

# Caracterización de solutos inorgánicos lixiviables en los Gelisoles del Cabo Lamb, Isla Vega (Península Antártica)

*Characterization of leachable inorganic solutes in the Gelisols of Cape Lamb, Vega Island (Antarctic Peninsula)*

Luis Moreno Merino<sup>(1)</sup>, Adrián Silva-Buso<sup>(2)</sup>, Eugeni Ermolin<sup>(3)</sup>, Juan José Durán Valsero<sup>(1)</sup>, Jerónimo López-Martínez<sup>(4)</sup>, Carlos Martínez Navarrete<sup>(1)</sup> y Jose Antonio Cuchi Oterino<sup>(5)</sup>

<sup>(1)</sup> Instituto Geológico y Minero de España, Ríos Rosas 23, Madrid, España. l.moreno@igme.es, jj.duran@igme.es, c.martinez@igme.es

<sup>(2)</sup> Instituto Nacional de Agua. (DSH), Empalme J. Newbery km 1,620, Ezeiza, Buenos Aires, Argentina. pntsas@ina.gov.ar

<sup>(3)</sup> Instituto Antártico Argentino, Cerrito 1248, Buenos Aires, Argentina. ivgen@yahoo.com

<sup>(4)</sup> Facultad de Ciencias Universidad Autónoma de Madrid, 28049 Madrid, España. jeronimo.lopez@uam.es

<sup>(5)</sup> Escuela Politécnica de Huesca, Universidad de Zaragoza, Carretera de Cuarte s/n, 22071 Huesca, España. cuchi@unizar.es

<sup>(2)</sup> Edificio CT. Universidad de La Rioja, Madre de Dios, 51-53. 26006 Logroño, España. inaportu@hotmail.com, felix.perez@unirioja.es

## ABSTRACT

The significant warming of the northern Antarctic Peninsula region in the last decades is activating the surface and underground hydrological cycle. This fact facilitates the circulation of inorganic solutes that, in case of colder conditions, would be retained in the permafrost or transferred in summer only to the active layer, but not being incorporated to the general water circulation. In this paper some soils characteristics and the content in leachable inorganic salts are quantified in areas of southern Cape Lamb, Vega Island. The studied soils are Gelisols, suborder Orthel, with a low organic matter and N Kjeldhal, very acid pH and minimum carbonate content. The analysis of the extracts show that the main contribution to the solutes flow are  $SO_4^{2-}$ ,  $Ca^{2+}$  and  $Na^+$ , but the most relevant finding has been the high content in heavy metals that are incorporated to the general hydric circulation. Very high contents of Zn, Cu, Pb, Mn and V have been measured and they can have an environmental impact to be taken into account.

**Key-words:** Soils, hydrochemistry, permafrost, Antarctic Peninsula region.

## RESUMEN

El notable calentamiento observado en el norte de la Península Antártica en las últimas décadas ha activado su ciclo hidrológico superficial y subterráneo. Esto a causado la puesta en circulación de solutos orgánicos e inorgánicos, que en condiciones mas frías estarían retenidos en el permafrost y probablemente transferidos a la capa activa en verano, pero no incorporados al sistema general de circulación hídrica. En este trabajo se caracteriza el suelo y se cuantifica el contenido en especies inorgánicas lixiviables en áreas del cabo Lamb, en la Isla Vega. Se trata de suelos del suborden Gelisoles, orden Orthel, con bajo contenido en materia orgánica y N Kjeldhal, muy bajo pH y contenido mínimo en especies carbonáticas. El análisis de los extractos muestra que la principal contribución al flujo de solutos es  $SO_4^{2-}$ ,  $Ca^{2+}$  y  $Na^+$ . El hallazgo mas relevante ha sido el elevado contenido en metales pesados que se incorporan a la circulación general, se han detectado elevadas concentraciones de Zn, Cu, Pb, Mn y V, su impacto en el medio ambiente habrá de ser valorado en posteriores trabajos.

**Palabras clave:** Suelos, hidroquímica, permafrost, Península Antártica.

Geogaceta, 51 (2012), 47-50.  
ISSN:2173-6545

Fecha de recepción: 9 de junio de 2011  
Fecha de revisión: 3 de noviembre de 2011  
Fecha de aceptación: 25 de noviembre de 2011

## Introducción

El calentamiento global está induciendo cambios en los sistemas relacionados con el flujo de agua en numerosos lugares de la Tierra. La Península Antártica es un indicador muy sensible de este calentamiento (King *et al.*, 2004) cuya consecuencia inmediata es la activación de la fase subterránea del ciclo hidrológico (Moreno *et al.*, en revisión). Un efecto hasta ahora poco estudiado de este proceso es la modificación del flujo de nutrientes desde las zonas emergidas hacia los cuerpos de agua, en especial hacia el mar.

El aumento de la temperatura media, sobre todo de la estival, ha sido considerable en las cinco últimas décadas en la región septentrional de la Península Antártica, particularmente en el archipiélago James Ross. Según el Servicio Meteorológico Argentino (datos no publicados, comunicación oral), en dicho periodo se han observado incrementos anuales de entre 0,075°C (Estación Marambio, 64°14'S -56°38'W) y 0,083°C (Estación Esperanza, 63°24'S -56°59'W).

En este escenario climático, tal como ha sucedido durante el periodo en el que se ha desarrollado la fase de campo de este tra-

bajo (enero-febrero de 2007), la cubierta nival llega a desaparecer por completo, y es la capa activa a techo del permafrost rico en hielo la única fuente de agua que alimenta, de forma subterránea, los arroyos.

Es de esperar que la activación del ciclo hidrológico continental, y la consecuente movilización de nutrientes antes inmovilizados en el permafrost, tenga consecuencias sobre los ecosistemas relacionados con las aguas continentales, como receptores últimos de este flujo de materia. En este trabajo se muestra de forma cuantitativa y cualitativa la naturaleza de estos solutos, con énfasis en los metales pesados, en un

sector de la región de la Península Antártica.

**Área de estudio**

El área de estudio se sitúa en la vertiente occidental del Cabo Lamb 63° 52' 15" S-57° 34' 37" W en la isla Vega (Fig. 1), esta es la segunda isla en tamaño de las que forman el archipiélago de James Ross. Posee una morfología alargada en dirección Este-Oeste y está recubierta de hielo en aproximadamente un 80% de su superficie. Su relieve es abrupto, y la altitud máxima de 630 m.s.n.m.

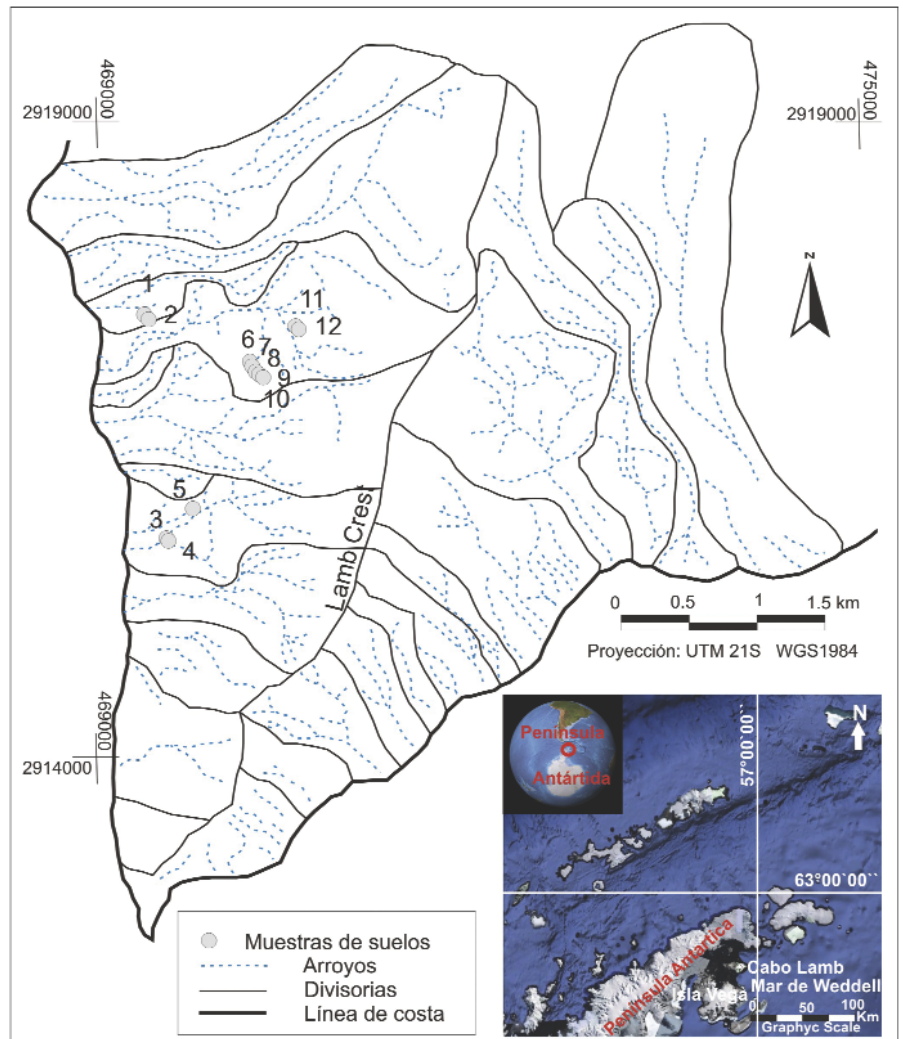
La zona del Cabo Lamb está situada al SO de la isla, tiene una extensión aproximada de 25 km<sup>2</sup> y su máxima cota es de 482 m s.n.m. Se trata del área descubierta de hielo más extensa de la isla Vega.

El clima es subpolar, semiárido, con temperaturas medias anuales que oscilan entre -5°C y -10°C. Las temperaturas medias diarias de verano suelen hallarse entre 2°C y -2.5°C, mientras que las medias de invierno se sitúan entre -12°C y -17°C, (Reynolds, 1981). Las precipitaciones medias anuales rondan en la zona los 250 mm (aproximadamente el 80% en forma de nieve y el 20% líquidas).

El sustrato en el Cabo Lamb lo constituyen pelitas y areniscas marinas de edad cretácica, atribuibles al Grupo Marambio (Pirrie *et al.*, 1991; Marensi *et al.*, 2001). Por encima de esta secuencia se encuentran discordantes las vulcanitas del Grupo Volcánico James Ross y, de forma discontinua, diamictitas de la Formación Hobbs, ambas de edad terciaria. En el Cabo Lamb existen extensos depósitos cuaternarios de origen glaciar o fluvio-glaciar correspondientes a los sectores medio a distal de un delta fluvio-glaciar, cuyas facies más proximales se sitúan hacia el este (Lirio *et al.*, 2007). El techo de la secuencia se asigna a un ambiente de playa de grava, con presencia de témpanos, semejante al actual.

**Materiales y métodos**

Se obtuvieron 29 muestras representativas de las variaciones litológicas y de contenido en materia orgánica en 12 perfiles de suelo localizados en la figura 1. Los perfiles se han realizado en las zonas con desarrollo de vegetación (*Polytrichum alpestre*). En general se trata de zonas planas encharcables, pues la mayor parte de las áreas



**Fig. 1.- Situación de la zona de estudio y de los puntos de muestreo.**  
 Fig. 1.- Location of the study area and the sampling points.

descubiertas de hielo se encuentran sometidas a un proceso de erosión muy activo que impide el asentamiento generalizado de comunidades vegetales, así como el desarrollo de suelos. Las muestras han sido tomadas mediante la apertura manual de catas desde la superficie del terreno hasta el

techo del permafrost, generalmente ubicado a unos 30 a 70 cm de profundidad. Se han obtenido muestras donde se han observado cambios de color o textura del sedimento. El material sólido se ha analizado según las técnicas analíticas recomendadas por el ISRIC (Van Reeuwijk, 2002). Los ex-



**Fig. 2.- Ejemplo de cata de muestreo**  
 Fig. 2.- Example of sampling pit.

	Q %	Ab %	Or%	Mc%	Sa %	An %	Gy%	Ja%	Hu%	Ri%	% Ar
Media	46,00	17,21	1,79	4,00	2,93	3,64	0,50	0,29	0,43	0,71	22,50
Error típico	1,391	1,331	0,950	1,523	2,007	1,629	0,374	0,286	0,309	0,384	2,381
Mediana	46,5	16,5	0	0	0	0	0	0	0	0	23,5
Moda	50	14	0	0	0	0	0	0	0	0	26
$\sigma$ (muestra)	5,20	4,98	3,56	5,70	7,51	6,10	1,40	1,07	1,16	1,44	8,91
Varianza	27,08	24,80	12,64	32,46	56,38	37,17	1,96	1,14	1,34	2,07	79,35
Rango	19	17	9	13	23	16	5	4	4	4	33
Mínimo	38	11	0	0	0	0	0	0	0	0	8
Máximo	57	28	9	13	23	16	5	4	4	4	41

Tabla 1.- Resumen estadístico de la composición mineralógica de la fracción arcilla. (Q:cuarzo, Ab:Albita, Or:Ortoclasa) Mc:Microclina, Sa:Sanidina, An:Anortoclasa, Gy:Yeso, Ja:Jarosita, Hu:Huelandita, Ri:Riebeckita, Ar:Arcilla.

Table 1.- Mineralogical composition of the clay fraction. (Q:Quartz, Ab:Albite, Or:Orthoclase, Mc:Microcline, Sa:Sanidine, An:Anortoclase, Gy:Gypsun, Ja:Jarosite, Hu:Huelandite, Ri:Riebeckite, Ar Clay.

tractos se han obtenido en solución acuosa 1:5 y no mediante secuenciación de extractantes pues interesaba conocer la cantidad de especies fácilmente lixiviables, móviles en condiciones naturales, y no el contenido absoluto de las mismas en el suelo o su disponibilidad para la nutrición vegetal.

### Resultados analíticos y discusión

Según la USDA Soil Taxonomy los suelos muestreados se encuentran entre los Gelisoles. El contenido en materia orgánica no supera nunca el 5% y no se observa la influencia de procesos de crioturbación por lo que se encuentran dentro del suborden Orthels.

Las texturas observadas corresponden mayoritariamente a franco-arcillosas o franco-arenosas, con porcentajes de fracción arena que varían entre el 35,85% y el 61,43%, de limo entre el 16,77% y el 26,38% y de arcilla entre el 12,2% y el 37,27%. En la composición mineral de esta fracción (Tabla 1) predominan el cuarzo, la albita y la anortoclasa, que juntos suman en promedio más del 67% del peso de las muestras. Es relevante la presencia constatada de jarosita en dos de las muestras analizadas.

Se trata de suelos con un contenido en materia orgánica bajo, 0,45% de media, oscilando entre menos del 0,01% de mínimo y un 1,35% de máximo. Esta circunstancia se corresponde con lo observado en otros lugares de la región septentrional de la Península Antártica (e.g. Navas *et al.*, 2008) Destaca el reducido contenido en carbonatos, 2,22 % de media, en consonancia con el material original y que el pH en agua se encuentra, en la mayor parte de las muestras, por debajo de la neutralidad. Solo en siete muestras es superior a 7 y, sin em-

bargo, en 11 está por debajo, llegando a un mínimo de 2,79. El pH en KCl es netamente inferior al pH en H<sub>2</sub>O, siempre en más de 0,5 unidades, lo que muestra una fuerte desaturación de bases. Los valores del nitrógeno Kjeldhal son muy bajos, oscilado entre 0,01% y 0,07%, con el valor medio en 0,046%.

En la figura 3 se presentan, en forma de diagramas de cajas, los resultados analíticos de los extractos acuosos. Los valores de conductividad eléctrica son muy variables, moviéndose en un amplio rango, entre 52 y 3572  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

Los pH de los suelos son muy ácidos; en todos los casos por debajo de 6,6 unidades y en ocho muestras por debajo de 5,0. La presencia observada de jarosita, un mineral procedente de la oxidación de sulfuros de hierro, proceso en el cual se genera acidez e ión sulfato, es la explicación más plausible a esta situación de elevada acidez y altos contenidos en sulfatos y en metales pesados, así como de la práctica inexistencia de carbonatos. Estos datos corroboran la hipótesis de Thorn *et al.* (2001) según la cual los procesos de alteración química en suelos fríos son mucho más intensos de lo que se había supuesto.

Únicamente se observan contenidos elevados en NO<sub>3</sub> lixiviable en dos perfiles (8 y 12 de la figura 1) que son por otra

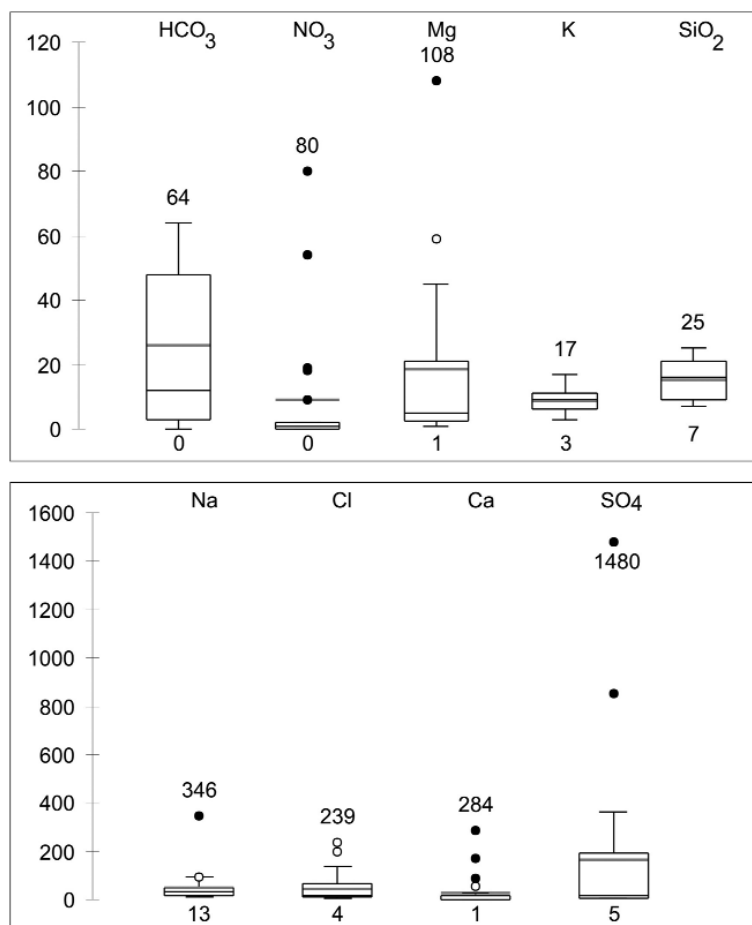


Fig. 3.- Concentración (mg/l) de especies mayoritarias en extractos acuosos 1:5  
Fig. 3.- Concentration (mg / l) of major ions in 1:5 aqueous extracts of soil samples

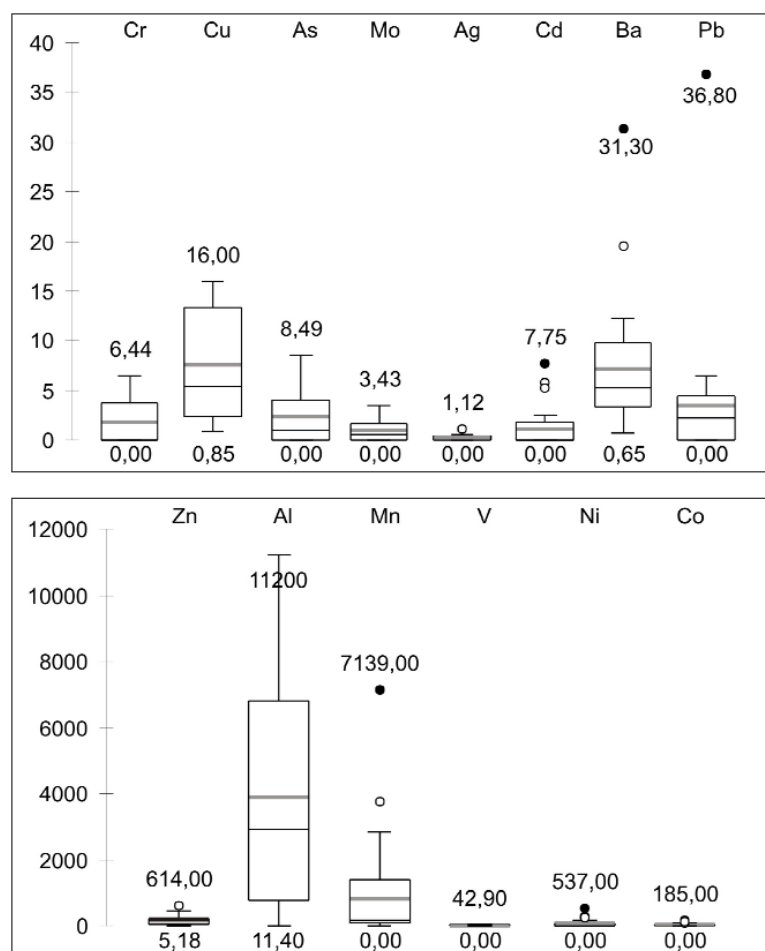


Fig. 4.- Concentración ( $\mu\text{g/l}$ ) de elementos traza en extractos acuosos 1:5 de las muestras de suelos de Cabo Lamb.

Fig. 4.- Concentration ( $\mu\text{g/l}$ ) of trace elements 1:5 aqueous extracts of soil samples from Cape Lamb.

parte los que muestran mayor contenido en materia orgánica.

El anión dominante es el sulfato, que llega en casos extremos a concentraciones de 1.480 mg/l, aunque en la mayor parte de las muestras se encuentra alrededor de 170 mg/l en las aguas más mineralizadas y sobre los 7 mg/l en las menos. Na, Ca y Mg son los cationes mayoritarios, el sodio es el dominante pero la relación iónicas Cl/Na, que varía entre 0,14 y 0,6, demuestra que su origen es endógeno y no procedente del aerosol marino, a pesar de la cercanía del mar.

En la figura 4 se presentan, resumidos los contenidos en metales pesados. Comparando los resultados con los de otros autores que han estudiado lugares contaminados en la Antártida, por ejemplo Claridge *et al.* (1995), se observa que la concentración de Cu, Zn y Pb es elevada.

El contenido en aluminio es extraordi-

nariamente elevado, llegando hasta 11.000  $\mu\text{g/l}$ . Esto contradice la opinión de Zarinah (1993) cuando asevera que en clima antártico la lixiviación de este metal está fuertemente restringida.

## Conclusiones

La activación del ciclo hidrológico en el norte de la Península Antártica pone en movimiento grandes cantidades de solutos que se incorporan al medio natural. En escenarios como el estudiado, el ambiente fuertemente oxidante del medio, su elevada acidez, y la naturaleza del material original están favoreciendo la liberación de cantidades no despreciables de metales pesados que, en otras circunstancias, se mantendrían inmovilizadas en el permafrost. Las repercusiones ambientales de este fenómeno deben ser valoradas desde la perspectiva medioambiental, como una consecuencia

más de los efectos del cambio climático sobre los ecosistemas antárticos.

## Agradecimientos

Este trabajo ha sido posible gracias a la financiación de los proyectos CGL2005-03256ANT, de la Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología y del proyecto PR20101-0166 del Programa Nacional de Movilidad de Recursos Humanos de Investigación (España) y PICTO 2005N36155, del Secretariado para la Ciencia y Tecnología (Argentina). También ha contado con el apoyo del Instituto Antártico Argentino. Agradecer especialmente a J.M. Lirio, M. Chaparro y M. Brizuela su colaboración en los trabajos de campo. Por último, agradecer a los revisores sus sugerencias que han mejorado notablemente la calidad del trabajo.

## Referencias

- Claridge, G.G.C., Campbell, I.B., Powell, H.K.J., Aminz Z.H. y Balks, M.R. (1995). *Antarctic Science*, 7, 9-14.
- King, J.C., Turner, J., Marshall, G.J., Connolley, W.M. y Lachlan-Cope, T.A. (2004). En: *Antarctic Peninsula Climate Variability: Historical and Paleoenvironmental Perspectives* (E. Domack, A. Leventer, A. Burnett, R. Bindshadler, P. Convey y M. Kirby, Eds.). American Geophysical Union, Antarctic Research Series, 79, 7-30.
- Lirio, J.M., Chaparro, A., Ermolin, E., Silva Busso, A. y Brizuela, M. (2007). *Actas del VI° Simposio Argentino y III° Latinoamericano sobre Investigaciones Antárticas* CD-ROM. Resumen Expandido N° GEORE 816, 4 p.
- Marenssi, S., Salani, F. y Santillana, S. (2001). *Contribuciones del Instituto Antártico Argentino*, 530, 43 p.
- Moreno, L., Silva Busso, A., Ermolin, E., López-Martínez, J., Durán, J.J., Martínez Navarrete C. y Cuchí, J.A. (en revisión). *Hydrogeological Journal*.
- Navas, A., López-Martínez, J., Casas, J., Machín, J., Durán, J.J., Serrano, E., Cuchí, J.A. y Mink, S. (2008). *Geoderma*, 144, 123-139.
- Pirrie, D., Crame, A. y Riding, J. (1991). *Cretaceous Research*, 12, 227-258.
- Reynolds J.M. (1981). *British Antarctic Survey Bulletin*, 54, 123-133.
- Thorn, C.E., Darmody, R.G., Dixon, J.C. y Schlyter, P. (2001). *Geomorphology*, 41, 37-52.
- Van Reeuwijk, L.P. (2002). ISRIC (Internacional Soil Reference and Information Centre, 6ª Edición), 120 p.
- Zarinah, M.A. (1993). *Heavy metal pollution in Antarctic soils*. Tesis Tesis de Master, Univ. de Canterbury, 133 p. <http://hdl.handle.net/10092/287>.