probaron diferentes com-

binaciones de bandas, sobre las imágenes *Landsat* resultando la más apropiada la 7-5-3 ya que permite una mejor discriminación de los tipos de sedimentos depositados. Se llevaron a cabo clasificaciones supervisadas en cada imagen a partir del análisis de las señales espectrales de cada cubierta utilizando ERDAS 8.4. La clasificación supervisada es la categorización de una imagen multibanda en la que se reemplazan los niveles digitales por tipos de cobertura, a partir del conocimiento previo de la zona de estudio (Chuvieco, 2010).

El análisis visual y morfométrico se realizó para la totalidad de las lagunas y mantos eólicos presentes en el área de estudio, mientras que la clasificación supervisada (Chuvieco, 2010), el trabajo de campo, el análisis de sedimentos, de agua y el reconocimiento de vegetación se focalizó en las lagunas Escondida y O'Connor (Fig. 2) por razones logísticas y de accesibilidad.

Se estableció la longitud y ancho de los mantos eólicos, considerando longitud como la distancia entre sus puntos extremos occidental y oriental, con respecto a la dirección del viento predominante, y ancho como la distancia entre sus puntos extremos septentrional y meridional a lo largo de la costa oriental de las lagunas.

El análisis multitemporal de la superficie de lagunas y mantos se realizó utilizando el conjunto de imágenes disponibles antes mencionado.

Se analizaron las características morfométricas de las lagunas utilizando las imágenes más actuales disponibles en *Google Earth*®, años 2004 y 2006, según criterios establecidos por Hutchinson (1957): Perímetro de la laguna (P), Área (A), Longitud Máxima Total (LMT) que corresponde a la distancia en línea recta entre los dos puntos más distantes de las orillas del lago y representa la longitud má-

xima de agua continua de la superficie de la laguna con la cual puede interactuar el viento de la misma, orientación de LMT, Ancho Máximo (AM), que es la distancia en ángulo recto con la línea de longitud máxima, y Desarrollo de la Línea de Costa (DLC), que equivale al cociente entre el perímetro del lago y el perímetro de una circunferencia de la misma área ($L/\sqrt{\pi \cdot A}$).

El análisis de dirección, intensidad media y ráfagas máximas de viento se realizó con datos del período 2011-2012 distinguiéndolo luego del análisis de datos para la estación estival, entre noviembre de 2011 y marzo de 2012, utilizando los datos recogidos por la *Estación Davis Vantage Pro 2*, instalada en la zona de trabajo desde el mes de febrero del año 2011. No existen otras estaciones meteorológicas que aporten una serie de tiempo más extensa para esta región de Tierra del Fuego.

Se realizó el análisis textural de sedimentos que componen los mantos eólicos y sus áreas fuente utilizando el equipo *Mastersizer Malvern 2000* disponible en el Laboratorio de Geología Marina, IADO (CONICET, Bahía Blanca). La toma de muestras fue a barlovento y sotavento, algunas dispersas y otras mediante transectos W-E a sotavento de las lagunas cubriendo la extensión de los mantos eólicos. Para la determinación del color de los sedimentos que conforman los mantos eólicos y suelos se utilizó la Escala Munsell (1973).

Los análisis de contenido en sales de los sedimentos fueron llevados a cabo por el Laboratorio de Análisis Químicos (CERZOS-CONICET-UNS, Bahía Blanca), utilizando un espectrómetro de Emisión Atómica por Plasma de Acoplamiento Inductivo (ICP-AES), *Shimadzu 9000* Simultáneo de Alta Resolución según norma EPA 200.7. Se aplicó la Relación de Adsorción de Sodio (RAS) para de-

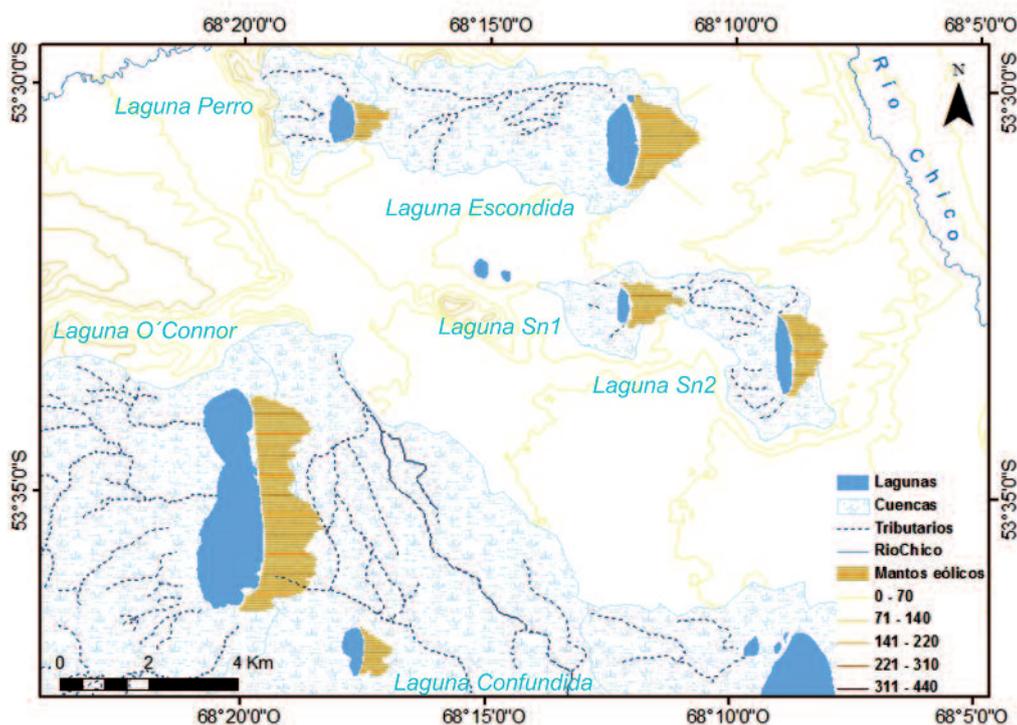


Fig. 2.- Situación geográfica detallada de las lagunas estudiadas y sus respectivos mantos eólicos.

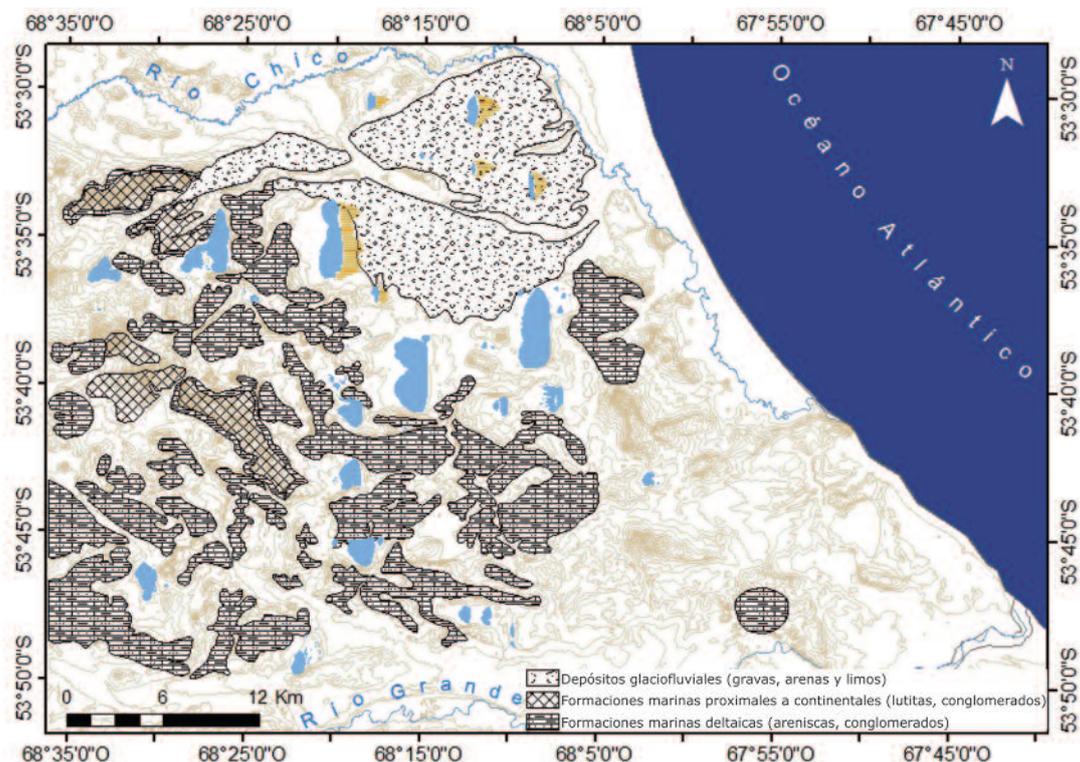


Fig. 3.- Mapa litoestratigráfico del área considerada en este trabajo (modificado de Olivero *et al.*, 2006).

terminar el riesgo de sodificación o alcalinización de los sedimentos de superficie en el sector de mantos eólicos, según la fórmula: $RAS = Na^+ / \sqrt{Ca^{++} + Mg^{++} / 2}$ y se estableció la salinidad a través de la conductividad eléctrica según Richards (1954).

La concentración de sales en el agua de las lagunas se calculó mediante el método de sólidos disueltos totales (SDT) y se estimó por conductividad eléctrica.

La cubierta vegetal de la periferia de las lagunas y de los mantos eólicos se identificó y determinó a través del reconocimiento de campo, consulta bibliográfica y reconocimiento con el herbario regional conservado en CADIC, Ushuaia, bajo el asesoramiento de Dra. V. Lencinas (CONICET-CADIC). La base de datos y la cartografía resultante se generó mediante Arc GIS 9.3.

Caracterización fisiográfica de las lagunas semipermanentes

Las lagunas afectadas por deflación se emplazan en ambientes sedimentarios de transición gradual entre medios deltaicos y marinos (Formación Carmen Sylva, de edad Mioceno inferior-medio) a continental (Formación Castillo, de edad Mioceno medio; Codignotto y Malumnián, 1981). Los depósitos cuaternarios están representados por gravas y arenas de origen glaciofluvial, presumiblemente

de edad Pleistoceno medio (Bujalesky *et al.*, 2001; Olivero *et al.*, 2006). Las depresiones afectadas por deflación se disponen principalmente en la zona de sedimentos glaciofluviales (Fig. 3).

Las lagunas son el depocentro de cuencas endorreicas (Fig. 4) formadas por cursos de agua temporales que aportan su caudal durante los meses de deshielo (septiembre-noviembre). A pesar de la distribución anual uniforme de las precipitaciones, la permanencia del viento y la duración del día durante el verano (máxima duración 17 horas en proximidad al solsticio), generan evaporación y desecación de los cuerpos de agua otorgándoles el carácter de semipermanentes.

Los cuerpos de agua ocupan parcialmente las depresiones topográficas en las que se emplazan (Tabla 1). Presentan un fondo plano, observable en la situación de desecamiento parcial o total. En períodos con agua, la profundidad no supera 1 m.

Procesamiento digital

Se determinaron las curvas espectrales de las diferentes cubiertas y se realizaron las clasificaciones supervisadas que posibilitaron cuantificar la superficie ocupada por agua y por mantos eólicos en cada intervalo temporal de medida (Fig. 5 A y B).

Laguna	Escondida	Perro	O'connor	Sn1	Sn2	Confundida
Superficie laguna (km ²)	1	0,47	5,23	0,15	0,48	0,36
Superficie depresión (km ²)	2,21	0,68	8,43	0,36	1,13	0,48

Tabla 1. Superficie de lagunas y depresiones correspondientes según imagen de satélite *Quickbird*, año 2004-2006.

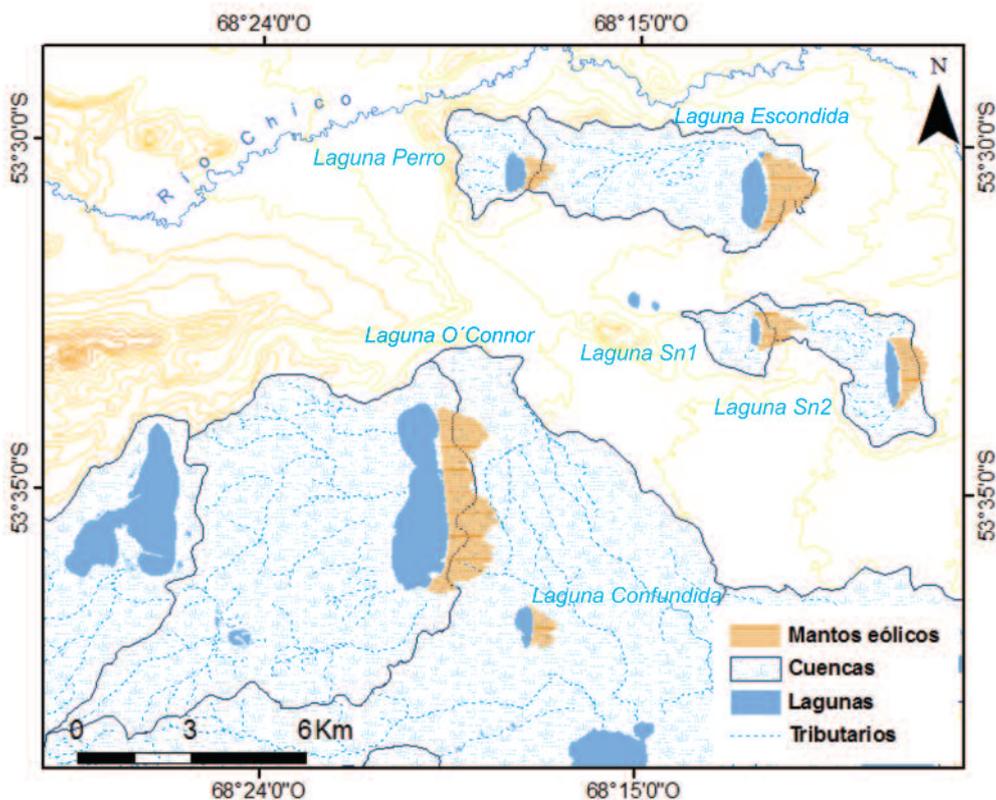


Fig. 4.- Situación de las cuencas endorreicas donde se disponen las lagunas estudiadas, Laguna Escondida, Laguna O'Connor, Sn1, Sn2.

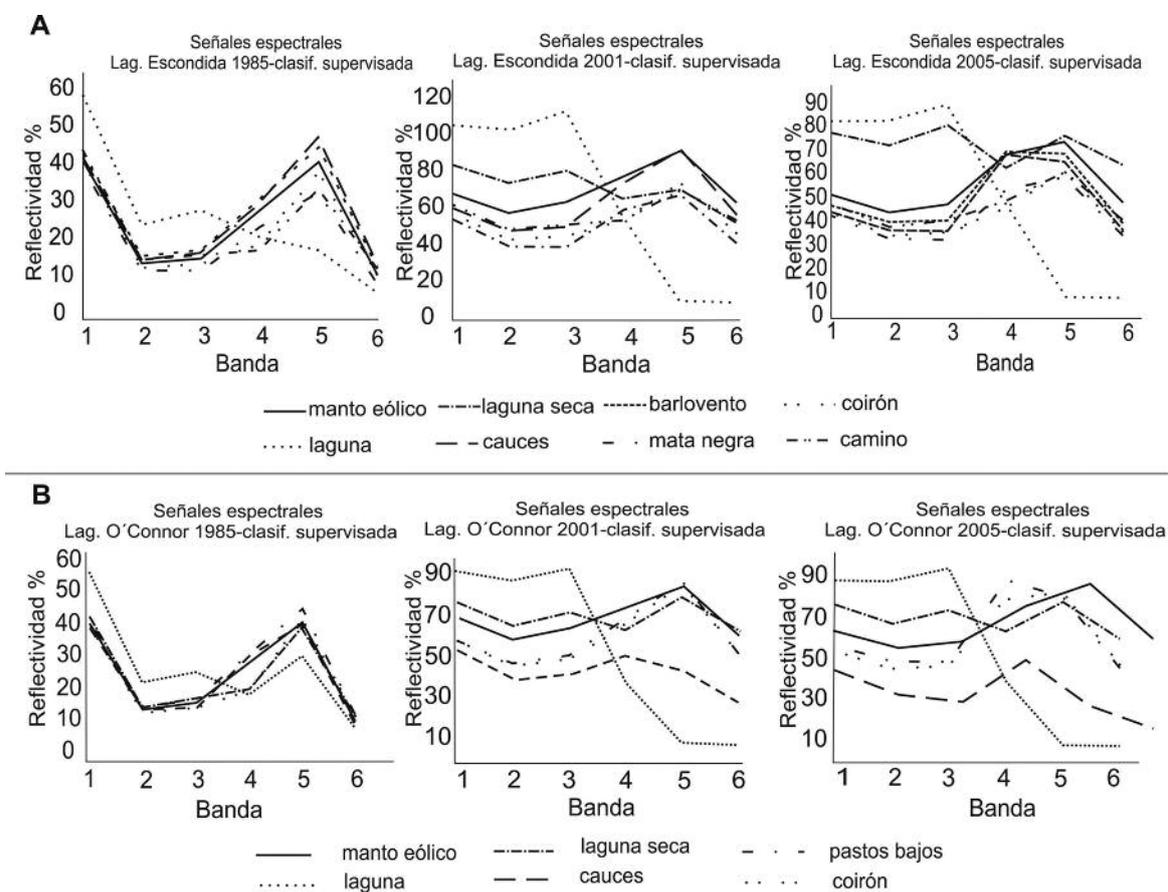


Fig. 5.- Señales espectrales de las diferentes cubiertas, lagunas Escondida y O'Connor para los años 1985- 2001- 2005, imagen Landsat.

La imagen de 1985 corresponde al mes de abril mientras que la de los años 2001 y 2005 al mes de octubre, razón por la cual existen diferencias en la reflectividad de las coberteras debido a una variación en el porcentaje de humedad y estado fenológico de la vegetación de un mes con respecto al otro. La imagen de 1985 muestra niveles digitales (ND) más bajos en todas las bandas respecto a las dos imágenes restantes. Esto puede deberse a un mayor porcentaje de humedad en el suelo. En el año 2001 las señales tienen un crecimiento en la banda 4 y 5, lo cual podría deberse a una mayor cobertera vegetal. Para el año 1985, la vegetación refleja mayormente en la banda 4 mientras que en 2001 y 2005 en la 5, diferencias relacionadas con la variabilidad en su desarrollo anual. La curva espectral correspondiente al manto eólico presenta su máximo valor en la banda 5, ya que está cubierto por vegetación baja compuesta por *Poa sp.* y *Hordeum cosmosum*. La laguna seca presenta un mayor rango de los valores de reflectancia en 1985, mientras que en 2001 y 2005 la curva se eleva en la banda 3, suponiendo menor humedad en el suelo. El agua de la laguna muestra una señal espectral típica, con mayores valores en el rango del espectro visible y muy bajos en el infrarrojo (IR). Sin embargo, pueden observarse diferencias en los años analizados. Los valores más elevados en ambas lagunas para el año 1985 corresponden a la longitud de onda del azul, con un declive irregular hacia el IR, más acentuado en laguna O'Connor, lo cual podría indicar la presencia de sedimentos en el cuerpo de agua. Para los años 2001 y 2005, la curva se mantiene con valores altos hasta la banda 3, donde sube levemente, bajando de manera abrupta hasta el IR. Esta reflectancia en la longitud de onda del rojo puede ser provocada por la presencia de la especie halófila *Suaeda patagónica* que coloniza el fondo de las lagunas secas cuando poseen aguas someras, suelo saturado o en proceso de desecamiento.

La clasificación supervisada permitió identificar las unidades de paisaje presentes en el área de estudio a través del análisis visual realizado sobre las imágenes de satélite y el reconocimiento de campo.

Los resultados muestran una progresiva disminución del cuerpo de agua entre 1985 y 2005, muy notable para éste último año (Tabla 2), y un progresivo aumento de la superficie de laguna seca (Fig. 6 A y B). Como consecuencia de la retracción del cuerpo de agua, la clase "laguna seca" aumentó en superficie en los años considerados, lo cual se interpreta como un incremento de la disponibilidad de partículas para el proceso de deflación. Respecto al manto eólico, es posible que existan interferencias en el reconocimiento de su área debido a la presencia de algunas especies vegetales que también se encuentran en la periferia de la laguna. No obstante, en la Tabla 2 se presentan los resultados obtenidos para las 3 clases más representativas (cuerpos de agua, laguna seca o fondo de laguna, manto eólico). En las imágenes de 2001 y 2005 se observa una nítida delimitación de su área, dada por una mayor resolución del sensor ETM.

Morfometría y análisis multitemporal de lagunas y mantos eólicos

Las lagunas se localizan en el sector oriental de la depresión que las contiene (Fig. 4), y dejan un sector seco a barlovento, en coincidencia con la procedencia del viento dominante, el cual es un factor determinante para la disponibilidad de agua. Las lagunas estudiadas son elípticas ya que la DLC es < 2 , con orientación de sus ejes mayores (LMT) en sentido N-S y con longitudes que varían entre 4,9 y 0,79 km. El área oscila entre 0,15 y 5,23 km² (Tabla 3). Las lagunas mantuvieron su forma entre los años 1970 y 2004-2006, mientras que la superficie se redujo de 1,63 a 1 km² en Laguna Escondida y aumentó de 4,9 a 5,23 km² en Laguna O'Connor (Fig. 7 A y B). En el año 2004 la Laguna Escondida presentaba una marcada desecación en su sector occidental, a barlovento, y un desplazamiento hacia el E de la depresión. Los mantos eólicos se extienden a sotavento de las lagunas, su ancho, medido en sentido N-S, tiene una extensión coincidente con la del eje mayor de las lagunas. La morfología del sector distal de los mantos es

	1985		2001		2005	
	LE	LO	LE	LO	LE	LO
Cuerpo de agua (km ²)	2,37	6,39	1,37	4,32	1,19	4,06
Laguna seca (km ²)	-	2,52	1,32	3,83	1,04	3,26
Manto eólico (km ²)	1,27	4,57	1,16	4,35	1,55	5,13

Tabla 2. Superficies del cuerpo de agua, laguna seca y manto eólico en lagunas Escondida (LE) y O'Connor (LO) para los años 1985, 2001 y 2005.

Morfometría de las lagunas						
	Escondida	Perro	O'Connor	Sn1	Sn2	Confundida
P (km)	4,4	2,7	12,97	1,8	3,8	2,66
A (km ²)	1	0,47	5,23	0,15	0,48	0,36
AM (km)	0,53	2,28	1,07	0,19	0,27	3,03
LMT (km)	1,9	1,07	4,9	0,79	1,8	1,09
DLC	1,2	1,1	1,6	1,3	1,5	1,24

Tabla 3. Morfometría de lagunas Escondida, Perro, O'Connor, Sn1, Sn2 y Confundida siguiendo los criterios de Hutchinson (1957). P: Perímetro, A: Área, AM: Ancho Máximo, LMT: Longitud Máxima Total, DLC: Desarrollo de la Línea de Costa.

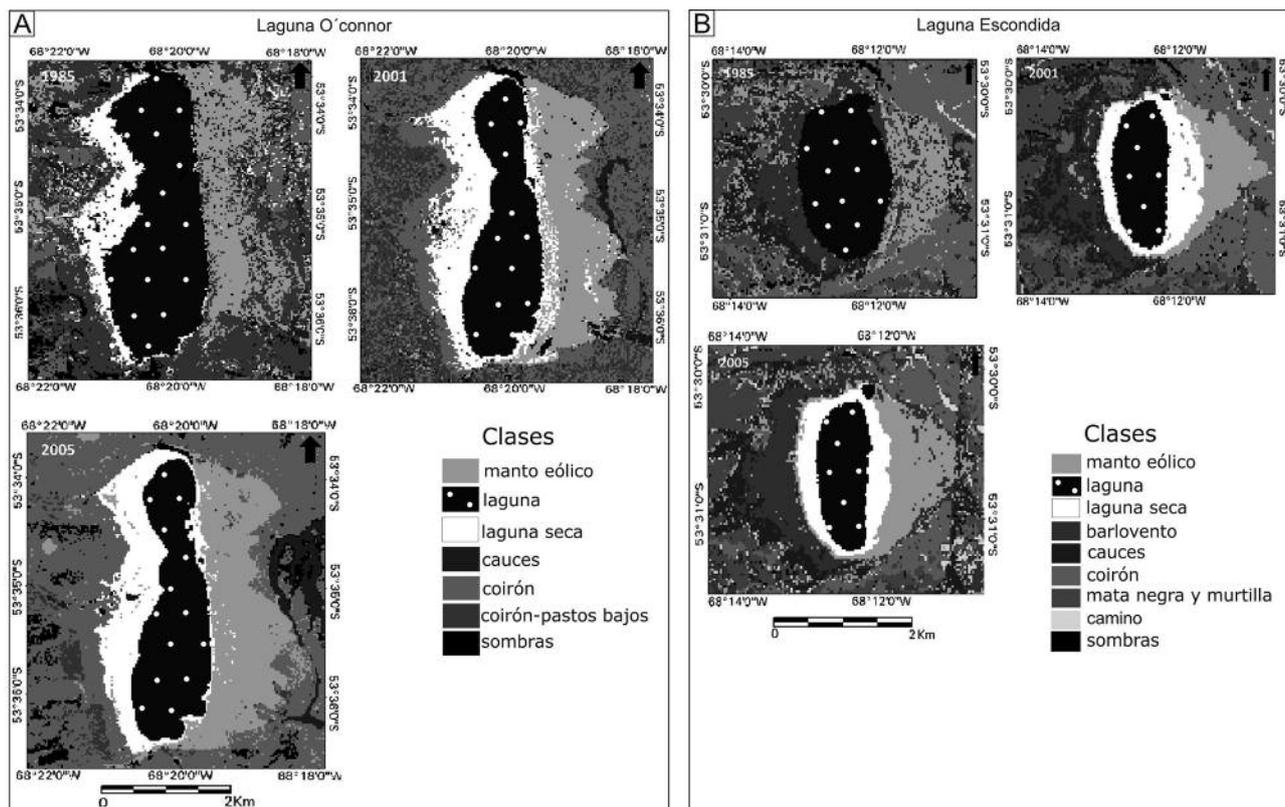


Fig. 6.- Clasificación supervisada realizada a partir de imágenes *Landsat* para los años 1985-2001-2005. A: Laguna O'Connor y B: Laguna Escondida.

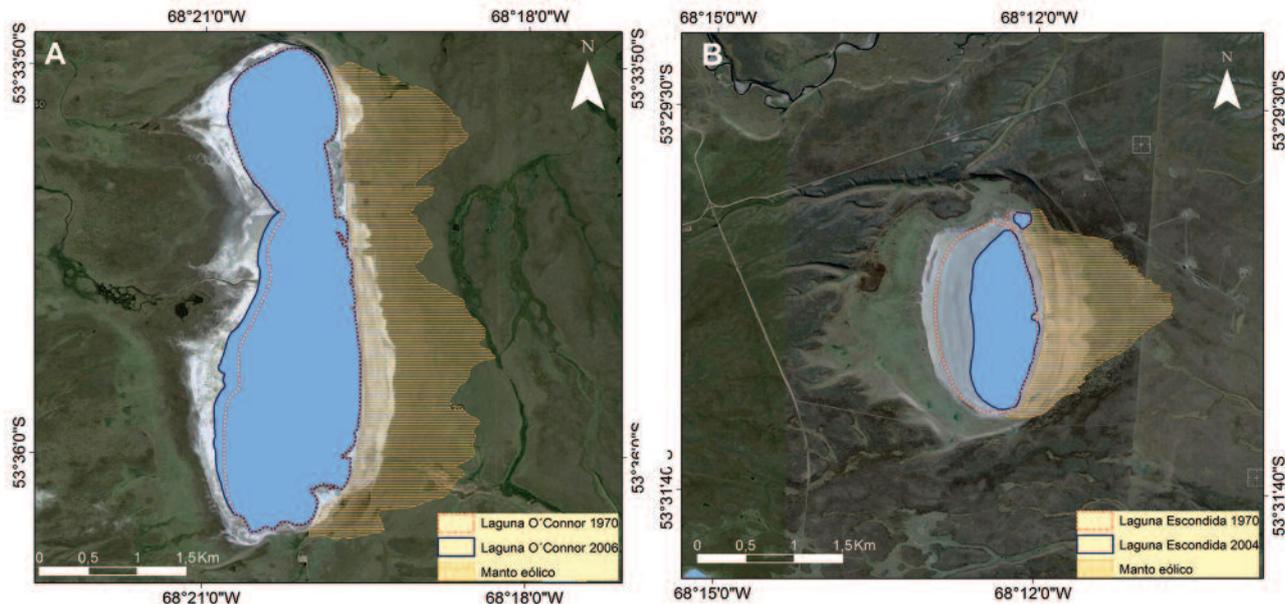


Fig. 7.- Imagen de *Quickbird* donde se muestra la extensión de cuerpos de agua y mantos eólicos en A: Laguna O'Connor y B: Laguna Escondida, para los años 1970 y 2004-2006.

diferente; en Laguna Escondida forma un triángulo con base paralela a la línea de costa oriental de 2,12 km de longitud y con ápice definido a 1,3 km de la misma, cubriendo una superficie de 1,7 km², mientras que en Laguna O'Connor no tiene un extremo distal definido, sino que cubre homogéneamente el terreno hasta una cárcava con drenaje semipermanente que discurre hacia el S y avanza sobre una cuenca endorreica vecina, como ocurre en la mayoría de

los casos (Fig. 2). La superficie de este manto es de 4,7 km² y la distancia del ápice respecto a la línea de costa oriental varía entre 603 m y 1,4 km. La superficie y morfología de los mantos eólicos no varió a lo largo del período analizado. Esto se interpreta como el efecto de trampa que ejerce la vegetación baja que los coloniza y a la presencia de *Festuca gracillima* en el borde distal de los mismos que retiene los sedimentos deflacionados. En las proximidades al borde

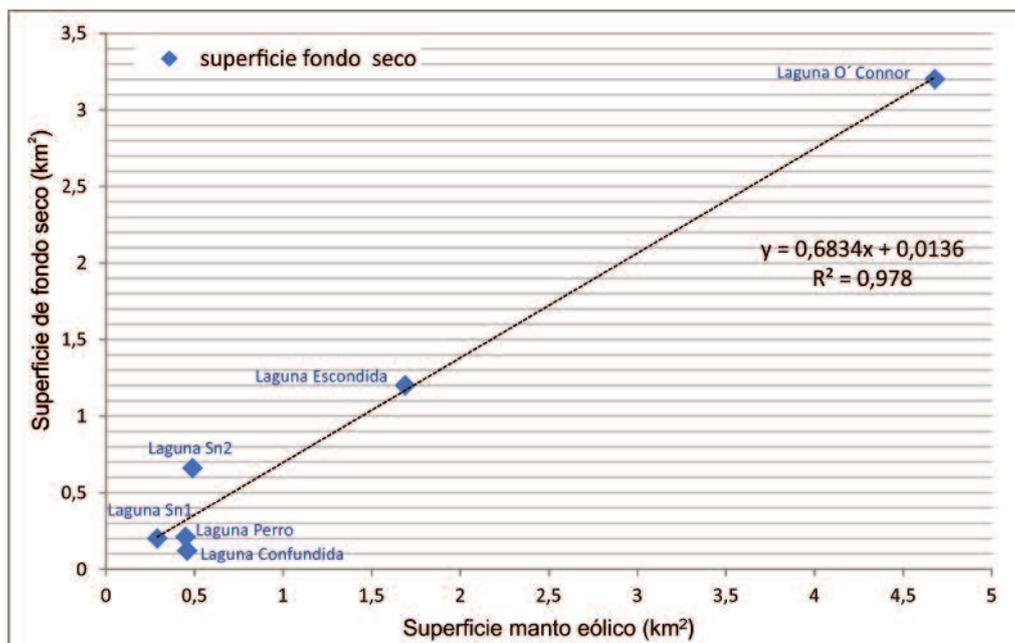


Fig. 8.- Correlación entre superficie de lagunas con agua y sus respectivas áreas secas con respecto a superficie de los mantos eólicos.

del manto eólico de Laguna Escondida se observa la retención reciente de partículas finas entre las matas de *Festuca gracillima*, lo que constituye el primer estadio de sedimentación en la conformación del borde distal del manto. Posteriormente, *Festuca gracillima* comienza a degradarse, reduciendo la densidad y volumen de la mata, y se produce la incorporación definitiva del sedimento al suelo. Este proceso de formación es lento y depende de las condiciones de viento de la estación estival, durante la cual se produce la deflación y el depósito de sedimentos. Existe una relación directa entre la superficie del fondo seco de los cuerpos de agua y la superficie de los mantos (Fig. 8, Tabla 4).

Laguna	Superficie en km ²		
	Cuerpo lagunar	Fondo seco	Manto eólico
Sn1	0,35	0,2	0,29
Confundida	0,48	0,12	0,46
Perro	0,68	0,21	0,45
Sn2	1,14	0,66	0,49
Escondida	2,2	1,2	1,69
O'Connor	8,43	3,2	4,68

Tabla 4. Relación entre la superficie lagunar total (sectores con agua y secos) y la superficie de los respectivos mantos eólicos para las lagunas consideradas en este trabajo.

Considerando la densidad de muestreo realizada hasta el momento y presentada en este trabajo (Fig. 9), se puede afirmar que el tamaño de las partículas de sedimentos que conforman los mantos eólicos no presenta una distribución espacial uniforme (Fig. 10). El transecto 1 de Laguna Escondida (Fig. 9A), muestra un predominio de limos en el área fuente (Mg14es, Fig. 10). En cambio, en el manto proximal y central predominan las arenas, principalmente de tamaño fino (Mg7es y Mg6es respectivamente, Fig. 10) mientras que en su borde distal se observa un aumento en la proporción de limos. En el transecto 2 (Mg13es, Mg10es,

Mg9es, Mg4es, Figs. 9 y 10) y en el transecto 3 (Mg12es, Mg8es, Mg2es, Mg3es, Figs. 9 y 10) la textura arenosa de tamaño fino domina en el área fuente y en el manto proximal; su proporción se equipara con los sedimentos arcillosos y limosos en el manto central (Mg9es y Mg2es, Fig. 10), no obstante entre las arenas predomina el tamaño fino. En el manto distal (Mg4es y Mg3es, Fig. 10), las arenas de tamaño fino y medio ganan en proporción ante los sedimentos más finos. El transecto 4 (Fig. 9) muestra que en el área fuente (Mg11es, Fig. 10) predominan limos, mientras en el manto proximal (Mg1, Fig. 10), arenas y limos se distribuyen en proporciones semejantes. En todos los casos, la fracción arcilla está presente aunque con una proporción menor respecto a las restantes clases texturales. En Laguna O'Connor (Fig. 9B) se observa un predominio de limos en los sedimentos de la costa norte (Mg17oc, Mg18oc y Mg1oc, Fig. 10). En el límite norte del manto eólico proximal (Mg2oc y Mg6oc, Fig. 10) dominan sedimentos arcillosos y limosos, mientras que unos metros hacia el sur, en Mg16oc, limo, arcilla y arenas se distribuyen en proporciones similares (Fig. 10). En el transecto 1 (Fig. 9) se observa el predominio de limos en el área fuente (Mg19oc, Fig. 10), una disminución de éstos en el borde del manto proximal (Mg14oc) a favor del incremento de arenas, principalmente de textura fina, y finalmente se observa el predominio de limos y arcillas en el manto distal (Mg3oc, Fig. 10). En la zona intermedia del manto proximal (Mg15oc, Mg7oc, Mg8oc y Mg9oc, Fig. 10), la distribución textural de los sedimentos es heterogénea. En Mg15oc son predominantemente arenosos, mientras que en Mg8oc son predominantemente limosos y en los dos restantes (Mg7oc y Mg9oc) las fracciones limo y arena alcanzan proporciones semejantes. Los sedimentos que componen la parte sur del manto proximal (Mg10oc, Mg13oc, Mg4oc, Mg5oc, Mg11oc, Figs. 9 y 10) y el borde de la laguna (Mg12oc) son predominantemente limosos, aunque en algunos sectores el contenido de arcilla alcanza los máximos valores, tal

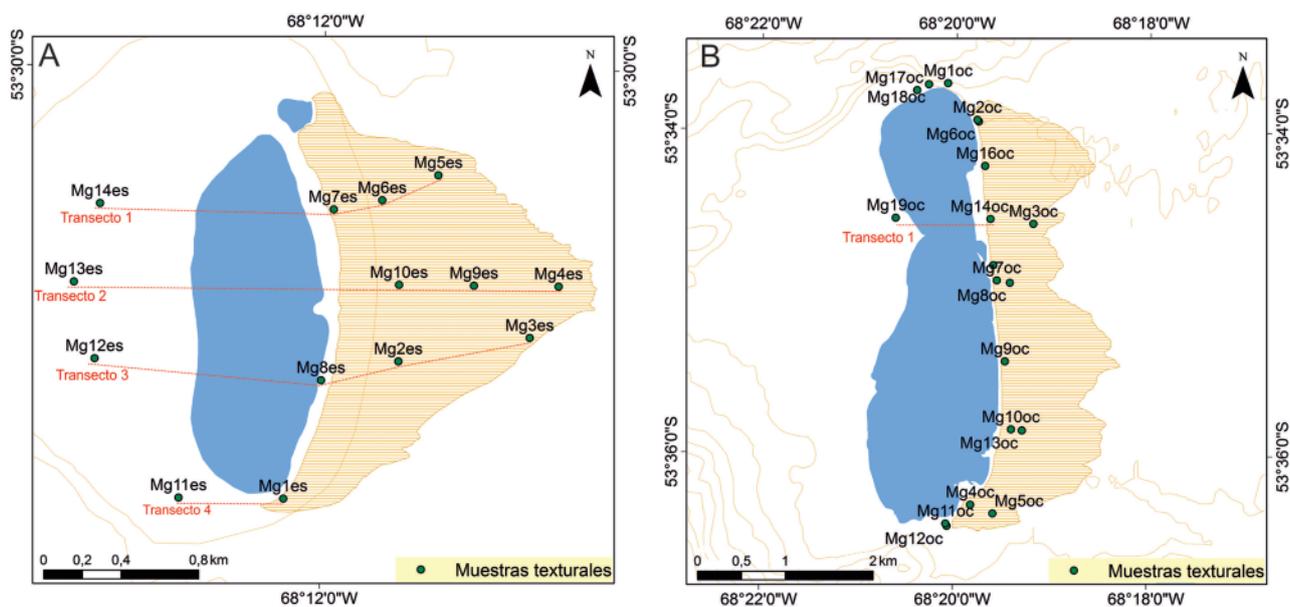


Fig. 9.- Puntos de muestreo y transectos en mantos eólicos y fondos secos. A: Laguna Escondida y B: Laguna O'Connor.

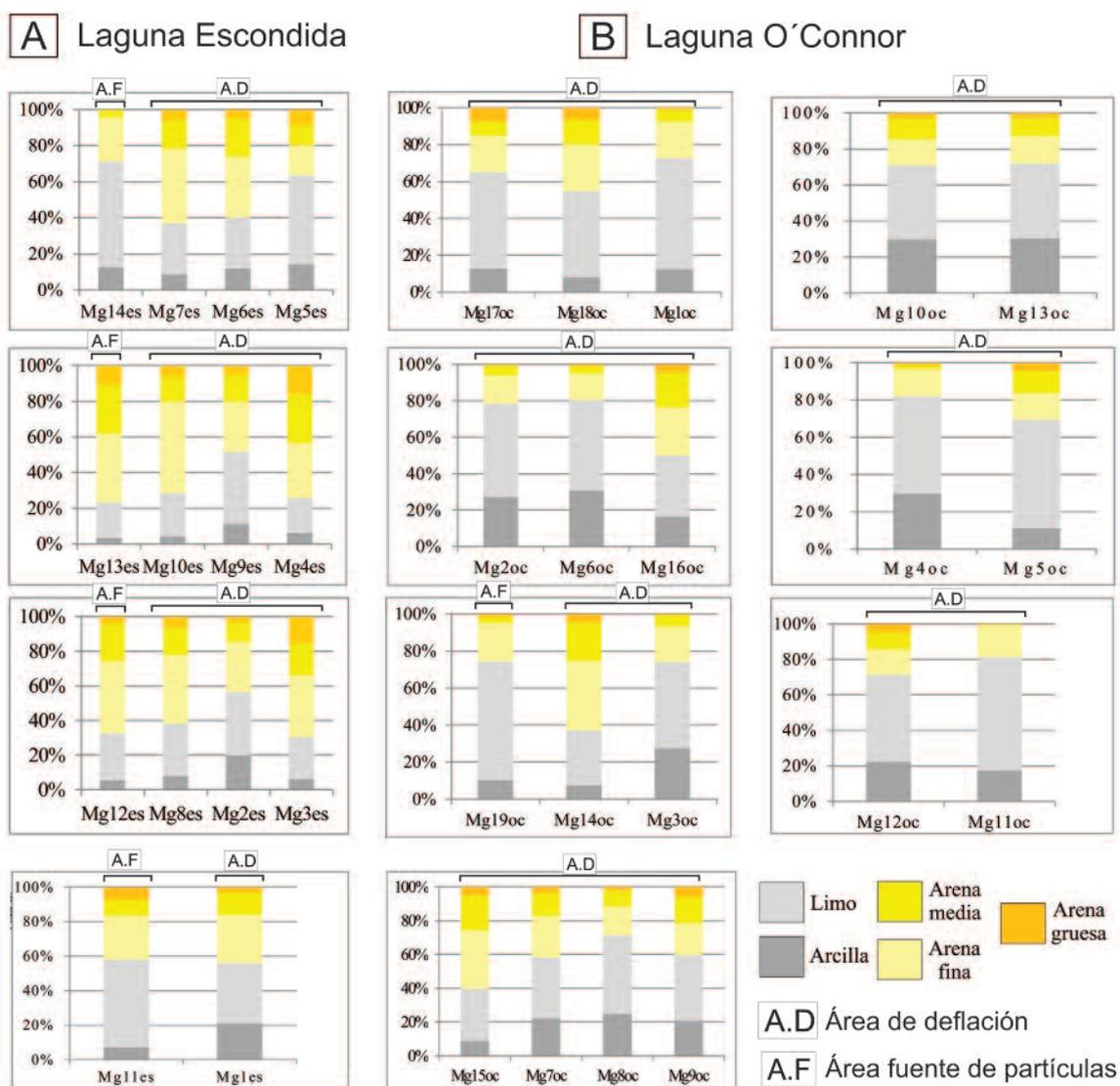


Fig. 10.- Análisis texturales de los mantos eólicos y fondos secos. A: Laguna Escondida y B: Laguna O'Connor.

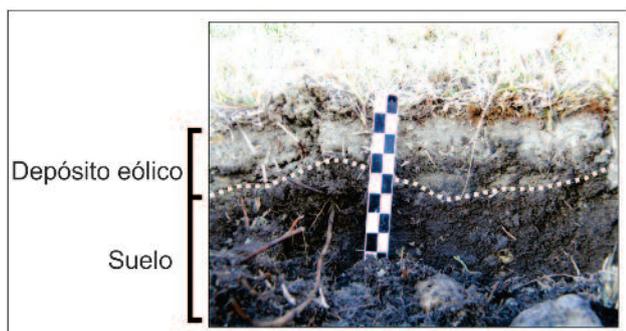


Fig. 11.- Características litológicas de los materiales del manto eólico sobre el suelo que se desarrolla a partir de los sedimentos de la Laguna Escondida. Depósito eólico: limo-arcilloso arenoso, masivo, color: 5Y 6/2 Suelo: arenoso, masivo, color: 5Y 3/1. La línea punteada indica el límite entre el depósito y el suelo.

es el caso de los puntos Mg4oc, Mg10oc y Mg13oc (aproximadamente 35%). En general, en el manto eólico de esta laguna, las arenas, principalmente de textura media y gruesa, constituyen la clase textural con menor representatividad, siendo los limos dominantes en la mayoría de los puntos de muestreo. Sin embargo, la textura arenosa es más abundante en el manto de Laguna Escondida incrementándose su proporción hacia el manto distal.

El sustrato en el que se emplazan ambas lagunas y los mantos eólicos generados a sotavento condicionan la composición sedimentaria de los mismos. En Laguna Escondida, el manto eólico es predominantemente arenoso, de acuerdo con la composición litológica del emplazamiento

de la laguna: un abanico glaciofluvial compuesto por gravas de matriz arenosa y niveles arenosos intercalados. Los depósitos eólicos de este manto presentan estructura masiva y textura limo-arcillosa y arenosa de color gris blanco oliva (5Y 6/2), sobre la que se dispone un suelo de composición textural arenosa con una estructura masiva y color gris muy oscuro (5Y 3/1) (Fig.11) (Munsell, 1973). En Laguna O'Connor es limo-arcilloso, de acuerdo con el emplazamiento en un sustrato de limoarcillitas marinas. Durante la estación estival, cuando el fondo seco de las lagunas se expone, la deflación actúa sobre estos materiales (Fig. 12 A-F), redepositándolos a sotavento y contribuyendo a la formación de los mantos eólicos. En dicha estación, el fondo expuesto de la laguna y los mantos se encuentran desprovistos de humedad, desarrollándose agrietamiento por desecación en los sedimentos superficiales (Fig. 12 G y H).

Los sedimentos de fondo de laguna y de los mantos eólicos contienen sales de sodio, magnesio y calcio (Fig. 13, Tabla 5). El sodio es el que se presenta con mayores valores, preferentemente en los sedimentos del sector de fondo seco de Laguna O'Connor (6699 mg/l) y a sotavento de Laguna Escondida (6058 mg/l). Mientras el magnesio registró valores entre 539 y 553 mg/l en los sedimentos de fondo en ambas lagunas, los valores del calcio fueron inferiores a 211 mg/l. Estos valores permiten establecer condiciones de suelos extremadamente salinos en los bordes orientales de ambas lagunas (Ms1es, Ms1esbis, Ms5es, Ms4oc, y Ms10oc de la figura 13 A y B), los cuales son limitantes para el desarrollo de vegetación que no esté adaptada a

Muestra	Sodio (mg/l)	Magnesio (mg/l)	Calcio (mg/l)	C.E. (mmhos/cm)	RAS (meq/l)	Categoría
Ms1ES	4395,8	418,1	211,6	18,5	13,28	extremadamente salino-sódico
Ms1Es bis	677	158	65	4,3	10,3	salino
Ms2ES	160,4	19,3	30,3	0,9	6,31	no salino
Ms3Es	115	19,3	35,4	0,8	4,03	no salino
Ms4Es	242	58	77	1,2	5	no salino
Ms5Es	6058	553	151	> 20	31	extremadamente salino-sódico
Ms7Es	158	53	109	1,4	3,1	no salino
Ms8Es	168	45	93	1,3	3,6	no salino
Ms9Es	157	29	63	1,1	4,1	no salino
Ms1OC	124,7	17,1	68,5	1	2,5	no salino
Ms2OC	178,9	48,9	84,4	1,4	0,03	no salino
Ms3OC	42,1	52,2	151,1	1,4	0,37	no salino
Ms4OC	2076,9	165,8	107	9,4	14,88	fuertemente salino-sódico
Ms4OC bis	704	41,8	57,6	3,5	17,2	ligeramente salino-sódico
Ms5OC	259,3	33,5	44,4	1,6	6,59	no salino
Ms6OC	276,3	67,6	128,5	2,1	2,69	ligeramente salino
Ms7OC	313,7	7,6	10	1,3	35,33	no salino-sódico
Ms8OC	688	49,4	70	3,6	15,4	ligeramente salino-sódico
Ms9OC	1112	78,3	95	5,8	20,4	salino - sódico
Ms10OC	6699	539	533	> 20	31	extremadamente salino-sódico

Tabla 5. Valores de sales (sodio, calcio y magnesio), conductividad eléctrica (C.E.), salinidad y Relación de Adsorción de Sodio (RAS) en Lagunas O'Connor y Escondida.

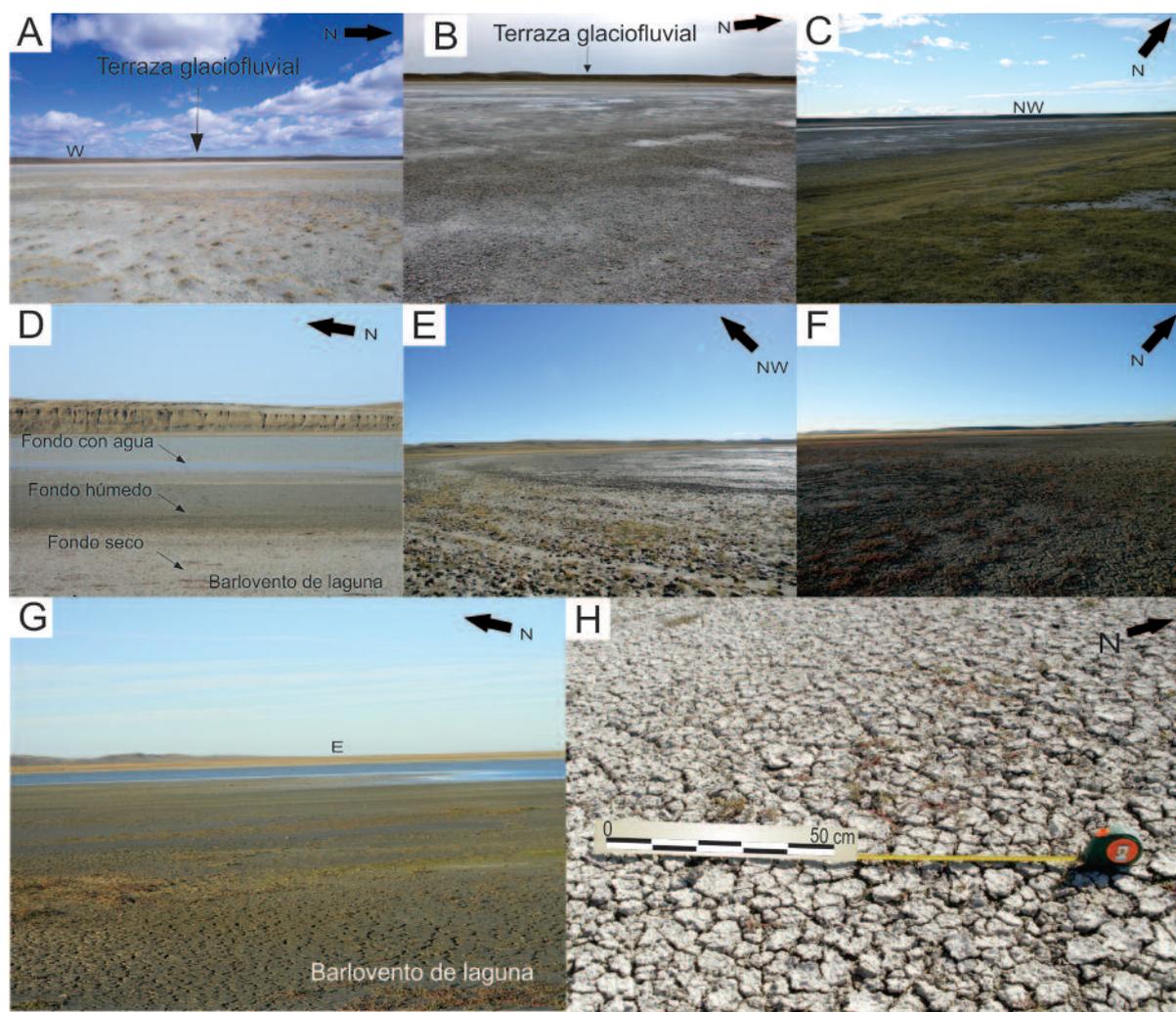


Fig. 12.- Vista de las lagunas Escondida y O'Connor. A y B: vista del fondo seco de laguna Escondida hacia el W, al fondo, la terraza glaciofluvial en la que se formó la depresión. C: vista hacia el NW de Laguna Escondida. Se observa agua en el centro de la laguna. D: Laguna O'Connor: variación de humedad en el fondo expuesto de la laguna, a barlovento. E: Laguna O'Connor desde barlovento, vista del fondo de laguna seco hacia el NW. F: barlovento de Laguna O'Connor se observa colonización por *Suaeda patagónica* en fondo expuesto con agrietamiento y escasa humedad. G: Grietas de desecación en Laguna O'Connor durante el verano, vista desde barlovento de la laguna hacia el E. En primer plano se observa el suelo húmedo de la laguna. H: Grietas de desecación que conforman el manto eólico a sotavento de Laguna O'Connor.

estas condiciones de salinidad. Según la clasificación de Richards (1954), son ligeramente salinos a salinos en el inicio del manto de Laguna O'Connor (Ms4ocbis, Ms6oc, Ms8oc y Ms9oc de la figura 13A y Tabla 5), lo que permite el desarrollo de vegetación adaptada, como las especies halófitas. Los valores de RAS de los sedimentos de los mantos eólicos y fondos secos de lagunas (Fig. 13C), resultaron más altos en el borde seco de Laguna Escondida (Ms5es=30 meq/l, Fig. 13B) y en las proximidades de la laguna, sobre un nivel de terraza de la Laguna O'Connor (Ms7oc=35 meq/l, Fig. 13C), siendo éstos los mayores valores de RAS del conjunto analizado. Los valores obtenidos en sedimentos de fondo seco de lago, es decir a barlovento de ambas lagunas (MsEs9 y MsOc10, Fig. 13C) fueron disímiles, siendo menor en Laguna Escondida. El menor valor de RAS se obtuvo en los sedimentos del manto de Laguna O'Connor (muestras Ms1oc, Ms2oc y Ms3oc).

La condición de salinidad de los sedimentos es producto

de la condición del agua de las lagunas, cuando éstas no se han desecado aún. El análisis de TDS demuestra que en laguna Escondida el agua contiene 42,85 g/l a comienzos del otoño y 128,82 g/l en la primavera, mientras que el contenido de sales en el agua de Laguna O'Connor es de 18,76 g/l y 24,06 g/l, respectivamente.

Las condiciones texturales y de salinidad descritas en los mantos eólicos permiten el desarrollo de *Hordeum cosmosum*, *Poa alopecurus*, *Deschampsia flexuosa* y especies cespitosas (*Bolax gummifera* y *Azorella trifurcata*). *Festuca gracillima*, dominante en la región, es una de las especies que se distribuye en forma saltuaria en los bordes exteriores de los mantos eólicos, intensificando su ausencia hacia el centro (Fig. 14A). En el manto eólico de Laguna O'Connor se desarrolla además *Suaeda patagónica*, la cual domina también en los fondos de laguna cuando éstas comienzan a desecarse (Fig. 14 B y C) y es indicadora de ambientes salinos.

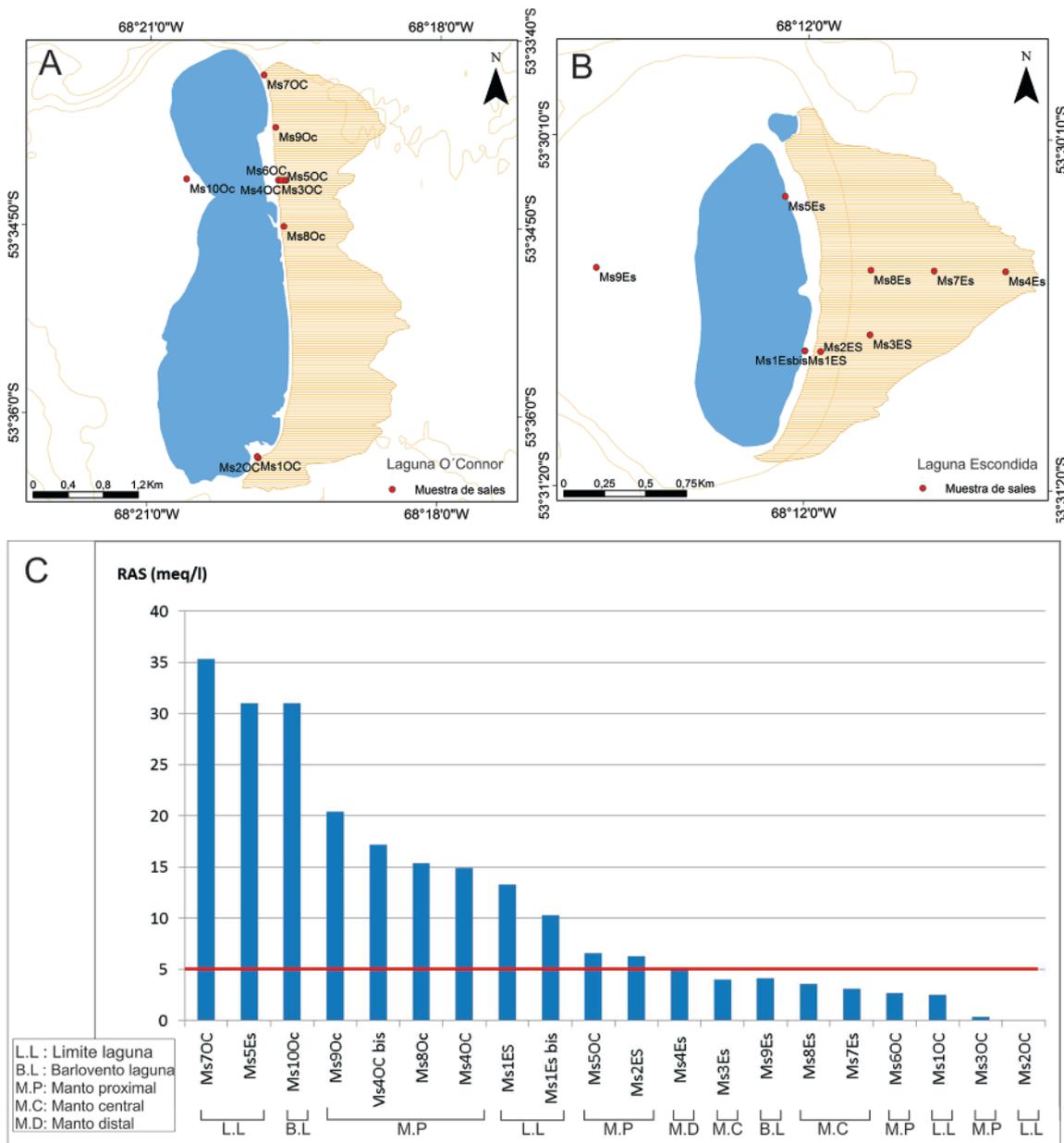


Fig. 13.- Puntos de muestros de sales y RAS (Relación de Adsorción de Sodio) en sedimentos. A: Laguna O'Connor. B: Laguna Escondida. C: Valores de RAS en ambas lagunas.

La influencia eólica sobre los ambientes lagunares semipermanentes

El análisis de los registros de viento revela que la velocidad media del período estudiado fue de 12 kmh⁻¹ (Fig. 15 A y B) con direcciones más frecuentes del SW y WSW (Fig. 15 C y D) y calmas de 0,35 % en 2011 y de 2,89% en 2012 (Fig. 15 A y B). Se analizaron las velocidades máximas absolutas. Éstas se alcanzaron en los meses de diciembre (2011) y agosto (2012) con intensidades de 88,5 kmh⁻¹ y dirección W, y de 96,6 kmh⁻¹ y dirección SW, respectivamente (Tabla 6). A efectos de analizar a modo exploratorio las condiciones de viento que generan deflación, se analizaron los registros de los meses de noviembre de 2011 a marzo de 2012, temporada en la que los sedimentos expuestos en los fondos secos de las lagunas y en los suelos circundantes tienen menor humedad, y por lo tanto es el

período considerado como el más activo para la deflación. El comportamiento del viento no muestra diferencias sustanciales con las condiciones reinantes durante el resto del año; la velocidad media del período estival resultó de 13,3 kmh⁻¹ con una máxima absoluta de 88,7 kmh⁻¹. Las calmas fueron inferiores al 2,7 % (Fig. 15E), lo cual demuestra la persistencia del viento en la región.

Discusión

Los mantos eólicos son un rasgo frecuente en el sector de sotavento de las lagunas salobres y semipermanentes de la estepa fueguina que no han sido descritos aún en la literatura geomorfológica de la región.

Se trata de depósitos limo-arcillosos o areno-limosos someros, de 5-10 cm de espesor, que cubren la morfología existente sin desarrollar un relieve propio; son más evi-

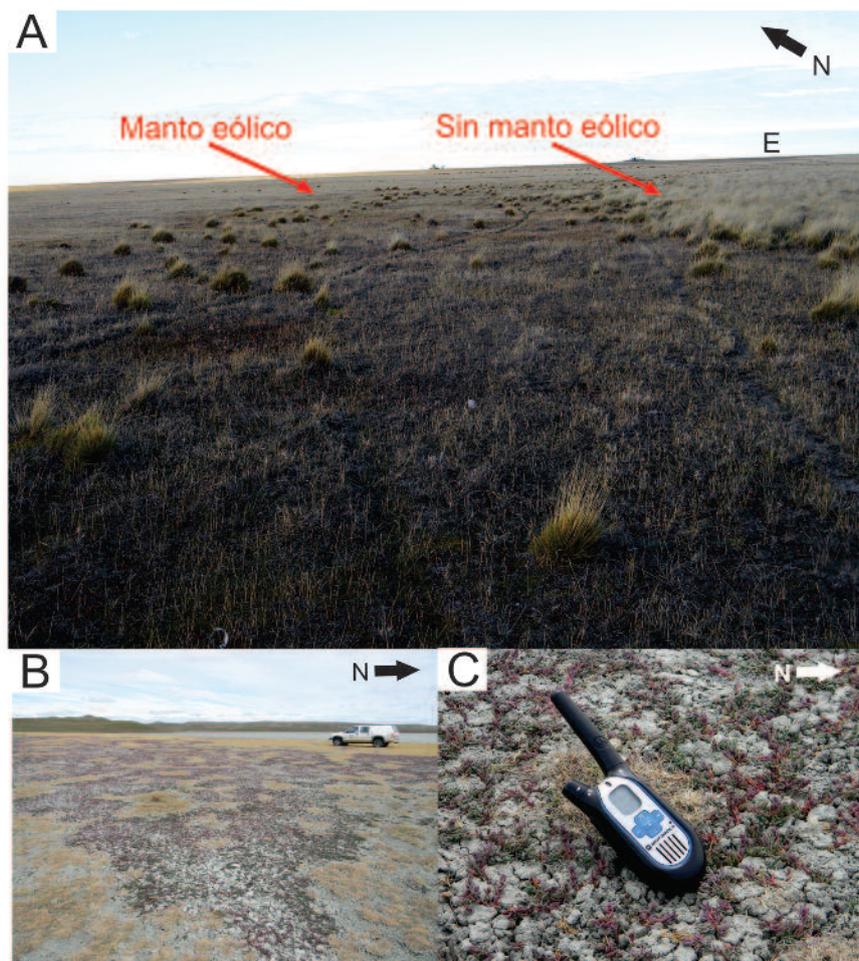


Fig. 14.- A: Vista hacia el E del límite distal del manto eólico de Laguna Escondida. Obsérvese el diferente grado de ocupación de *Festuca gracillima* dentro y fuera del manto. B: Parte del manto eólico de Laguna O'Connor. C: sedimentos limo-arcillosos colonizados por *Suaeda patagónica* en Laguna O'Connor.

dentes a través de sensores remotos que por observaciones de campo. Su desarrollo está asociado a la desecación del cuerpo de agua lagunar y a la consecuente exposición de los sedimentos salinos que conforman el fondo de las lagunas. A partir de mediciones morfométricas se establece que existe una relación directa positiva entre la superficie de los fondos secos de las lagunas y la del manto eólico res-

pectivo, por lo cual una mayor desecación del cuerpo de agua podría provocar un incremento en la superficie del manto. La desecación es un rasgo común en las lagunas de esta región, provocado por su condición de depocentro de cuencas endorreicas con escorrentía superficial efímera, en un ambiente semiárido con períodos con déficit hídrico (Iturraspe *et al.*, 2002), con días prolongados durante el verano y vientos permanentes.

El análisis multitemporal entre los años 1985, 2001 y 2005 (imágenes *Landsat*) y 1970 y 2004-2006 (imágenes *Quickbird*) de los cuerpos de agua muestra la variación de la superficie aunque no así de la forma. Sin embargo, no refleja variaciones en superficie y forma de los mantos, posiblemente debido a las limitaciones de calidad que brindan las imágenes utilizadas.

Los resultados del análisis textural demuestran que el manto eólico de Laguna Escondida está compuesto por sedimentos predominantemente areno-limosos y el de Laguna O'Connor por sedimentos limo-arcillosos, que refleja la diferencia del tipo de sustrato en el que se emplazan ambas lagunas. El tamaño de partículas no sigue una distribución regular en los mantos eólicos.

Los sedimentos que conforman los mantos eólicos contienen sales de sodio, calcio y magnesio. Los valores de salinidad registrados en el manto de Laguna Escondida son muy superiores a los del manto de Laguna O'Connor, lo cual concuerda con los valores TDS obtenidos para el agua de ambas lagunas (Tabla 5). Dado que la depresión que

Meses	2011		2012	
	Ráfaga máx. (kmh ⁻¹)	Dirección	Ráfaga máx. (kmh ⁻¹)	Dirección
enero	-	-	72,4	WSW
febrero	61,2	WSW	75,6	SW
marzo	75,6	SW	88,7	SW
abril	66,0	WSW	70,8	SW
mayo	75,6	W	59,5	NW
junio	59,5	WSW	77,2	SW
julio	64,4	WSW	83,7	WSW
agosto	64,4	E	96,6	SW
setiembre	78,9	WNW	67,6	WSW
octubre	77,2	W	78,9	S
noviembre	72,4	WSW	75,6	SW
diciembre	88,5	W	70,8	S

Tabla 6. Valores absolutos de dirección e intensidad de ráfagas máximas, para el bienio 2011-2012, según los datos proporcionados por la Estación San Julio. Los valores en negrita representan las velocidades de las ráfagas máximas registradas en el período 2011-2012.

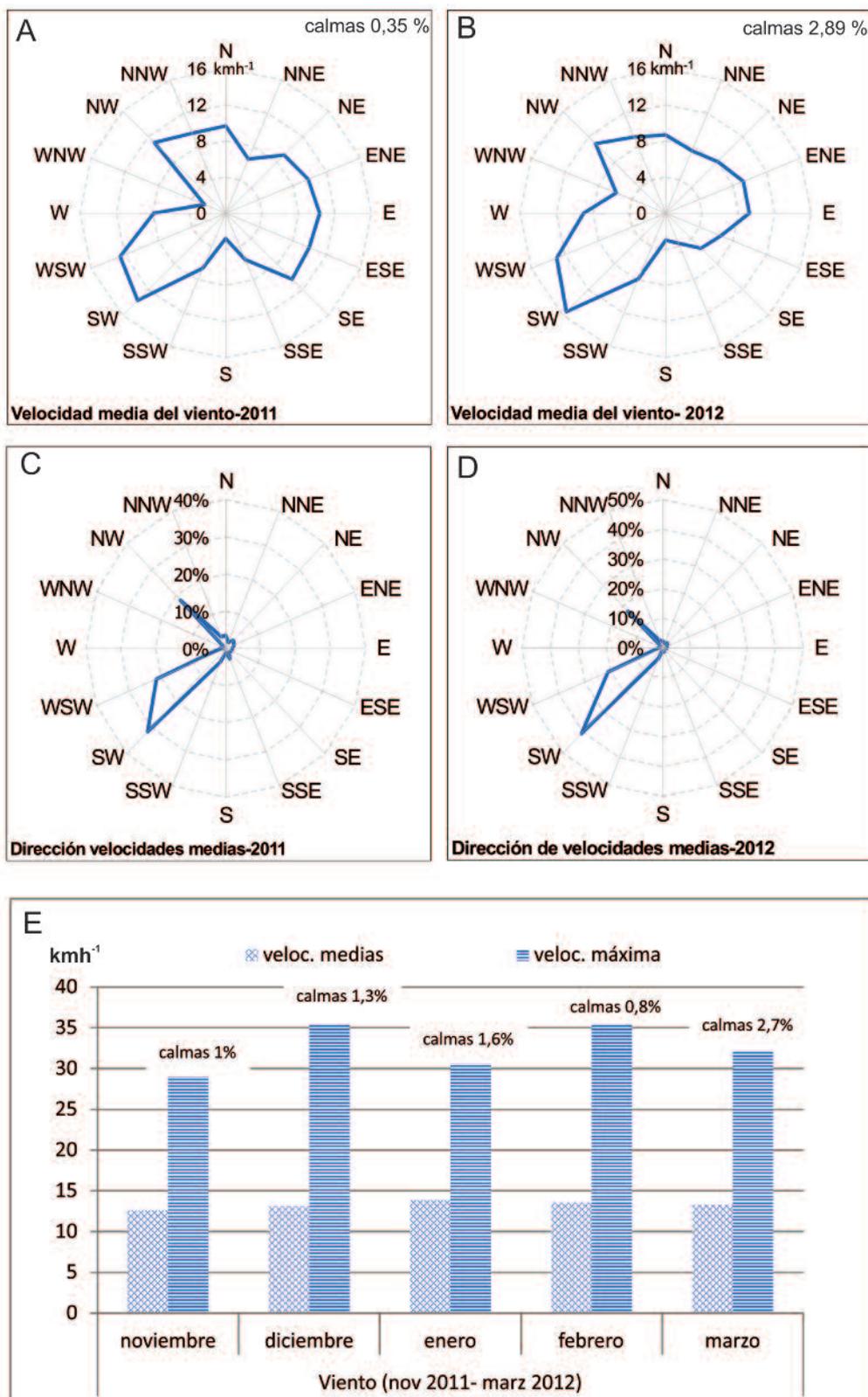


Fig. 15.- Velocidades medias anuales y porcentaje de calmas, A y B: años 2011 y 2012. Dirección de velocidades medias, C y D: años 2011 y 2012. E: Velocidades medias y valores absolutos de velocidades máximas entre noviembre 2011 y marzo 2012, período en que los sedimentos tienen menor contenido de humedad y están sujetos a la acción eólica. Datos proporcionados por la estación meteorológica automatizada Estancia San Julio (Véase su posición en la Fig. 1).

contiene a Laguna Escondida no se emplaza en un sustrato de rocas sedimentarias de origen marino que pudieran aportar sales residuales, se atribuye el alto contenido salino del agua a la existencia de una mayor ciclicidad en el proceso

de desecación-evaporación-precipitación de sales o como consecuencia de un proceso prolongado a lo largo del tiempo de formación de la laguna, aún desconocido. El contenido de sales en sedimentos impacta directamente en las

especies dominantes de la cubierta vegetal. De acuerdo con Richards (1993), los suelos con valores superiores a 5 meq/l no se consideran aptos para uso agrícola directo debido a una desestabilización de su estructura por efecto del contenido de sodio. Así, la deflación sería la causante del deterioro de suelos para el uso agrícola, siempre que el viento y las bajas temperaturas de verano no fueran sus limitantes primarios. Sin embargo, el contenido decreciente de sales desde el área fuente hacia el manto distal estaría condicionando la distribución de las especies vegetales, nativas e invasoras en estos sectores. Es notable la ausencia de *Festuca gracillima* en el cuerpo de los mantos eólicos así como su condición de indicador de borde o límite de los mantos. En el borde distal del manto de Laguna Escondida es posible observar cómo las matas de *Festuca gracillima* retienen a las partículas finas que con el tiempo serán incorporadas a la superficie del manto. La colonización progresiva de las cespitosas *Bolax gummifera* y *Azorella trifurcata* en estos sectores ha sido interpretada como degradación por sobrepastoreo ovino (Bianciotto, 2006), sin embargo, su abundancia sobre los mantos eólicos podría ser una respuesta al aporte de sedimentos salinos en los suelos.

El hecho que los mantos eólicos sean más visibles por sus valores de reflectancia más que por rasgos topográficos se atribuye al contenido salino de los sedimentos y al consecuente cambio en la cobertera vegetal respecto a sus alrededores. La vegetación baja provocaría además un efecto de trampa sobre las partículas finas que progresivamente se incorporan a la superficie del manto, impidiendo la adopción de una forma topográfica definida. Esta característica los diferencia de las plumas eólicas, muy frecuentes en lagunas estacionales de la estepa patagónica de Santa Cruz, cuyos rasgos topográficos están bien definidos, son perfectamente distinguibles en bajos y mesetas, y están conformadas por arenas (Mazzoni, 2001).

La constatación del aporte de sedimentos limo-arcillosos con contenido salino desde el fondo seco de las lagunas presentada en este trabajo, es un dato extrapolable a otras lagunas similares de la región y sirve para explicar la formación de dunas de arcilla, frecuentes allí donde las condiciones topográficas y eólicas lo permiten.

Como en todo rasgo geomorfológico de origen eólico, la dirección e intensidad del viento son variables necesarias de análisis. La dirección predominante del viento en la región es del SW pero los mantos se desarrollan en clara dirección W-E. Sin embargo, la dirección de los mayores valores de velocidad de las ráfagas máximas, corresponden a los cuadrantes W y NW. Las ráfagas del W provocarían el desarrollo del sector más distal de los mantos influenciando un avance hacia el E, mientras que las del NW y SW afectarían al desarrollo de los sectores laterales. Esta multiplicidad de direcciones, aunque todas con influencia del W condiciona la forma alargada en el sentido de las costas N-S, a sotavento de las lagunas y en desmedro del desarrollo de una forma angosta, elongada y transversal a las lagunas. Respecto a la velocidad, los valores medios y máximos absolutos superan ampliamente la velocidad crítica de cizalla para las partículas de tamaño limo y arena; y es suficiente

para promover el corte o cizallamiento de las partículas finas con cohesión electrostática, las cuales requieren de velocidades mayores que las arenas (Bagnold, 1941).

Conclusiones

A partir del estudio multitemporal de distintos tipos de imágenes, análisis texturales y químico de aguas y sedimentos, y de trabajo de campo se establecen las características de los mantos eólicos que cubren el relieve de las costas orientales de las lagunas O'Connor y Escondida. Estos rasgos del paisaje son imperceptibles por su topografía, pero tienen gran notoriedad mediante sensores remotos.

Los mantos eólicos están conformados por sedimentos de tamaño limo-arcilla a arena, dependiendo del sustrato sobre el que se emplaza la laguna que actúa como área fuente de material; así, el manto eólico de Laguna O'Connor es limoso-arenoso y el de Laguna Escondida es arenolimoso. La fracción arena predomina en los bordes del manto de esta última laguna, donde queda retenida por las matas de *Festuca gracillima* hasta que ésta se degrada completamente. Los sedimentos que conforman los mantos tienen además contenido de sodio, magnesio y calcio en proporciones diversas, siendo el primero el dominante en los sedimentos circundantes a las lagunas y en el manto eólico proximal. El contenido de sales se reduce a medida que se gana distancia del área fuente. Esta condición de salinidad es determinante para el desarrollo de especies vegetales como *Festuca gracillima*, que probablemente disminuye su cobertura en los mantos por alteración fisicoquímica de los suelos sobre los que se depositan. En cambio, aparecen especies como *Suaeda patagónica* en el manto proximal, *Hordeum cosmosum*, *Bolax gummifera* y *Azorella trifurcata* en el manto central.

Los fondos secos de las lagunas actúan como áreas fuente del material, cuando el cuerpo de agua pierde superficie por evaporación y desecación por viento durante la temporada estival. El tamaño de los fondos secos de las lagunas y el de los mantos eólicos tiene una relación directa. Las áreas fuentes presentan variabilidad en el período analizado (1985-2006) debido a la estacionalidad de los cuerpos de agua y su desecación en función de las condiciones climáticas.

La forma de los mantos eólicos está influenciada por la variabilidad de direcciones de vientos persistentes del NW, W y SW. Mientras la base de los mantos o borde proximal se extiende a lo largo del eje mayor de las lagunas, el ápice o manto distal se ubica al este de las mismas. El manto eólico de Laguna Escondida presenta forma triangular con base en la margen oriental de la laguna y ápice a 1,3 km al este de la misma. El manto eólico de Laguna O'Connor tiene una base semejante pero no desarrolla un ápice, sino un frente distal elongado e irregular a una distancia media de 1 km de distancia desde la costa oriental de la laguna.

De los resultados obtenidos se deriva que debe considerarse al proceso de deflación sobre fondos de laguna secos como un proceso natural propio de la estepa semiárida fueguina. El proceso se manifiesta con fuerte influen-

cia a sotavento de los cuerpos de agua estacionales, en la variación local de sedimentos superficiales del suelo y su cubierta vegetal.

La variación de tamaño de los cuerpos de agua, resultado de la relación precipitación-deseccación, y la consecuente exposición de sus fondos secos con sedimentos salinos, es la causa de la formación de los mantos eólicos aquí descritos, y regulador de su variabilidad, siempre y cuando los fondos secos no sean cubiertos con vegetación fijadora.

Agradecimientos

Los autores agradecen a propietarios y personal de las estancias San Julio y Los Flamencos por facilitarnos el acceso al lugar de trabajo. El personal de la Estación Astronómica de Río Grande, Tierra del Fuego (EARG) brindó el apoyo logístico y en el procesamiento de información geodésica. El Laboratorio de Química del Instituto Argentino de Oceanografía (IADO-CONICET, Bahía Blanca, Argentina) facilitó el instrumental de análisis textural Mastersizer 2000. La Dra. Vanessa Lencinas (CADIC-CONICET, Ushuaia, Argentina) asesoró en el reconocimiento de especies vegetales. Este trabajo se llevó a cabo en el marco de los proyectos de investigación PIP-CONICET 0422/10 y PICT 2012-0628 de la ANPCyT. Los comentarios de los Dres. Francisco Pinheiro Lima Filho y Luis Miguel Nieto Albert, mejoraron sustancialmente el manuscrito original.

Referencias

- Anchorena, J., Cingolani, A., Livraghi, E., Collantes, M. y Stofella, S. (2001): *Manejo del pastoreo de ovejas en Tierra del Fuego*. CONICET-INTA. Edipubli S.A., Argentina, 47 p.
- Arche, A. y Vilas, F. (1986-1987): Depósitos eólicos de grano fino en la Bahía de San Sebastián, Tierra del Fuego, Argentina. *Acta Geológica Hispánica*, 21-22: 261-266.
- Bagnold, R.A. (1941): *The physics of blown sand and desert dunes*. Methuen, London. 265 p.
- Bianciotto, A.O. (2006): *Los ambientes naturales de la Estepa Fueguina. Una interpretación de nuestro semi-desierto*. Dunken, Buenos Aires, 102 p.
- Bujalesky, G., Coronato, A. e Isla, F. (2001): Ambientes glacioluviales y litorales Cuaternarios de la región del Río Chico, Tierra del Fuego, Argentina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 56 (1):73-90.
- Chuvieco, E. (2010): *Teledetección Ambiental. La observación de la Tierra desde el espacio*. Ariel, España, 590 p.
- 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*, 36(1): 44-88.
- Collantes, M.B., Anchorena, J. y Korembli, G. (1989): A soil gradient in Magellanic heathlands. *Vegetatio* 80: 183-193.
- Coronato, A., Seppälä, M., Ponce, J.F. y Rabassa, J. (2009): Sand dunes on lake Fagnano cliffs, Tierra del Fuego, Argentina. *IV Congreso Argentino de Cuaternario y Geomorfología. Resúmenes*, 342 p.
- Coronato, A., Fanning, P., Salemme, M., Oría, J. y Pickard, J. (2011): Aeolian sequence and the archaeological record in the fuegian steppe, Argentina. *Quaternary International*, 245 (1): 122-135.
- Correa, M.N., ed. (1998): *Flora Patagónica*. Tomo VIII, INTA, Buenos Aires, 391 p.
- Goudie, A.S y Wells, G.L. (1995): The nature, distribution and formation of pans in arid zones. *Earth-Science Reviews*, 38: 1-69.
- Hutchinson, G.E. (1957): *A treatise on limnology*. J. Wiley, New York. Vol. I, 660 p.
- Iturraspe, R. y Urciuolo, A. (2002): Ciclos deficitarios en el régimen de sistemas lagunares de la estepa fueguina. *Actas XIX Congreso Nacional del Agua*, Vol 1. CD-Rom.
- Mazzoni, E. (2001): Distribución espacial y caracterización geomorfológica de "bajos sin salida" de la Patagonia Austral Extracordillerana. *Anales Instituto de la Patagonia, Serie Ciencias Naturales*, Universidad de Magallanes, Chile. Vol 29: 5-24.
- Mazzoni, E., Posse Ruiz, E., Vázquez, M., Baetti, C. y Martínez, G. (2001): Unidades de paisaje en pequeñas cuencas endorreicas de la Patagonia extracordillerana argentina. *Anales de la Sociedad Chilena de Ciencias Geográficas*. 1 (1): 85-102.
- Mazzoni, E., Vazquez, M. y Posse Ruiz, E. (2002): Dinámica geomorfológica de depósitos eólicos asociados a "bajos sin salida" de la Patagonia Austral. *IV Jornadas Nacionales de Geografía Física*. Universidad Nacional de Mar del Plata. Facultad de Humanidades. Departamento de geografía y grupo de estudios en geografía física, Mar del Plata, 1 (1):165-175.
- Moore, D.M. (1983): *Flora of Tierra del Fuego*. Missouri Botanical Garden, USA, 369 p.
- Movia, C.P. (1979): Cartografía de procesos dinámicos: la erosión eólica en la Patagonia. En: *Actas I° Congreso Sudamericano de Cartografía Temática*. IGM, Buenos Aires, 134-147.
- Munsell soil color charts (1973): Macbeth Division, Kollmorgen Corporation, Maryland.
- Olivero, E.B., Malumnián, N. y Martinioni, D.R. (2006): *Mapa Geológico a escala 1:500 000 de la Isla Grande de Tierra del Fuego e Isla de los Estados, Provincia de Tierra del Fuego, Antártida e Islas del Atlántico Sur*. República Argentina. SEGEMAR, Buenos Aires.
- Pisano, E. (1977): Fitogeografía de Fuego-patagonia Chilena I. Comunidades Vegetales entre las latitudes 52° y 56° S. *Anales del Instituto de la Patagonia*, 8: 121-250.
- Raedeke, L.D. (1978): Formas del terreno y depósitos cuaternarios Tierra del Fuego Central, Chile. *Revista Geológica de Chile*, 5: 3-31.
- Richards, L.A. (1954): *Diagnosis and improvement of saline and alkali soils*. USDA Agricultural Handbook, 60, 160 p.
- Richards, L.A. (1993): *Diagnóstico y Rehabilitación de Suelos Salinos y Sódicos de los Estados Unidos*. Laboratorio de salinidad, Limusa, México, 172 p.
- Seppälä, M. (2004): *Wind as a geomorphic agent of cold climates*. Studies in Polar Research. Cambridge University, United Kingdom, 358 p.
- Tuhkanen, S. (1992): The climate of Tierra del Fuego from a vegetation geographical point of view and its ecoclimatic counterparts elsewhere. *Acta Botánica Fennica, Helsinki*, 145: 1-64.

MANUSCRITO RECIBIDO EL 28-10-2013

RECIBIDA LA REVISIÓN EL 24-09-2014

ACEPTADO EL MANUSCRITO REVISADO EL 1-11-2014

