

Caracterización físico-química de biodepósitos de mejillón en las Rías Baixas (Galicia-NO Península Ibérica)

X. L. OTERO, I. QUINTAS & F. MACÍAS

*Departamento de Edafología e Química Agrícola. Facultade de Biología
Universidade de Santiago de Compostela
E-mail: edajax@usc.es*

(Recibido, junio de 2001. Aceptado, octubre de 2001)

Resumen

OTERO, X.L., QUINTAS, I & MACÍAS, F (2001). Caracterización físico-química de biodepósitos de mejillón en las Rías Baixas (Galicia-NO Península Ibérica). *Nova Acta Científica Compostelana (Biología)*, 11:

En el presente trabajo se ha realizado una caracterización de las principales propiedades físico-químicas de los biodepósitos de mejillón (*Mytilus galloprovincialis*) de las rías de Arousa y Vigo (Galicia-NO Península Ibérica). Los resultados ponen de manifiesto que los biodepósitos se caracterizan por presentar un tamaño de partícula fino, con texturas dominantes franco-arcillosa y franco-arcillo-limosa, reacción alcalina (pH: 7.2-8.0) y condiciones anóxicas, con valores para el potencial redox que oscilaron entre 43 y -396 mV. El C orgánico presentó un porcentaje medio de $3.33\pm 0.58\%$, valores similares a los obtenidos para los fondos de Ría no afectados por los biodepósitos. El N total, con valores medios de $0.31\pm 0.13\%$, presentó una correlación elevada y significativa con el C orgánico ($r= 0.787$, $p>0.001$, $n=47$), lo que parece indicar que el N total está compuesto principalmente por N orgánico. La concentración del S total fue elevada ($1.04\pm 0.58\%$) en relación al contenido de C orgánico (C/S ~ 3.1), resultado que a juzgar por las condiciones Eh-pH, indica la acumulación de piritita en los biodepósitos. No obstante, la oxidación de este mineral así como de otras formas de azufre reducidas no implica una disminución del pH ya que se trata de un material fuertemente tamponado por el alto contenido en carbonato cálcico ($2.45\pm 1.20\%$).

Palabras clave: Mejillón, biodepósitos, condiciones redox, reducción de sulfato, Galicia.

Abstract

OTERO, X.L., QUINTAS, I & MACÍAS, F. Physicochemical characterization of mussel biodeposits in Rías Baixas (Galicia-NW Iberian Peninsula). *Nova Acta Científica Compostelana (Biología)*, 11:

In this study we investigated the main physicochemical properties of mussel (*Mytilus galloprovincialis*) biodeposits in the Arousa and Vigo Rías (Galicia - NW Iberian Peninsula). The biodeposits are characterized by a predominance of fine particles, with clay loam and silty clay loam textures dominating, alkaline pH (7.2-8.0) and anoxic redox conditions (Eh: 43 to -396mV). The average organic C content ($3.33\pm 0.58\%$) is similar to that of bottom sediments from other parts of the Ría unaffected by biodeposits. The total N content (average $0.31\pm 0.135\%$) mainly consists of organic N and the ratio of C/N (~ 10) indicates that the material has not yet been degraded. The concentration of total S was very high ($1.04\pm 0.58\%$), suggesting an accumulation of inorganic forms of sulfur, which judging by the Eh-pH conditions, mainly consists of pyrite. However, oxidation of this mineral and other reduced forms of sulfur does not lead to a decrease in pH because the material is strongly buffered by its high calcium carbonate content ($2.45\pm 1.20\%$).

Key words: Mussel, biodeposits, redox potential, sulfate reduction, Galicia.

INTRODUCCIÓN

La acuicultura ha experimentando un gran desarrollo a nivel mundial en las últimas décadas, situándose en torno al 10% de la producción pesquera mundial y la expectativa es que adquiera una mayor relevancia debido al agotamiento de los recursos pesqueros naturales (ver, p. ej., ACKERFORS, 1988; FÖLKE & KAUTSKY, 1989). La oferta de los productos marinos generados por esta actividad es cada día más amplia, comprendiendo diferentes especies de peces, moluscos y algas. En Europa destaca sobre todo la producción de salmónidos y mejillón. La primera de ellas (principalmente salmón atlántico y trucha arco iris) se realiza en las costas de Europa del Norte (Suecia, Noruega, Dinamarca, Finlandia, Islandia), mientras que en Galicia es el cultivo del mejillón la actividad que lidera este mercado, con una producción anual de 259.000 toneladas que supone el 40 % de la producción total europea y el 97 % de la acuicultura en Galicia.

Con el incremento de la acuicultura se produjo también un aumento de la preocupación por las alteraciones ambientales que esta actividad puede ocasionar sobre el medio marino. En este sentido, estudios previos, realizados tanto en granjas de producción de salmónidos como en explotaciones de mejillón y otros bivalvos, han señalado como principales alteraciones: el incremento de la sedimentación; acumulación en los fondos de cantidades elevadas de materia orgánica; cambios en el metabolismo bentónico transformándose el fondo marino en un medio anóxico; estimulación de la mineralización de la materia orgánica a través de la reducción de sulfatos y/o metanogénesis; incremento de sustancias tóxicas para los organismos bentónicos (p.ej H_2S) y enriquecimiento en nutrientes tanto en sedimentos como en el agua (principalmente N y P), lo que implica una tendencia hacia la eutrofización del sistema.

En el presente trabajo se lleva a cabo una caracterización físico-química de los biodepósitos de mejillón a partir de 7 testigos y 15 muestras superficiales procedentes de las Rías de Arousa y Vigo (SO de Galicia). El objetivo

fundamental es contribuir al conocimiento de la composición y características que definen el comportamiento biogeoquímico del biodepósito generado por el cultivo del mejillón.

MATERIAL Y MÉTODOS

Localización y recogida de las muestras

Los muestreos se realizaron durante el mes de septiembre de 1999 en diferentes sectores de las Rías de Arousa y Vigo según se indica en la Tabla I y Fig. 1. La selección de los puntos de muestreo se realizó teniendo en cuenta su posición dentro de la Ría (interna, media y externa), que además corresponde con diferentes edades de instalación de los polígonos de bateas. Las instalaciones más antiguas son las situadas en la zona interna y media de la ría con más de 20 años, mientras que las externas tienen una antigüedad que oscila entre 5-15 años.

Un segundo muestreo fue realizado en la ría de Vigo en febrero del 2000 en el que se determinó, inmediatamente después de la extracción del biodepósito, el potencial redox y pH. Estas muestras son denominadas RV1 (parte externa de la Ría), RV2 (parte media) y RV3 (parte interna) (Fig. 1).

Las muestras de biodepósito de mejillón y sedimento se cortaron en segmentos de 5 cm de espesor y se conservaron congeladas a $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ hasta su análisis.

MÉTODOS ANALÍTICOS UTILIZADOS

El tamaño de partícula se determinó por el método de la pipeta a partir de la muestra tamizada por 2 mm según indican GEE & BAUDER (1986), diferenciando arcillas, limo grueso, limo fino, arena gruesa y arena fina según los tamaños establecidos por el SOIL SURVEY STAFF (1975). El pH y Eh se determinaron inmediatamente después de ser extraído el testigo. Los valores de Eh fueron medidos con un electrodo de platino cuando la fluctuación de la lectura fue inferior a

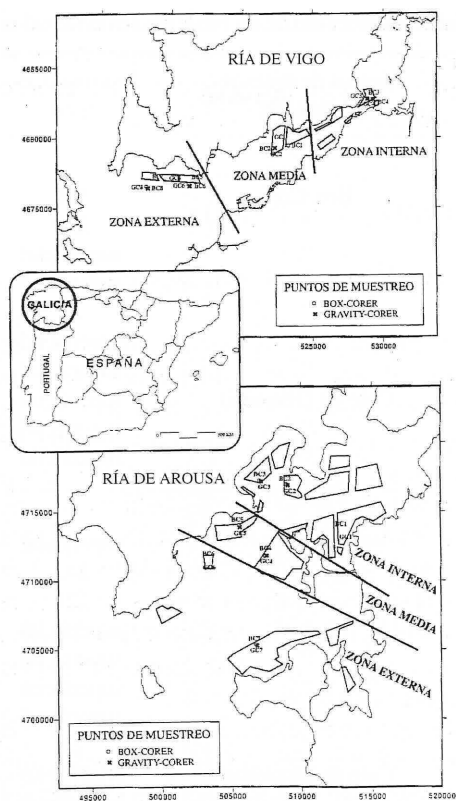


Fig. 1. Localización de la zona de estudio y situación de los puntos de muestreo en las Rías de Arousa y Vigo.

2 mV min⁻¹. El valor obtenido fue corregido añadiendo el potencial del electrodo de referencia respecto al electrodo estándar de hidrógeno (244 mV). Carbono total, C inorgánico y N total fueron determinados en un autoanalizador Leco CSN-1000. El C orgánico se obtuvo por diferencia entre el C total y el inorgánico, mientras que el S total se determinó con autoanalizador Leco S-C 144DR.

La incubación del biodepósito procedente del testigo BCV2 (20-80 cm de profundidad) en condiciones óxicas se realizó a partir de 80 g de material fresco al que se le añadieron 400 ml de agua de la Ría de Arousa y se mantuvo en agitación continua durante 13 días. Dos días antes de finalizar la incubación (día nº 11) se le

añadió a la suspensión 60 mL de H₂O₂ al 30% a pH 5.5. A diferentes intervalos de tiempo (t= 0, 1, 2, 4, 6, 24 horas y 2, 3, 4, 6, 8, 11 -4 horas después de añadir H₂O₂- y 13 días) se determinó en la suspensión el pH y el potencial redox. Además, se extrajeron 30 ml de la suspensión en la cual se analizaron por espectrofotometría de absorción atómica el Ca y el Fe disueltos, previa filtración por 0.45 µm (Millipore).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Composición granulométrica

El análisis granulométrico pone de manifiesto que en la mayor parte de las muestras predomina la fracción arcilla (20-50%) y limo (20-40%). En algunos casos, la fracción arena fina puede alcanzar porcentajes considerables (10-50%), sobre todo en las muestras procedentes de la parte más externa de la Ría (Fig. 2). En base a estos resultados las clases texturales más frecuentes fueron la franco-arcillosa y la franco-arcillo-limosa. No obstante hay que destacar la existencia de una amplia variación, oscilando entre texturas gruesas como la arenosa o franco-arenosa a finas como la franco-limosa. En la Ría de Vigo hay que destacar la existencia de una cierta zonación en la distribución del tamaño de partícula, encontrándose las texturas más finas en la zona media e interna de la Ría y las más arenosas en la externa (Fig. 2). El fondo cerrado de esta Ría favorece la sedimentación de las partículas finas, mientras que en la parte externa el flujo de salida del agua puede impedir su acumulación.

Por otra parte, en los estudios realizados hasta la fecha en Galicia sobre los biodepósitos de mejillón (ver p.ej. MACÍAS *et al.*, 1991; COLLAZO *et al.*, 1995) se ha puesto de manifiesto que las heces y pseudoheces están compuestas por partículas muy finas (textura tipo arcillosa o limosa muy fina), lo cual significa que a estos biodepósitos se han incorporado cantidades importantes de otros materiales de tamaño arena (principalmente arena fina). Estos materiales

TABLA I. Localización, técnica de muestreo utilizada y profundidad de las muestras de los biodepositos estudiados

Punto de muestreo	Longitud (UTM)	Latitud (UTM)	Técnica de muestreo empleada	Profundidad (cm)
Ría de Arousa				
BCAR1	512972.945	4713634.16	Box Core	150
BCAR2	508969.093	4716864.76	“	250
BCAR3	507049.163	4717182.73	“	superficial
BCAR4	507467.897	4711740.17	“	superficial
BCAR5	505569.75	4713929.65	“	16
BCAR6	503370.17	4711374.24	“	superficial
BCAR7	506747.603	4705293.42	“	superficial
GCAR1	523365.044	4679936.08	Core de Gravedad	superficial
GCAR2	522319.824	4679257.2	“	superficial
GCAR5	515957.29	4677150.5	“	superficial
Ría de Vigo				
BCV1	523353.071	4679403.05	Box core	superficial
BCV2	522296.585	4679216.41	“	242
BCV3	528968.31	4682757	“	121
BCV4	529399.916	4682714.38	“	superficial
BCV5	515923.078	4677078.25	“	superficial
BCV6	516183.942	4676653.2	“	superficial
BCV7	513363.817	4677226.52	“	superficial
BCV8	513209.879	4676460.08	“	21
GCV2	522319.824	4679257.2	Core de Gravedad	superficial
GCV3	528940.709	4682786.5	“	superficial
GCV8	513231.931	4676434.21	“	superficial

Superficial: 0-5 cm

pueden tener un origen continental o puede tratarse de restos de las propias conchas de mejillón.

pH y potencial redox

El pH osciló entre 7.2–8.0 según se indica en la Tabla II, correspondiendo los valores más

bajos a la parte más superficial del biodeposito (0-5 cm). Estos resultados pueden ser consecuencia de la oxidación de las formas más lábiles de los sulfuros metálicos (p.ej. monosulfuros de Fe amorfo, mackinawita) o de la pirita, abundante en el biodeposito según se puso de manifiesto en un trabajo previo (MACÍAS & MORA, 2001). En este sentido, la bioperturbación generada por la fauna o por las turbulencias puede favorecer la

TABLA II. Variación de las condiciones de pH y potencial redox (Eh) obtenidos para la totalidad de los biodepositos

Ría	Intervalo pH	pH más frecuente	Intervalo Eh	Intervalo Eh > 10 cm
Arousa	7.4-7.9	7.8	-29/-380	-84/-396
Vigo	7.2-8.0	7.8	43/-396	-150/-396

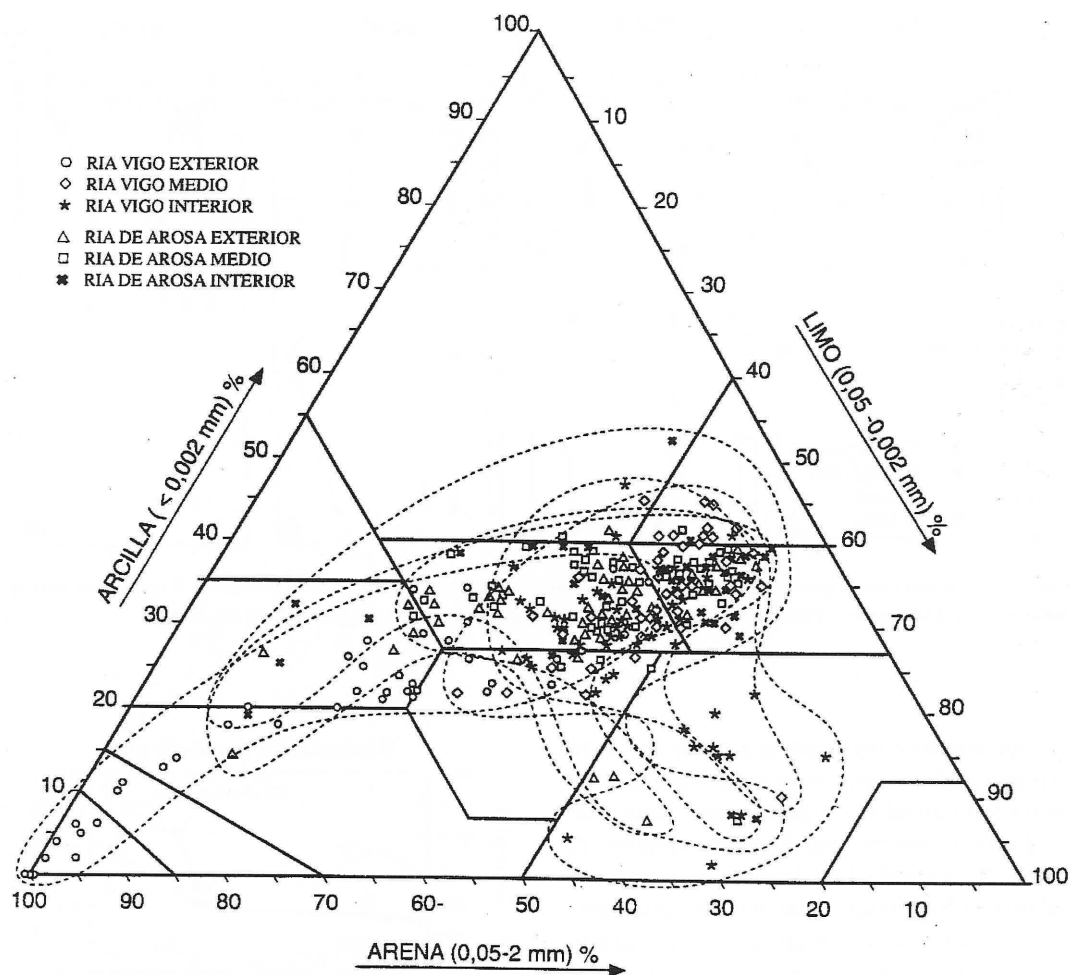
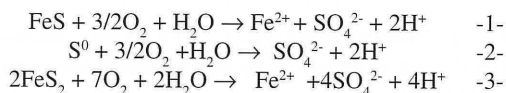


Fig. 2. Clases texturales obtenidas para los biodepositos y sedimentos según el Soil Survey Staff (1975).

entrada de agua rica en oxígeno que produce la oxidación de las formas reducidas de azufre según las reacciones (1) (2) y (3).



A pesar de la liberación de protones asociada a las reacciones anteriores, este tipo de material se encuentra fuertemente tamponado por su alto contenido en carbonato cálcico (Fig. 3), impidiendo un descenso brusco del pH. Esta idea se

apoya en los resultados obtenidos para la incubación del biodeposito, el cual después de estar durante 8 días en condiciones óxicas (Eh >350 mV) mantuvo el pH de la suspensión en valores superiores a 7, incluso después de provocar la oxidación forzada de los sulfuros metálicos y de la materia orgánica añadiendo H₂O₂ (Fig. 4). La Fig. 4 muestra también que la concentración de Fe experimenta un incremento en las primeras horas de incubación, presumiblemente atribuidas a la oxidación de los sulfuros de Fe más lábiles. Posteriormente su concentración se reduce y luego se mantiene constante,

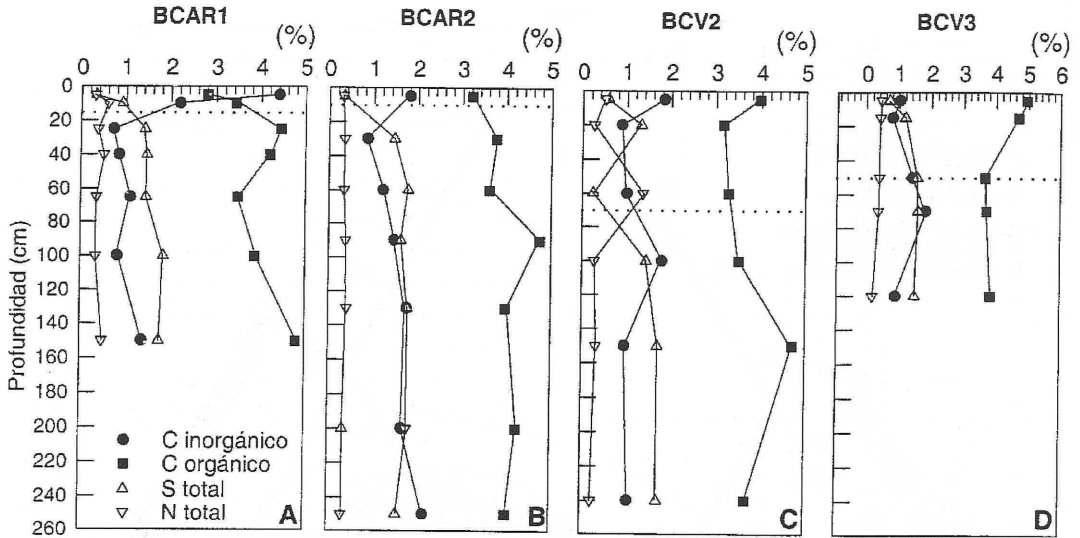


Fig. 3. Variación con la profundidad del contenido de C orgánico, C inorgánico, N total y S total. Las líneas horizontales discontinuas establecen el límite inferior del biodepósito de mejillón (VILAS, 2001).

incrementándose ligeramente a partir del sexto día, presumiblemente como consecuencia de la oxidación parcial de la pirita cuya cinética de oxidación es mucho más lenta. Finalmente, el aporte de peróxido de hidrógeno le confiere al medio una mayor capacidad oxidante que implica la oxidación de las formas reducidas de azufre más estables (principalmente pirita) y también de la materia orgánica. La oxidación de la pirita se pone de manifiesto con la disminución del pH y el incremento del Fe disuelto obtenido en las primeras horas. Sin embargo, al cabo de dos días los valores de pH vuelven a mostrar las condiciones iniciales debido al efecto tamponante del carbonato. Esta idea se apoya en el notable incremento registrado para el Ca en disolución (Fig. 4).

Las condiciones redox obtenidas para los biodepósitos y sedimentos correspondieron en todos los casos a ambientes anóxicos, con un potencial redox que osciló entre 43 y -396 mV (Tabla II, Fig. 5), situándose en la mayor parte de los casos entre -150 y -300 mV. En estas condiciones en el agua intersticial no existe oxígeno

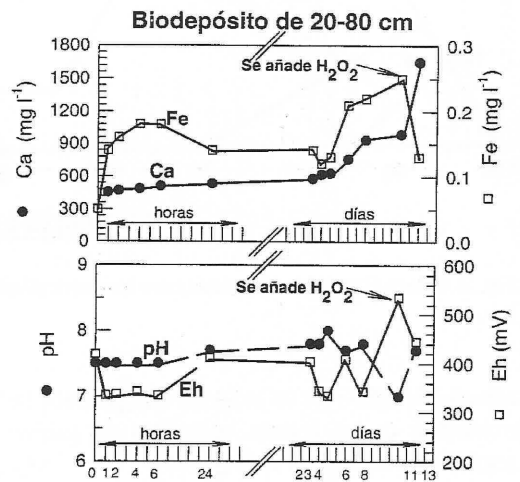


Fig. 4. Potencial redox, pH, Ca y Fe disuelto obtenidos durante el periodo de la incubación del biodepósito de mejillón.

molecular, los oxihidróxidos de Fe y Mn han sido reducidos; permaneciendo sólo formas refractarias no biodisponibles para los

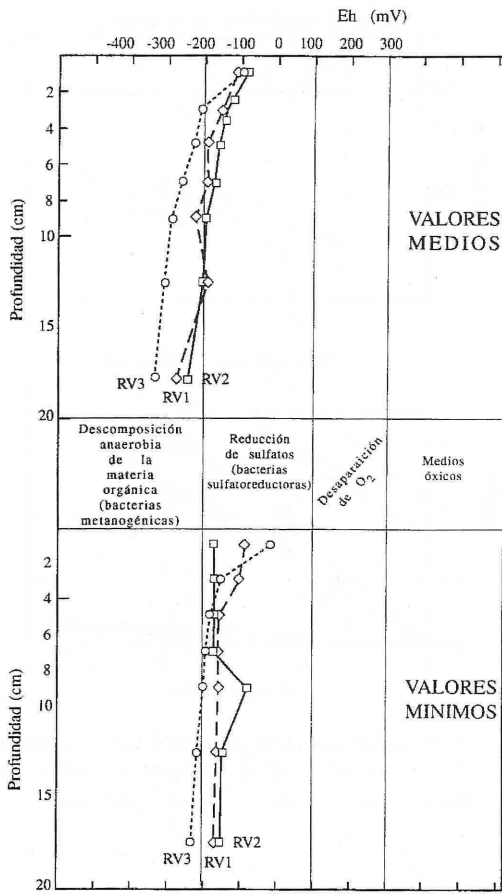


Fig. 5. Variación del potencial redox con la profundidad en biodepositos de la Ría de Vigo. RV1: sector externo; RV2: sector medio; RV3: sector interno de la Ría.

microorganismos y, por tanto, la materia orgánica es mineralizada utilizando como aceptor de electrones el sulfato y el dióxido de carbono (CONNELL & PATRICK, 1968; MITSCH & GOSSELINK, 1993), según se refleja en la Fig. 6. La reducción del sulfato ocurre fundamentalmente a valores de Eh comprendidos entre -75 y -200 mV, mientras que la metanogénesis se produce para valores de Eh inferiores a -200 mV (MITSCH & GOSSELINK, 1993). Trabajos previos también apoyan esta interpretación de las condiciones redox. Así, GARCÍA-FERNÁNDEZ & IGLESIAS (1983) encuentran tasas de reducción de sulfato elevadas, sobre todo en la parte más superficial de los biodepositos, mientras que MACÍAS & MORA (2001) determinan concentraciones elevadas de pirita y, en menor medida, de S elemental y sulfuros metálicos lábiles (tipo mackinawita o greigita). Por otra parte, utilizando registros de Sonar Lateral de Barrido (SLB) y de Sísmica de Alta Resolución (SAR) se han detectados bolsas de gas somero que bien podrían corresponder a bolsas de metano (VILAS, 2001).

Contenido en C orgánico, C inorgánico, N total, S total

El contenido de C orgánico presentó un valor medio de $3.22 \pm 0.58\%$ ($n=47$), situándose la mayoría de las muestras entre 3-5% (Fig. 3), valores similares a los encontrados en otros

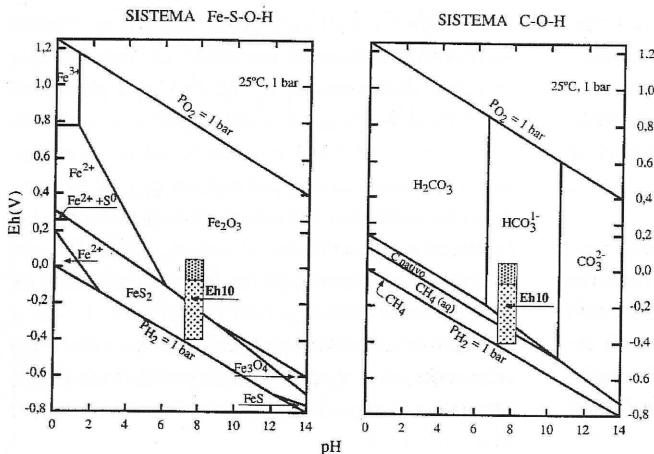


Fig. 6. Campos de estabilidad en función de las condiciones Eh-pH para los sistemas Fe-O-S y C-O-H (modificado de Brookins, 1987). Eh10: potencial redox del biodeposito por debajo de los 10 cm de profundidad.

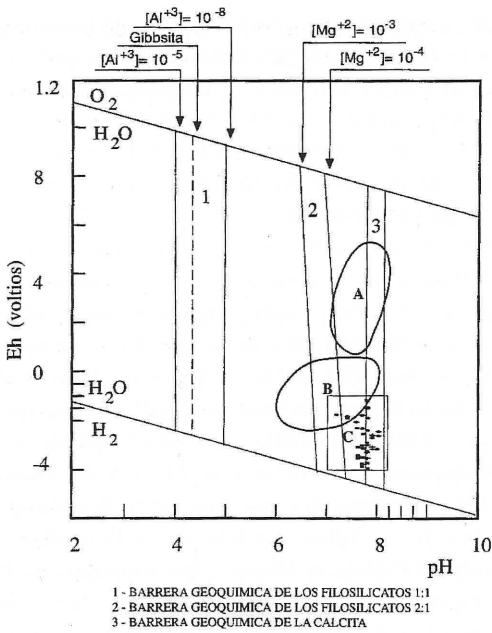


Fig. 7. Estabilidad mineral en función de las condiciones Eh-pH y comparación de las condiciones Eh-pH de los biodepositos (C) con las de los sedimentos de estuario de Galicia en condiciones oxidantes (A) y reductoras (B) (tomado de Macías & Calvo, 1988).

trabajos (JARAMILLO *et al.*, 1992) y que resultan relativamente elevados para un material sedimentario de un fondo marino. No obstante, fueron similares a los encontrados en sedimentos de Ría aparentemente no afectados por los biodepositos de mejillón (MACÍAS & CALVO, 1988; MARCET *et al.*, 1995). Otro aspecto que también afecta al contenido de C orgánico es la posición del polígono. Al igual que con las fracciones más finas del sedimento, los valores más bajos se encontraron en las instalaciones situadas en la parte más externa de la Ría.

El C inorgánico presentó un porcentaje medio de $2.45 \pm 1.20\%$, obteniéndose las mayores concentraciones a la parte más superficial con porcentajes que pueden alcanzar valores del orden del 4.5% (Fig. 3A) y que en general corresponden a la parte del testigo constituida por biodepositos recientes de mejillón. Los porcen-

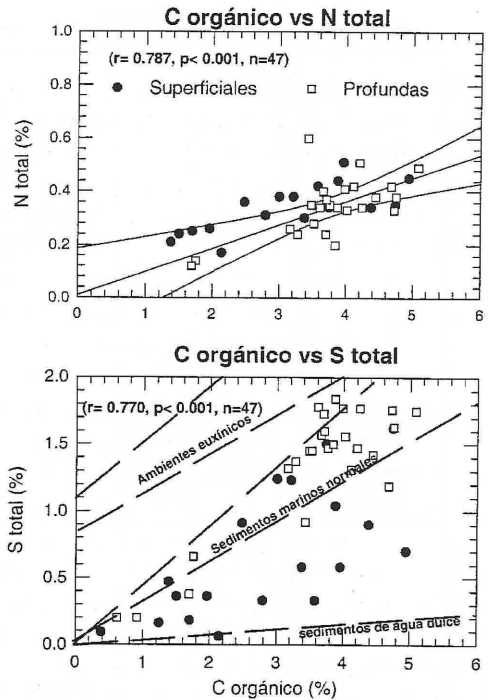
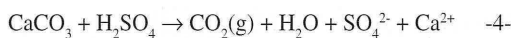


Fig. 8. Relación entre C orgánico/N total y C orgánico/S total (modificado de Leventhal, 1995) en biodepositos superficiales (0-5 cm) y profundos.

tajes más reducidos se han encontrado por debajo de la capa superficial y en profundidad, resultados que pueden tener su explicación en las condiciones geoquímicas del biodeposito y sedimento. En condiciones fuertemente reducidas y pH inferior a 8 el carbonato cálcico se vuelve termodinámicamente inestable de manera que tiende a disolverse (Fig. 7). Por otra parte, los biodepositos pueden estar sujetos a cambios estacionales en las condiciones redox, alternando eventos oxidantes con reductores, tal y como se ha encontrado en biodepositos de salmón en el Norte de Europa (HARGRAVE *et al.*, 1993). En este sentido, la oxidación de las formas reducidas de azufre libera protones (ver reacciones -1-, -2- y -3-) que favorece la disolución de los carbonatos (reacción -4-), según se ha puesto de manifiesto durante el proceso de incubación anteriormente discutido (Fig. 4).



El contenido de N total medio fue de $0.31 \pm 0.13\%$ (Fig. 3), similares a los encontrados en el biodepósito de otras especies de mejillón (JARAMILLO *et al.*, 1992). La elevada y significativa correlación encontrada entre en el N total y el C orgánico ($r = 0.787$; $p < 0.001$, $n = 47$; Fig. 8) parece indicar que el nitrógeno presente es fundamentalmente orgánico. La relación C/N media fue de 10.4 ± 1.25 que corresponde a un material rico en nitrógeno, característico de la materia orgánica que ha sido recientemente depositada en el fondo marino y por tanto aún poco degradada (RULLKÖTTER, 2000).

Los valores de S total presentan un valor medio de $1.04 \pm 0.58\%$ (Fig. 3). La relación Corg/Stotal es del orden de 3.1, lo que indica una elevada concentración de S. La correlación positiva y altamente significativa entre el C orgánico y el S total no supone necesariamente, a diferencia del N, que el S orgánico sea la principal fracción del S total (Fig. 8). Resultados similares se han encontrado en otros trabajos y es consecuencia de que en los fondos marinos la materia orgánica reactiva es el principal limitante de la actividad de las bacterias reductoras de sulfato. Por consiguiente, la acumulación de formas inorgánicas de azufre (principalmente piritita) depende directamente de la cantidad de materia orgánica no refractaria presente en el sedimento (BERNER, 1970, 1984; LEVENTHAL, 1995). En este sentido, la representación C orgánico vs S total contribuye a poner de manifiesto la intensidad de los procesos de reducción de sulfato y la acumulación de S inorgánico en los biodepósitos. En la Fig. 8 se puede observar que buena parte de las muestras profundas se sitúan en el campo propio de los sedimentos marinos normales; que son aquellos que presentan una capa de agua óxica pero que se hacen anóxicos a pocos cm de profundidad y donde se acumulan cantidades importantes de S inorgánico (BERNER, 1970). Incluso algunas muestras de la zona más profundas se acercan al sector propio de ambientes euxínicos. Esta interpretación se apoya también en las elevadas concentraciones obtenidas por MACÍAS &

MORA (2001) para la concentración de S piritítico en estos biodepósitos (biodepósitos superficiales -0-5 cm-: $0.62 \pm 0.48\%$; biodepósito profundo: $1.73 \pm 0.38\%$).

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos han puesto de manifiesto que los biodepósitos están constituidos por materiales de textura fina (arcillosa o limosa fina) pero que al mezclarse con material sedimentario da origen a texturas más gruesas. Los parámetros físico-químicos que mejor caracterizan a este tipo de materiales son: su bajo potencial redox, mostrando condiciones fuertemente reducidas, reacción alcalina y alto contenido de S total en relación al contenido de C orgánico.

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo forma parte de un estudio más amplio titulado Procesos Biogeoquímicos y Comunidades Bentónicas en Fondos de Rías bajo Bateas de Mejillón (Subprograma 4) financiado por la Consellería de Pesca de la Xunta de Galicia. A María José Santiso, Eva Buján y Javier Camino por su colaboración en los análisis de laboratorio.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACKEFORS, H. (1988). The food resources of the world. *In: The Stockholm Group for Studies on Natural Resources Management (Eds.), Perspectives of Sustainable Development. Stockholm Studies in Natural Resources Management n° 1: 85-95.* Department of Natural Resources Management, University of Stockholm, Sweden.
- BERNER, R.A. (1970). Sedimentary pyrite formation. *Amer. J. Sci.*, **268**: 1-23.
- BERNER, R.A. (1984). Sedimentary pyrite formation: an update. *Geochem. Cosmochem. Acta.*, **48**: 605-615.

- BROOKINS, D.G. (1987). *Eh-pH diagrams for geochemistry*. Springer, Berlin.
- COLLAZO, J.L., TILVES, F. & PASCUAL, C. (1995). Biodepositación del mejillón cultivado en la Rías de Arousa: Aportes de materia orgánica al medio. *Actas V Congreso Nacional de Acuicultura*: 923-928. Sant Carles de la Ràpita.
- CONNELL, W.E. & W.H. PATRICK, jr. (1968). Sulfate reduction in soil: effects of redox potential and pH. *Science*, **159**: 86-89.
- FOLKE, C & KAUSTSKY, N. (1989). The role of ecosystems for a sustainable development of aquaculture. *Ambio*, **18**:234242.
- GARCÍA-FERNÁNDEZ, C. & IGLESIAS, M.L. (1983). Geoquímica de los sedimentos marinos situados debajo de un polígono de bateas: tasa de sulfato-reducción. *Cuadernos da Area de Ciencias mariñas, Seminario de Estudos Galegos*, **1**: 67-77.
- GEE, G.W. & BAUDER, J.W. (1986). Particle-size analysis. In: Klute, A. (Ed.), *Methods of Soil Analysis Part I.-Physical and Mineralogical Methods*: 383-411. American Society of Agronomy, Inc. & Soils Science of America. Madison-Wisconsin, USA.
- HARGRAVE, B.T., DUPLISEA, D.E., PFEIFFER, E. & WILDISH, D.J. (1993). Seasonal changes in benthic fluxes of dissolved oxygen and ammonium associated with marine cultured Atlantic salmon. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **96**: 249-257.
- JARAMILLO, E., BERTRÁN, C. & BRAVO, A. (1992). Mussel biodeposition in an estuary in southern Chile. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **82**: 85-94.
- LEVENTHAL, J. S. (1995). Carbon-sulfur plots to show diagenetic and epigenetic sulfidation in sediments. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **59**: 1207-1211.
- MACÍAS, F. & CALVO, R. (1988). Arcillas y limos de los sedimentos actuales de las Rías de Galicia. *Geociencias*, **3**: 179-187.
- MACÍAS, F., FERNÁNDEZ DE LANDA, J.L.A. & CALVO, R. (1991). Composición química y mineralógica de biodepósitos bajo bateas de mejillón. Datos para la evaluación de su uso como fertilizante y/o enmendante de suelos de Galicia. *Thalassas*, **9**: 23-29.
- MACÍAS, F. & MORA, J. (Coordinadores) (2001). *Procesos biogeoquímicos y comunidades bentónicas en fondos de Rías bajo bateas de mejillón (Subproyecto 4)*. Laboratorio de Tecnología Ambiental del Instituto de Investigaciones Tecnológicas. Universidad de Santiago de Compostela. Xunta de Galicia. (Informe inédito).
- MAR CET, P., ANDRADE, M.L. & VILAS, F. (1995). Contenidos de N, P y materia orgánica en sedimentos someros de la Ría de Vigo. *Thalassas*, **11**: 47-57.
- MITSCHEW, W.J. & GOSSELINK, J. G. (1993). *Wetlands*. Van Nostrand Reinhold, New York.
- RULLKÖTTER, J. (2000). Organic matter the driving force for diagenesis. In: Schulz, H.D. & Zabel, M. (Eds.), *Marine geochemistry*: 129-167. Springer, Berlin.
- SOIL SURVEY STAFF (1975). *Soil Taxonomy*. USDA. Handb. 436. U.S. Government Printing Office, Washington D.C.
- VILAS, F. (Coordinador) (2001). *Composición, dinámica y efectos de los biodepósitos del cultivo de mejillón en las Rías de Galicia. Evaluación de las alternativas de gestión de los biodepósitos (Subproyectos 1, 2, 3)*. Departamento de Xeociencias Mariñas de la Universidad de Vigo, Instituto de Investigacións Mariñas (CSIC) e Instituto Español de Oceanografía (MAPA). Xunta de Galicia. (Informe inédito).