

DISTRIBUCIÓN DE HIERRO Y MANGANESO REDUCIDO EN AGUAS INTERSTICIALES ENTRE BOCA DEL GUAFO (44° S) Y GOLFO ELEFANTES (46,5° S), CHILE AUSTRAL *

DISTRIBUTION OF REDUCED IRON AND MANGANESE IN POREWATERS BETWEEN BOCA DEL GUAFO (44° S) AND GOLFO ELEFANTES (46,5° S) IN SOUTHERN CHILE *

LUIS PINTO ¹
CECILIA RIVERA ²

¹ Departamento de Oceanografía, Universidad de Concepción.
Casilla 160 C, Concepción.
E-mail: luispinto@udec.cl

² Programa de Oceanografía Física y Clima,
Universidad de Concepción, Concepción.

Recepción: 21 de noviembre de 2004 - Versión corregida aceptada: 21 de marzo de 2006.

RESUMEN

La degradación de la materia orgánica en sedimentos costeros es uno de los principales procesos que caracterizan la diagénesis temprana del estrato sedimentario afectando directamente las condiciones redox del sistema. Las vías de remineralización del carbono orgánico dependen de la disponibilidad de distintos aceptores terminales de electrones, entre ellos los óxidos de hierro y manganeso. Durante el crucero CIMAR 4 Fjordos, se realizan por primera vez determinaciones de hierro y manganeso reducido en aguas intersticiales en distintos fiordos y canales de la XI región, Chile, entre boca del Guafo y golfo Elefantes.

El análisis se realizó mediante espectrometría de absorción atómica. Los valores encontrados especialmente en los fiordos interiores son mayores que los observados en otras regiones costeras (hasta 3 mM Fe(II) en sedimentos superficiales). Los resultados de Fe(II) y Mn(II) permiten establecer una tendencia al aumento en sus concentraciones en aguas intersticiales desde aquellas con mayor influencia oceánica hacia las cabezas de fiordos con aportes de agua dulce principalmente por transporte fluvial. Este aumento es principalmente notorio hacia la cabeza del seno Aysén con mayor influencia estuarina y antropogénica que el resto de los fiordos estudiados.

Palabras claves: Hierro reducido, manganeso reducido, agua intersticial, fiordo, sedimentos recientes, Chile.

ABSTRACT

Organic matter degradation in coastal sediments is an important process during early diagenesis affecting directly the redox condition of the sedimentary strata. Availability of different terminal electron acceptors, such as iron and manganese oxides, could play an important role during the remineralization of organic carbon. The first measurements of reduced iron and manganese in pore waters between boca del Guafo and golfo Elefantes in southern Chile were carried out during the CIMAR 4 Fjordos oceanographic cruise. Atomic absorption spectrometry was used to determine the concentrations of Fe(II) and Mn(II). Concentrations of up to 3 mM of Fe(II) were found in surface sediments near the head of the most populated fjord of the region.

These results allow us to establish a trend with increasing concentrations in porewater from the most oceanically influenced station toward the head of fjords with an important presence of freshwater. This observation is more notorious at the head of Aysén fjord, which is influenced by estuarine and anthropogenic conditions, more than the other studied fjords.

Key words: Reduced iron, reduced manganese, pore water, fjord, recent sediments, Chile.

* Proyecto CONA-C4F 98-08.

INTRODUCCIÓN

El destino final de la materia orgánica (MO), metales y nutrientes en ambientes acuáticos está sujeto a la interacción entre las fases sólida y soluble controlados por procesos biogeoquímicos. Las especies metálicas pueden sufrir varios tipos de reacciones que incluyen la óxido-reducción. El estado termodinámicamente estable para hierro y manganeso en aguas oxigenadas corresponde a la especie Fe(III) y Mn(IV) que se encuentran presentes en óxidos y (oxi)hidróxidos de estos metales. En aguas costeras de fondo y sedimentos superficiales se producen condiciones subóxicas y eventualmente anaeróbicas como efecto de la remineralización de MO, ocurriendo la removilización de Fe(II) y Mn(II) soluble (Overnell, 2002). Bajo estas condiciones estos pares redox presentan máximos subsuperficiales en las aguas intersticiales de acuerdo a sus potenciales de oxidación (Froelich *et al.*, 1979). Se ha sugerido que en ciertos ambientes, la reducción de manganeso(IV) y Fe(III) mediada por bacterias heterotróficas, puede ser un importante mecanismo en la degradación de MO durante la diagénesis temprana (Thumdrup & Canfield, 1996).

Escasa es la información que existe sobre la distribución de hierro y manganeso reducido en aguas intersticiales de canales y fiordos del hemisferio norte. En la zona austral chilena no existe información publicada que muestre valores para estos metales, desconociéndose su importancia como aceptores terminales de electrones y con ello su contribución a la remineralización de la materia orgánica como detrito que se deposita en sedimentos superficiales de canales y fiordos. Esta información es fundamental si se desea evaluar la estabilidad del estrato sedimentario en relación a un creciente aporte de MO al sistema. Una gran carga orgánica puede llevar al consumo total de oxígeno en la interfase agua/sedimento, originando un deterioro de la calidad del sustrato y pérdida en la biodiversidad de organismos bentónicos.

La circulación restringida de aguas oceánicas de origen ecuatorial subsuperficial por efecto de la constricción de Meninea (Silva *et al.*, 1997) podría verse reflejada en las condiciones redox de los sedimentos superficiales al norte y sur de la constricción de Meninea afectando los perfiles de Fe y Mn en profundidad. El conocimiento de esta información geoquímica permite tener un mayor control sobre las estimaciones de flujos de carbono orgánico y nutrientes a través de la interfase agua/sedimento. Se sabe que la can-

tidad de nutrientes liberados desde los sedimentos depende de varios factores, entre otros, el nivel de producción de MO en la columna de agua, el contenido de oxígeno disuelto presente en las aguas suprayacentes a los sedimentos, la presencia de actividad biológica bentónica, tasa de sedimentación y labilidad del detrito orgánico.

Los perfiles de Fe(II) y Mn(II) son una herramienta geoquímica confiable que permite demarcar en forma inequívoca la presencia de una redoclina subsuperficial. De esta manera es posible separar procesos aeróbicos de aquellos producidos fundamentalmente por procesos metabólicos asociados con la sulfato reducción microbiana. Sin embargo, estos perfiles no permanecen constantes en el tiempo, reflejando condiciones estacionales del aporte y labilidad del detrito orgánico que sedimenta (Pinto & Rivera, 2003).

Durante el presente estudio se realizan las primeras determinaciones de Fe y Mn reducido en aguas intersticiales entre boca del Guafo y golfo Elefantes, con el fin de evaluar las condiciones redox bajo las cuales parte de la MO que llega a los sedimentos es degradada y remineralizada. Dado que en los sistemas de aguas interiores de la XI región, característicos de sistemas estuarinos, existe una mayor variación estacional en la magnitud de la contribución de los flujos de agua dulce y MO terrestre (Hamilton-Taylor *et al.*, 1983) que en sistemas costeros abiertos, como también por la dinámica propia y diferente de cada uno de estos fiordos (Silva *et al.*, 1997), se espera encontrar una mayor variabilidad espacial de los perfiles de Fe y Mn reducido en aguas intersticiales de los diversos fiordos y canales estudiados.

MATERIALES Y MÉTODOS

Recolección de muestras

Durante la Campaña CIMAR 4 Fiordos primera y segunda etapa (septiembre-octubre de 1998 y febrero-marzo de 1999, respectivamente) realizada a bordo del buque AGOR "Vidal Gormaz", se obtuvieron muestras de sedimentos entre las latitudes 44° y 46,5° S (Tabla I), en la zona de canales y fiordos australes de Chile (Fig. 1). La selección de las estaciones se hizo con el interés de comparar condiciones redox bajo las cuales se degrada la MO en sedimentos superficiales de canales expuestos directamente a masas de agua oceánicas (estación 5 - boca del Guafo y estación 11, al norte del umbral de Meninea

Tabla I. Localización de las estaciones de muestreo para la obtención de agua intersticial entre boca del Guafo y golfo Elefantes, XI región, Chile.

Table I. Interstitial water sampling sites between boca del Guafo and golfo Elefantes, Southern Chile.

Estación	Localización geográfica	Latitud S	Longitud W	Profundidad (m)	Período de muestreo
11	Norte de Meninea	45° 05',6	73° 38',8	276	octubre 1998
14	Sur de Meninea	45° 20',8	73° 39',0	154	octubre 1998
19	Seno Aysén	45° 26',5	72° 56',8	187	septiembre 1998
22	Canal Costa	45° 29',5	73° 30',9	303	octubre 1998
27	Golfo Elefantes	46° 31',4	73° 48',7	112	octubre 1998
28	Estero Cupquelán	46° 14',5	73° 25',0	175	octubre 1998
31	Estero Quitralco	45° 40',0	73° 17',1	275	octubre 1998
5	Boca del Guafo	43° 58',0	73° 21',5	177	febrero 1999
17a	Seno Aysén	45° 17',7	73° 16',0	339	febrero 1999
21	Bahía Acantilada (S. Aysén)	45° 24',8	72° 51',6	160	marzo 1999

en el canal Moraleda); estaciones intermedias entre ambientes oceánicos y estuarinos (al sur del umbral de Meninea, estación 14, 22 en el canal Costa) y un tercer grupo con una mayor influencia estuarina como son el golfo Elefantes (Est. 27), estero Cupquelán (Est. 28), estero Quitralco (Est. 31) y en el seno Aysén (Ests. 17a, 19 y 21). Dificultades en la operación de muestreo durante la primera etapa impidieron la obtención de agua intersticial en todas las estaciones asignadas, por lo que las estaciones 5, 17a y 21 fueron muestreadas durante la segunda etapa (verano tardío). Las muestras obtenidas del centro de un sacatestigo de caja (box corer) se trasladaron inmediatamente a un ambiente con atmósfera de nitrógeno donde se realizaron cortes sedimentarios con un espesor de un centímetro en superficie y luego de 1 ó 2 cm hasta los 18 cm de profundidad. Se extrajo el agua intersticial de estos cortes, utilizando presión de nitrógeno puro (máx. 2 bar) y filtros de nitrocelulosa de 0,45 μm . El agua obtenida se acidificó con HCl Suprapur (4M) para obtener un pH 2. Las muestras se recolectaron en viales de plástico y se almacenaron refrigeradas hasta su análisis. Mediante espectrometría de absorción atómica con llama (EAA modelo GBC 902) y lámparas de cátodo hueco se determinó la concentración de hierro ($\lambda 248,3 \text{ nm}$) y manganeso ($\lambda 279,5 \text{ nm}$) directamente en las muestras acidificadas. Se utilizaron estándares certificados de Fe y Mn. Los valores fueron corregidos por efecto de la matriz salina.

Especial cuidado se requiere en la manipulación de sedimentos para el análisis de hierro ya

que este elemento por encontrarse ubicuamente en el buque, incluyendo el sacatestigo de caja, posee una alta probabilidad de producir contaminación en las muestras, por lo que se debe mantener cubierto con material plástico las superficies posibles de sufrir contaminación. El paso de partículas desde los copos de prensado hacia los viales de colección puede ser otra fuente de contaminación. Estas partículas o coloides contienen (oxi)hidróxidos de hierro que en medio ácido solubilizan aumentando el valor de hierro medido por EAA, por lo que es imperativo una observación rigurosa y continua de las membranas de látex en contacto con los sedimentos.

RESULTADOS

El análisis de Fe(II) obtenido para las muestras recolectadas durante la primera etapa del crucero (septiembre-octubre 1998, estaciones 11, 14, 19, 22, 27, 28 y 31. Fig. 1) muestra un gran rango de concentraciones con valores mínimos de 5,7 μM alcanzando valores máximos de 1.328 μM (Fig. 2).

Las concentraciones de Fe(II) observadas en el primer cm de sedimento permiten establecer dos grupos de estaciones para su estudio. En un primer grupo las estaciones al norte (Est. 11) y sur (Est. 14) de la constricción de Meninea y el estero Quitralco (Est. 31) (Fig. 1). Siendo esta última la que presenta las menores concentraciones a lo largo de todo el testigo sedimentario (18 cm), no observándose ningún máximo subsuperficial, siendo los valores relativamente

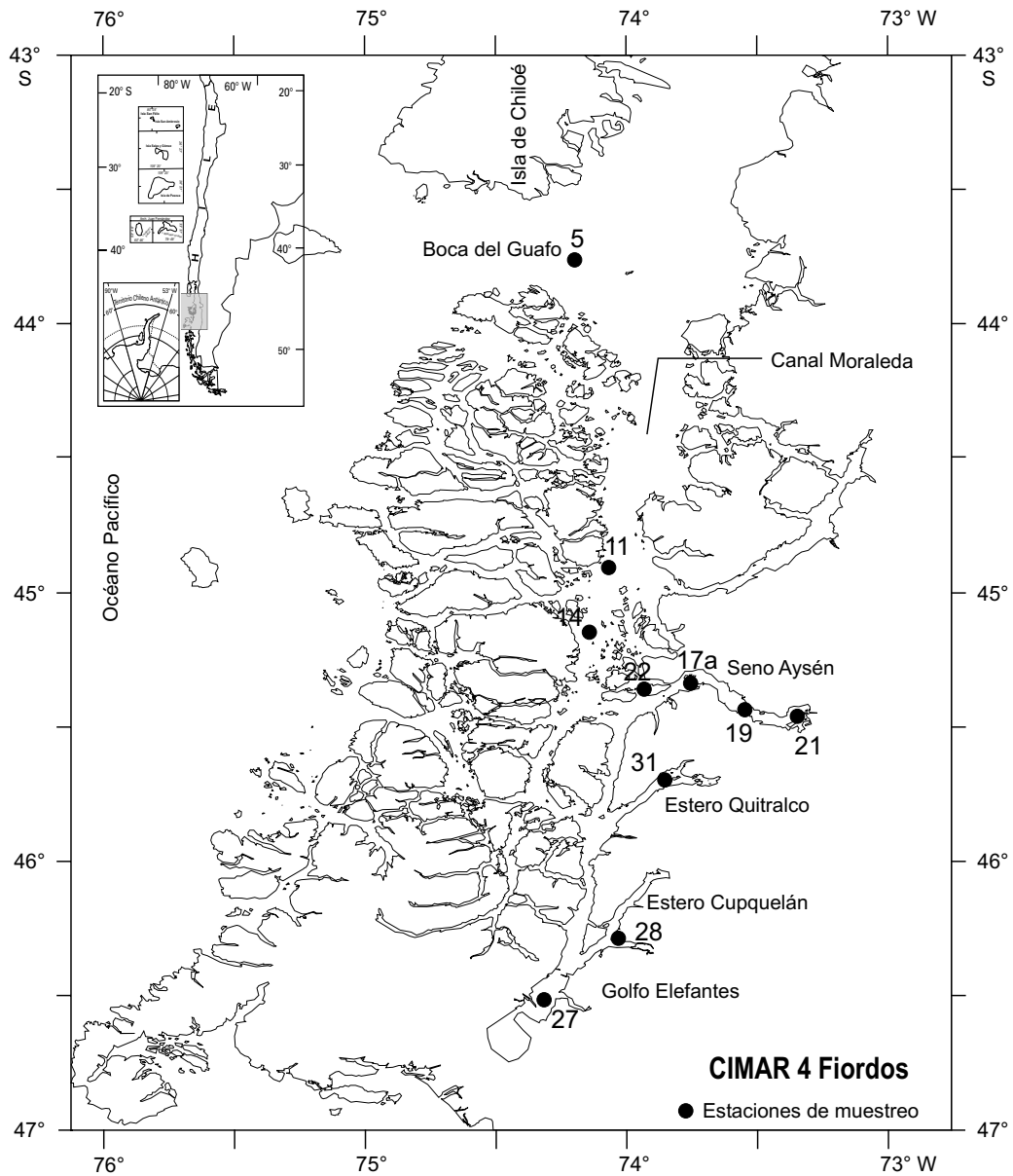


Fig. 1: Estaciones de muestreo en fiordos de la XI Región, Chile.
 Fig. 1: Location of sampling sites in fjords of Southern Chile (XI Region).

mayores en los cortes más profundos. En la estación 11 se observa claramente un máximo subsuperficial entre 6 y 8 cm de profundidad. Es a esta profundidad que la concentración de Fe(II) comienza a aumentar en la estación 14. Los perfiles para estas dos estaciones que se encuentran al norte y sur de la constricción de Meninea poseen perfiles muy similares, con valores menores en superficie y mayores en profundidad.

El segundo grupo de estaciones posee concentraciones superficiales por lo menos un or-

den de magnitud mayor que las anteriores (Fig. 2) y el orden de acuerdo al incremento de concentración son seno Aysén (Est. 19) < golfo Elefantes (Est. 27) < estero Cupquelán (Est. 28) < canal Costa (Est. 22). La estación 27 en el golfo Elefantes presenta un máximo en superficie disminuyendo hasta encontrarse las menores concentraciones en las capas más profundas de los sedimentos (13-17 cm).

Todas las estaciones del segundo grupo presentan una gran variabilidad de la concentración

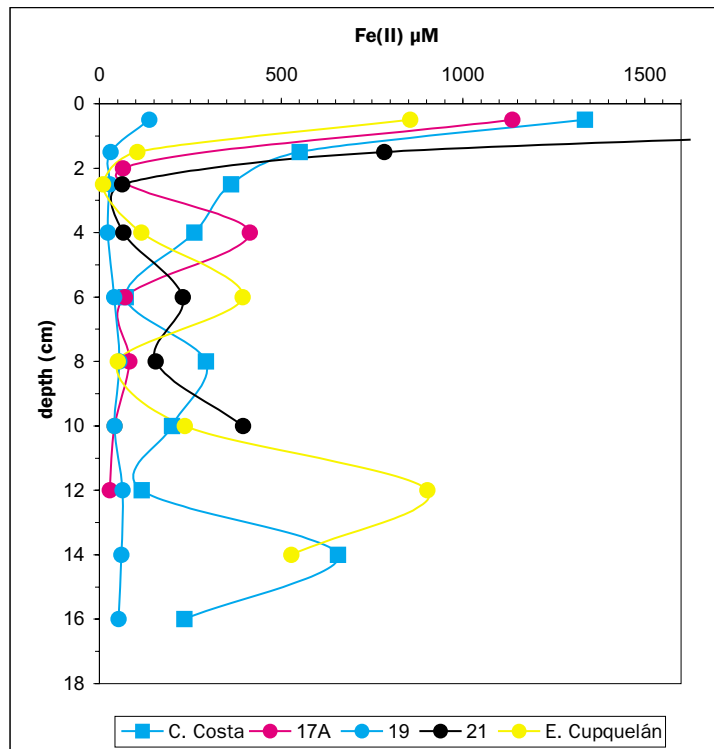
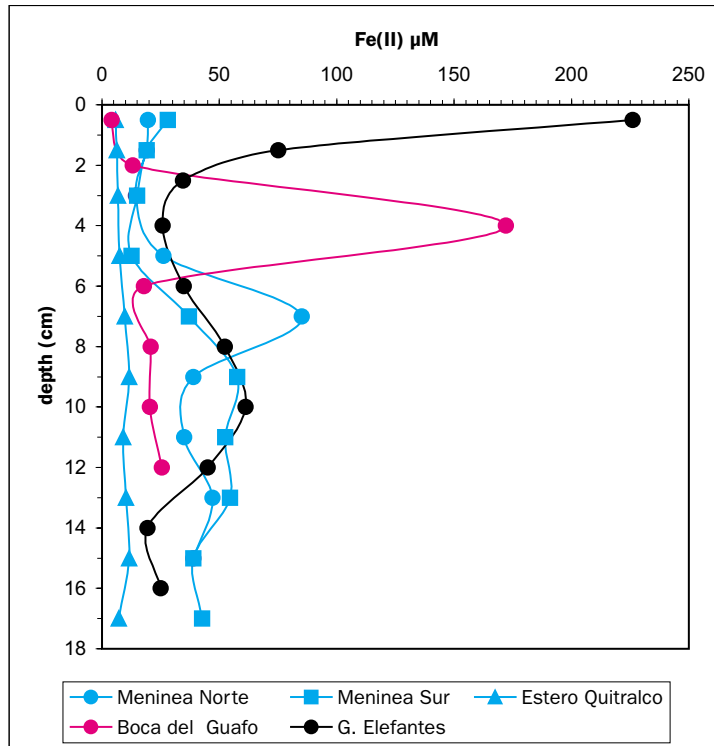


Fig. 2: Perfiles de hierro removilizado en aguas intersticiales de fiordos y canales de la XI región. Estaciones 17A, 19 y 21 situadas en el seno Aysén.

Fig. 2: Remobilised iron profiles in porewaters of fjords, Southern Chile. Stations 17A, 19 and 21 located in the Aysén Fjord.

en profundidad, llamando la atención los máximos subsuperficiales para el estero Cupquelán (Est. 28) y canal Costa (Est. 22) bajo los 10 cm de profundidad. Durante la segunda etapa, sólo se muestrearon la estación en la boca del Guafo (Est. 5) y dos estaciones en el seno Aysén, la estación 17a y la estación 21, correspondiendo esta última a la cabeza del seno en el sector de la bahía Achantilada (Fig. 1). La estación 17a dentro del seno Aysén presenta un máximo en superficie de 137 μM y un máximo subsuperficial a los 4 cm, disminuyendo abruptamente a partir de los seis centímetros de profundidad. La concentración superficial de Fe(II) en la estación de la cabeza del seno Aysén (Est. 21) es extremadamente alta, alcanzando un valor superior a 3,3 μM , sin embargo entre 3 y 7 cm la concentración no sobrepasa los 70 μM .

La estación oceánica (Est. 5) muestra un máximo subsuperficial para hierro de 172 μM entre los 3-5 cm y la menor de las concentraciones observadas en superficie durante ambas etapas de muestreo (4,1 μM).

También durante esta etapa se determinó manganeso en la estación oceánica de boca del Guafo y las dos estaciones ubicadas dentro del seno Aysén (17a y 21). Los perfiles de manganeso removilizado muestran tres niveles de concentración diferentes. La estación oceánica de la boca del Guafo presenta los valores mínimos, no observándose un máximo subsuperficial. Las dos estaciones en el seno Aysén presentan máximos superficiales con una disminución importante en profundidad especialmente para la bahía Achantilada.

La estacionalidad como factor de variación en las mediciones no es posible observarla en este estudio ya que las estaciones fueron muestreadas sólo una vez durante la campaña oceanográfica.

DISCUSIÓN

Los altos valores de Fe(II) encontrados en sedimentos superficiales de fiordos y canales, especialmente seno Aysén, canal Costa y estero Cupquelán, pueden explicarse por la reducción de hierro, en especial (oxi)hidróxidos durante la degradación heterotrófica de detrito orgánico bajo condiciones subóxicas-anóxicas. Esta condición puede ser temporal debido a floraciones fitoplanctónicas durante los meses de verano y también al aporte de material terrígeno lábil (Overnell *et al.*, 2002). La disminución de hierro removilizado en profundidad, se explica por el

paso a la fase sólida al reaccionar con sulfuro metaestable formando sulfuros de hierro (Canfield, 1989). Sin embargo, el aporte de fases minerales de hierro desde los ríos, el efecto de la cuña estuarina en la haloclina, la labilidad de la MO y la disponibilidad de oxígeno disuelto en la capa nefelométrica próxima a los sedimentos, son variables importantes y desconocidas en su intensidad en esta región.

Clasificación de los perfiles de hierro reducido

Una observación general de los perfiles de Fe reducido medidos durante ambas etapas del cruce permiten caracterizar tres tipos de comportamiento entre las estaciones muestreadas. Primero, aquellas que poseen altas concentraciones superficiales y varios máximos subsuperficiales menores. Segundo, aquellas que en superficie tienen bajo contenido de hierro reducido intersticial; pero presentan un máximo subsuperficial. Tercero, aquellas donde la concentración es baja y más bien constante con la profundidad.

La primera clasificación de estaciones se observa dentro del seno Aysén, siendo la de mayor concentración (Est. 21), la que se encuentra en la zona de influencia de la desembocadura del río Aysén. En esta zona estuarina el río Aysén contribuye con minerales que contienen (oxi)hidróxidos de hierro formando fases coloidales al encontrarse con aguas de carácter oceánico con una mayor fuerza iónica. Este tipo de hierro denominado "reactivo" por Canfield (1989) puede fácilmente servir como aceptor de electrones en la remineralización microbiana de la MO, observándose de esta manera altas concentraciones de hierro reducido en aguas intersticiales de sedimentos superficiales. Una segunda explicación estaría relacionada con una alta producción de sulfuro de hidrógeno como producto de altas tasas de sulfato reducción en sedimentos superficiales. Bajo estas condiciones puede producirse una reducción química de minerales de hierro reactivo y pasar hierro reducido por difusión molecular al agua intersticial (Van Cappellen & Wang, 1996). Desafortunadamente no existen mediciones de las tasas de sulfato reducción, del potencial redox, ni oxígeno disuelto en los sedimentos de esta zona.

Existen dos estratos sedimentarios clasificados en el segundo grupo, correspondiendo a las estaciones de la boca del Guafo y canal Moraleda al norte del umbral (50 m) en la constricción de Meninea. Estos sedimentos no tienen ninguna restricción en la circulación de las masas de agua provenientes de la plataforma, por lo que pue-

den caracterizarse como estaciones con un fuerte componente oceánico. Esto se ve reflejado en el perfil de hierro reducido típico para zonas de la plataforma continental con aguas suprayacentes que no alcanzan a ser subóxicas (contenido de oxígeno mayor a $1 \text{ mL}\cdot\text{L}^{-1}$) donde los primeros centímetros de sedimento están expuestos a bajas concentraciones de oxígeno (Fujiwara *et al.*, 2002).

En las estaciones con carácter oceánico de la XI región, la sulfato reducción se ve reprimida y posiblemente comienza a ser importante a los 6 cm en la estación de la boca del Guafo y alrededor de los 9 cm en el caso de la estación al norte de Meninea (Est. 11). Los perfiles de MO presentados por Silva *et al.* (1998) para las estaciones 5 y 11 demuestran que el contenido orgánico en estos sedimentos es bajo en comparación a otros sectores y explica por qué la producción de Fe(II) se produce en horizontes subsuperficiales en estas dos estaciones con características oceánicas.

La estación del estero Quitralco (Est. 31) presenta un patrón de perfil distinto a los otros dos y se analiza en contraste con el perfil de Fe(II) del estero Cupquelán (Est. 28).

Influencia del detrito orgánico en los perfiles de hierro reducido

Los esteros Cupquelán y Quitralco presentan diferencias notables en los perfiles de Fe(II), lo que indica condiciones diagenéticas distintas aun cuando estos esteros son aparentemente similares y cercanos. Esta diferencia en los perfiles de Fe(II) en las aguas intersticiales de estos sedimentos también es observada por Silva *et al.* (1998) en los perfiles de MO donde muestran una gran diferencia en concentración existente entre ellos. Encontrándose los valores más bajos de la zona en el estero Cupquelán con escasa variación en profundidad a diferencia del estero Quitralco donde el contenido del detrito orgánico es por lo menos tres veces mayor que en el estero Cupquelán. Una posible explicación a los perfiles de Fe(II) observados está relacionada con la formación de esta especie reducida a partir de compuestos de hierro oxidado presentes en la fase sólida de los sedimentos (Landing & Westerlund, 1988). Un bajo contenido de MO depositada en los sedimentos implica que la oxidación de carbono orgánico en sedimentos superficiales se produce en condiciones aeróbicas sin agotar el oxígeno disuelto en las aguas suprayacentes, incorporándolo por difusión molecular a los sedimentos. Bajo estas circunstancias, las condiciones termodinámicas no fa-

vorecen la sulfato reducción como mecanismo principal en la degradación del detrito orgánico. Estas condiciones producen un potencial redox tal que existirían micronichos subóxicos favorables para la reducción disimilatoria del hierro reactivo (Eh: +60 a 0 mV). Al no ser importante la sulfato reducción, existirían bajas concentraciones de azufre reducido, lo que dificultaría la formación de minerales de hierro y azufre reducido como piritita y otros, permaneciendo el hierro como especie catiónica reducida en el agua intersticial. En contraposición, un estrato sedimentario con alta carga orgánica hace que la sulfato reducción tenga un rol importante en la degradación de la MO produciendo sulfuros que reaccionan con el hierro reducido presente en el agua intersticial incorporándolo a la fase sólida y de esta manera disminuir las concentraciones de Fe(II) en solución, como sería el caso observado en la estación 31 del estero Quitralco.

Comparación con perfiles de hierro reducido plataforma Chile Central

Los perfiles de Fe(II) con influencia oceánica, tienen una similitud con aquellos observados en sedimentos de la plataforma continental frente a las costas de Concepción durante el evento El Niño 1997-1998 (Pinto & Rivera, 2003). Los valores obtenidos para la estación 11 (al norte de Meninea) son prácticamente idénticos a los obtenidos en bahía Concepción durante el evento en la superficie (19,5 vs. 20,5 μM , respectivamente) y el máximo subsuperficial (85,1 vs. 86,8 μM , respectivamente), aun cuando éstos no coinciden en la profundidad a la que se observan. Estas similitudes pueden ser sólo circunstanciales o sugerir la existencia de reacciones limitantes involucradas en la degradación en condiciones subóxicas de la materia orgánica. El máximo subsuperficial para la estación 5 (boca del Guafo) es tres veces mayor que el encontrado en la plataforma continental frente a Concepción durante y pos evento El Niño 1997-1998; sin embargo, los valores en otras profundidades son similares y en el rango de los 15 a 30 μM (Pinto & Rivera, 2003).

Distribución de manganeso reducido

Las tres estaciones analizadas para manganeso reducido Mn(II) muestran que las condiciones geoquímicas superficiales están sujetas a distintas forzantes principales. La estación oceánica (boca del Guafo) presenta concentraciones estables en profundidad (Tabla II); sin embargo, son un orden de magnitud mayor que las encontradas frente a Concepción durante y

pos evento El Niño 1997-1998. La ausencia de enriquecimiento de manganeso en las aguas intersticiales superficiales apoya las conclusiones de Thamdrup & Canfield (1996) sobre la mínima importancia que presentan los óxidos de Mn como aceptores de electrones en la oxidación de la MO en sedimentos de la plataforma continental en Chile Central. Concentraciones del orden de las encontradas en las estaciones muestreadas fueron medidas en sedimentos costeros del norte de Dinamarca (55° - 57° N) por Sorensen & Jorgensen (1987).

El inventario de Mn reducido en los primeros 6 cm de los sedimentos decrece desde el seno Aysén hacia la estación oceánica, lo que sugiere al igual que los perfiles de Fe(II), un aporte importante de óxidos de manganeso de origen lacustre-fluvial (Overnell *et al.*, 2002).

Los perfiles de Fe(II) y Mn(II) en la estación de la boca del Guafo, demuestran que el proceso de diagénesis temprana en sedimentos superficiales se produce bajo condiciones aeróbicas, con escasa importancia de los (oxi)hidróxidos de hierro y manganeso como aceptores terminales de electrones. Sin embargo, en canales y fiordos interiores y en especial en el seno Aysén, estos elementos juegan un papel más importante en la degradación de la MO y/o en la precipitación de otros cationes metálicos. Se aprecia en general una gran variabilidad de los perfiles, con valores de concentración mayores que los encontrados en la plataforma continental frente a bahía Concepción, pero de similar magnitud a otros observados en sedimentos costeros en el Mar del Norte (Sorensen & Jorgensen, 1987).

El análisis de los perfiles, especialmente de hierro reducido, en la región de fiordos y canales

australes sugiere que el sistema posee una gran variabilidad en la magnitud de los factores que afectan las tasas de degradación de la MO depositada en estos sedimentos y que cada fiordo y canal posee características biogeoquímicas propias que controlan en distinto grado la diagénesis temprana del sustrato sedimentario de esta región.

Mucho se desconoce de la biogeoquímica de los sedimentos de la región de fiordos. Los ciclos del hierro y manganeso están ligados al ciclo del azufre (Müller, 2002) a través de la sulfato reducción, mecanismo importante en la degradación de la MO en sedimentos costeros de Chile. Nuevas investigaciones se deben desarrollar en sedimentos de fiordos con el fin de determinar el destino final de metales, las tasas de degradación de los distintos componentes del detrito orgánico presente y con ello evaluar el comportamiento del sistema frente a una mayor carga orgánica, especialmente en fiordos interiores tales como el seno Aysén producto del incremento de la actividad antropogénica.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al comandante del buque AGOR "Vidal Gormaz", sus oficiales y tripulación, como también al personal de apoyo técnico (CONA) a bordo en la recolección de muestras. Se agradece al Dr. Víctor A. Gallardo por haber facilitado el diseño del extractor de aguas intersticiales perteneciente al Laboratorio de Biología Marina de la Universidad de Concepción. Financiamiento para el desarrollo de este estudio se obtuvo del Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada de Chile y Comité Oceanográfico Nacional.

Tabla II. Concentración de Manganeso (II) (μM) removilizado en aguas intersticiales. Estación oceánica (5) y estaciones en seno Aysén (17A y 21).

Table II. Concentration of remobilised Manganese(II) in porewaters (μM). Marine station (5) and fjord Aysén stations (17A and 21).

Estación	5	17A	Prof. (cm)	21
Prof. (cm)			Prof. (cm)	
0-1	14,3	212	0-1	875
1-3	25,2	102	1-2	455
3-5	24,6	98	2-3	553
5-7	16,7	97	3-5	385
7-9	19,1	92	5-7	224
9-11	21,6	53	7-9	221
11-13	24,0	101	9-11	226

REFERENCIAS

- CANFIELD, D. E. 1989. Reactive iron in marine sediments. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 53: 619-632.
- FROELICH, P. N., G. P. KLINKHAMMER, M. L. BENDER, N. A. LUEDTKE, G. R. HEATH, D. CULLEN, P. DAUPHIN, D. HAMMOND, B. HARTMAN & V. MAYNARD. 1979. Early oxidation of organic matter in pelagic sediments of the eastern equatorial Atlantic: suboxic diagenesis. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 43: 1.075-1.090.
- FUJIWARA, T., T. TAKAHASHI, A. KASAI, Y. SUGIYAMA & M. KUNO. 2002. The Role of Circulation in the Development of Hypoxia in Ise Bay, Japan. *Estuar. Coastal Shelf Sci*, 54: 19-31.
- HALL, I., D. HYDES, P. STATHAM & J. OVERNELL. 1996. Dissolved and particulate trace metals in a Scottish Sea Loch: an example of a pristine environment? *Mar. Pollut. Bull.*, 32: 846-854.
- HAMILTON-TAYLOR, J. & N. PRICE. 1983. The geochemistry of iron and manganese in the waters and sediments of Bolstadfjord, S.W. Norway. *Estuar. Coastal Shelf Sci*, 17: 1-19.
- LANDING, W.M. & S. WESTERLUND. 1988. The solution chemistry of iron(II) in Framvaren Fjord. *Mar. Chem.*, 23: 329-343.
- MÜLLER, A. 2002. Pyritization of iron and trace metals in anoxic fjord sediments (Nordåsvannet fjord, western Norway). *App. Geochem.*, 17: 923-933.
- OVERNELL, J. 2002. Manganese and iron profiles during early diagenesis in Loch Etive, Scotland. *Application of two diagenetic models. Estuar. Coastal Shelf Sci*, 54: 33-44.
- OVERNELL, J., T. BRAND, W. BOURGEOIS & P. STATHAM. 2002. Manganese dynamics in the water column of the Upper Basin of Loch Etive, a Scottish fjord. *Estuar. Coastal Shelf Sci*, 55: 481-492.
- PINTO, L. & C. RIVERA. 2003. Iron and manganese reduction in porewaters of the Bay of Concepción and adjacent continental shelf during the "1997-98 El Niño" event. *J. Chil. Chem. Soc.*, 48: 31-35.
- SILVA, N., C. CALVETE & H. SIEVERS. 1997. Características oceanográficas físicas y químicas de canales australes chilenos entre Puerto Montt y laguna San Rafael (Crucero CIMAR 1 Fiordos). *Cienc. Tecnol. Mar*, 20: 23-106.
- SILVA, N., J. MATORANA, J. I. SEPÚLVEDA & R. AHUMADA. 1998. Materia orgánica, C y N, su distribución y estequiometría, en sedimentos superficiales de la región norte de los fiordos y canales australes de Chile (Crucero CIMAR 1 Fiordos). *Cienc. Tecnol. Mar*, 21: 49-74.
- SORENSEN, J. & B. B. JORGENSEN. 1987. Early diagenesis in sediments from Danish coastal waters: microbial activity and Mn-Fe-S geochemistry. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 51: 1.583-1.590.
- THUMDRUP, B. & D. E. CANFIELD. 1996. Pathways of carbon oxidation in continental margin sediments off central Chile. *Limnol. Oceanog.*, 41: 1.629-1.650.
- VAN CAPPELLEN, P. & Y. WANG. 1996. Cycling of iron and manganese in surface sediments: A general theory. *Amer. J. Sci.*, 296: 197-243.