



BOLETÍN

INSTITUTO DEL MAR DEL PERÚ

ISSN 0458 - 7766

Volumen 26, Números 1 y 2

CONCIMAR Perú



II Congreso de Ciencias del Mar del Perú
Piura, Perú. Del 24 al 28 de mayo 2010



Enero - Diciembre 2011

Callao, Perú

Características geoquímicas de sedimentos del perfil Callao, Octubre 2008

Profile sediment cores geochemical characteristics Callao, October 2008

JUANA SOLÍS
ERNESTO FERNÁNDEZ

FEDERICO VELAZCO
WILSON CARHUAPOMA

Laboratorio de Paleoceanografía. DIO. IMARPE

Resumen

SOLÍS J, VELAZCO F, FERNÁNDEZ E, CARHUAPOMA W. 2011. *Características geoquímicas de sedimentos del perfil Callao, Octubre 2008. Bol Inst Mar Perú* 26(1-2): 25-31.- Se determinó la tendencia y variabilidad vertical de las características geoquímicas de los sedimentos y del agua intersticial en los primeros 10 cm superficiales de dos testigos de Callao, colectados en dos estaciones del perfil Callao, durante el Crucero MINIOX BIC Olaya 0810: (1) E-2, a 8 mn de la costa y 98 m de profundidad, donde la materia orgánica presentó un amplio rango de variabilidad (4,75% a 56,34%) y una tendencia al incremento con la profundización del perfil vertical, al existir condiciones geoquímicas que favorecen una mayor preservación de la materia orgánica y una lenta remineralización; y (2) E-5, a 30 mn de la costa y 178 m de profundidad, donde la materia orgánica presentó una distribución más homogénea en el perfil vertical (30,72% a 36,17%). Las elevadas correlaciones ($r > 0,7$) de la materia orgánica total con el carbono orgánico total, así como con los fosfatos y los silicatos en sedimentos superficiales indican que la materia orgánica gobierna parcialmente las concentraciones de carbono y fósforo. La variabilidad en la conducta de distribución de las concentraciones de metales Redox sensitivos en los sedimentos recientes, está asociada a condiciones anóxicas y a la intensa actividad sulfato reductora característica en la zona de estudio.

PALABRAS CLAVE: biogeoquímica, sedimentos, materia orgánica, metales Redox, Callao, Perú.

Abstract

SOLÍS J, VELAZCO F, FERNÁNDEZ E, CARHUAPOMA W. 2011. *Profile sediment cores geochemical characteristics Callao, October 2008. Bol Inst Mar Perú* 26 (1-2): 25-31.- We determined the trend and vertical variability of the geochemical characteristics of sediments and interstitial water in the first 10 cm of two sediment cores from Callao, collected in two stations of the Callao profile, during the Research Cruise BIC Olaya MINIOX 0810: (1) E-2, at 8 nm from the coast and 98 m in depth, where organic matter showed a wide range of variability (4.75% to 56.34%) and a tendency to increase along with the depth of the vertical profile, as there were geochemical conditions to favor the preservation of organic matter and slowing down the process of remineralization; and (2) E-5, 30 nm off the coast and 178 m in depth, where organic matter showed a more homogeneous distribution in the vertical profile (30.72% to 36.17%). The high correlations ($r > 0.7$) of total organic matter with total organic carbon, as well as with phosphates and silicates in surface sediments, indicate that organic matter partially dominates concentrations of carbon and phosphorus. The variability in the distribution pattern of Redox-sensitive metal concentrations in recent sediments is associated to anoxic conditions and the intense sulfate-reduction activity typical in the area of study.

KEYWORDS: biogeochemistry, sediment, organic matter, Redox metals, Callao, Perú.

Introducción

Los procesos biológicos involucrados en los grandes ciclos biogeoquímicos, están directamente relacionados a la escasez de los oligoelementos, que son elementos químicos, inorgánicos, esenciales que permiten procesos biogeoquímicos como fijación de carbono inorgánico, respiración de carbono orgánico o transformación de nitrógeno, que explican cómo los ciclos de los oligoelementos están críticamente vinculados a los principales nutrientes como el carbono (C), nitrógeno (N) y fósforo (P). Los microorganismos (bacterias y otros) promueven la descomposición al liberar iones fosfato (NILSEN y DELANEY 2005), que

causan una acidificación del agua intersticial de los sedimentos, y promueven la disolución de los carbonatos. El fosfato liberado se forma preferentemente en la interfase carbono/microorganismos.

Las características biogeoquímicas del agua intersticial están directamente relacionadas a la presencia de los elementos trazas, que forman los oligoelementos, que participan en las funciones biológicas, actúan como activadores y se encuentran en cantidades muy reducidas como el Molibdeno (Mo). Hay un grupo de elementos cuya valencia no cambia pero bajo condiciones anóxicas forman sulfuros como el Cadmio (Cd) y el Níquel (Ni). El material orgánico que entra en las aguas costeras es sometido a degradación en la

medida que decanta. Una vez en el fondo, el sedimento es sometido nuevamente a descomposición siendo sujeto a una serie de reacciones diagenéticas, las que pueden liberar o fijar elementos y compuestos en el agua intersticial y, desde ésta, a la columna de agua suprayacente (BERNER 1980, KLUMP y MARTENS 1987, FARIAS et al. 1995, 1996). Diversos factores, como producción primaria, aporte de material alóctono, profundidad de la columna de agua, tasas de sedimentación, bioperturbación y concentración de oxígeno disuelto, son responsables por la cantidad, distribución vertical y composición química de la materia orgánica y de la variabilidad en las características geoquímicas de los sedimentos y del agua intersticial retenida en los poros.

Material y métodos

Las muestras analizadas corresponden a dos testigos de sedimentos colectados durante el desarrollo del Crucero MINIOX BIC Olaya 0810. Las muestras se colectaron con un Multicore (MUC) en la zona del perfil Callao en las posiciones E-2 ($12^{\circ}02,884'S$ y $77^{\circ}17,141'W$) a 98 m de profundidad y en la posición E-5 ($12^{\circ}02,399'S$ y $77^{\circ}39,138'W$) a 178 m de profundidad, la primera considerada como zona micróxica y la más alejada como zona anóxica (Fig. 1).

En el laboratorio de Geología Marina del IMARPE, se analizaron 20 submuestras de sedimentos y 12 muestras de agua intersticial (extraída de los poros de los sedimentos), correspondientes a los primeros 10 cm de dos testigos de sedimentos colectados en las estaciones E-2 y E-5 del perfil Callao. Las muestras de sedimentos se cortaron cada 1,0 cm de espesor con sus respectivas réplicas (Fig. 2); el agua intersticial se colectó cada 1 cm, los primeros 5 cm y la sección de 5-10 cm como una sola (Fig. 3).

Los análisis de materia orgánica total y carbonatos totales, se realizaron en la matriz sedimento, mediante el método de pérdida de peso por ignición, según DEAN (1974). El carbono orgánico se determinó por la técnica de titulación por retroceso de GAUDETTE et al. (1974). Para determinar los fosfatos y silicatos en agua intersticial, se aplicó el método colorimétrico descrito por STRICKLAND y PARSONS (1968), modificado por PRESLEY (1971) y por GIESKES y PERESTMAN (1986) y el Manual para Agua Intersticial (ODP, Leg 102 y 201).

Para determinar la variabilidad Redox sensitiva de los metales se aplicó el método EPA 3052A (modificado) basado en la acidificación, digestión y lectura con ICP-AES, (el tratamiento y análisis de la muestra se realizó durante la estadía en Brasil, IMARPE-IRD-UFF-11/200).

Los análisis granulométricos y textura sedimentaria se realizaron mediante el método para sedimentos no consolidados de FOLK y WARD (1957), a través de un

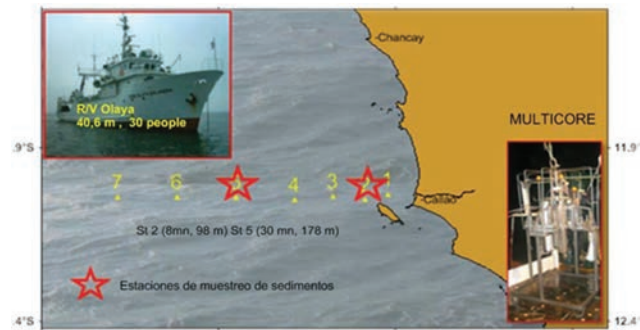


Figura 1.- Carta de Posiciones Perfil Callao. Cr. MINIOX 0810



Figura 2.- Submuestreo sedimento



Figura 3.- Colecta de agua intersticial

contador láser de partículas en medio acuoso (CILAS 116); los resultados se interpolaron según el programa estadístico y gráfico GRADISTAT 4.0.

Tabla 1.- Resultados Geoquímicos de la Matriz, Estaciones E2 y E5 del Perfil Callao, 0810. Equipo de Muestreo: Multicore(MUC)

Est.	Datos de muestreo				Sedimentos				Metales redox			Agua intersticial		
	Fecha	Prof.(m)	Latitud	Longitud	Sección (cm)	Humedad (%)	MOT (%)	COT (%)	Cd mg/kg	Ni mg/kg	Mo mg/kg	Sección (cm)	PO4 (µmol)	SiO3 (µmol)
2	08/10/2008	98	12°02,884'	77°17,141'	0-1	85,55	4,75	3,24	23	17	39	0-1	7,20	370,30
					1-2	83,06	15,50	2,82	19	17	30	1-2	35,82	344,86
					2-3	80,00	19,48	2,99	22	17	31	2-3	59,49	336,10
					3-4	79,39	14,21	3,08	23	18	34	3-4	67,72	281,15
					4-5	75,74	13,09	2,65	20	17	29	4-5	78,02	267,15
					5-6	81,71	13,98	3,12	18	17	34	5-10	80,31	430,81
					6-7	77,08	14,24	1,77	22	18	37			
					7-8	75,40	13,91	2,49	28	20	46			
					7-8	73,90	13,99	2,87	33	22	57			
					5-10	75,36	56,34	4,68	33	21	63			
5	08/10/2008	178	12° 02,399'	77° 39,138'	0-1	84,85	32,91	5,35	51	61	35	0-1	86,25	351,06
					1-2	82,63	32,31	4,36	56	67	27	1-2	75,96	593,30
					2-3	82,47	31,99	4,40	53	62	26	2-3	73,90	823,34
					3-4	84,20	32,26	5,44	50	57	36	3-4	87,49	640,97
					4-5	86,27	33,23	6,26	53	62	28	4-5	94,49	632,63
					5-6	83,46	32,59	4,85	48	60	34	5-10	110,95	665,13
					6-7	80,93	36,17	5,60	52	64	41			
					7-8	80,53	31,52	6,00	53	65	53			
					7-8	83,26	31,12	4,51	51	65	60			
					5-10	84,22	30,72	4,85	42	53	66			

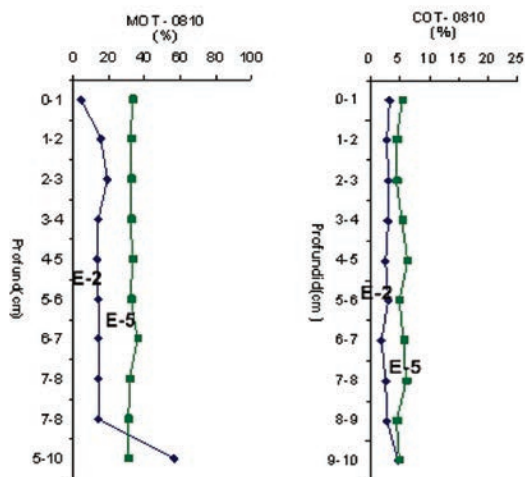


Figura 4.- Distribución de MOT y COT. Cr. MINIOX 0810

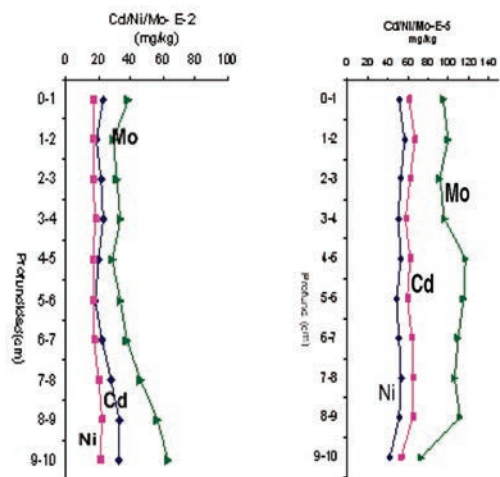


Figura 5.- Distribución de metales Redox Sensitivos Cd/Ni/Mo. Cr. MINIOX 0810

Resultados

Con diferencias en intensidad y variabilidad entre testigos y entre la profundidad de las muestras (dentro del perfil de 10 cm), en términos generales, se observó una tendencia ascendente en la concentración de la mayoría de los parámetros analizados coincidente con la profundización de la muestra (Tabla 1).

MATERIA ORGÁNICA TOTAL (MOT) Y CARBONO ORGÁNICO TOTAL (COT)

A lo largo de la sección de sedimentos analizada correspondiente al Testigo E-2, se halló que los contenidos de MOT variaron de 4,75% a 56,34%; el testigo E-5

mostró una distribución de MOT homogénea (30,72% a 36,17%). Menores valores de MOT corresponden a la presencia de partículas de mayor tamaño como arena; y los porcentajes más altos de MOT responden al dominio de partículas más finas como arcilla y limo.

Los sedimentos del Testigo E-2 muestran valores de COT que variaron de 1,77% a 4,68%, valores considerados menores a los hallados en el testigo E-5 que fluctuaron entre 4,36% y 6,26%. En la estación más alejada de la bahía la entrada de material orgánico a los sedimentos se debe principalmente a procesos naturales de surgencia (Tabla 1, Fig. 4).

METALES REDOX SENSITIVOS (OLIGOELEMENTOS)

Las concentraciones halladas de metales Redox sen-

Tabla 2.- Coeficiente de correlación de Parsons para los parámetros geoquímicos en E-2 y E-5 (en negrita las correlación significativa >0,5). Cr. Miniox 0810

	Humedad	MOT	COT	Cd	Ni	Mo	PO4	SiO3
Humedad	10000							
MOT	0,1594	10000						
COT	0,5595	0,7619	10000					
Cd	0,4601	0,6938	0,8565	10000				
Ni	0,5694	0,6315	0,8533	0,9760	10000			
Mo	-0,2820	0,3006	0,1440	0,0943	0,0329	10000		
PO4	-0,0432	0,7419	0,5988	0,5806	0,6208	-0,2627	10000	
SiO3	0,4671	0,7352	0,6666	0,7824	0,7924	-0,3494	0,4588	10000

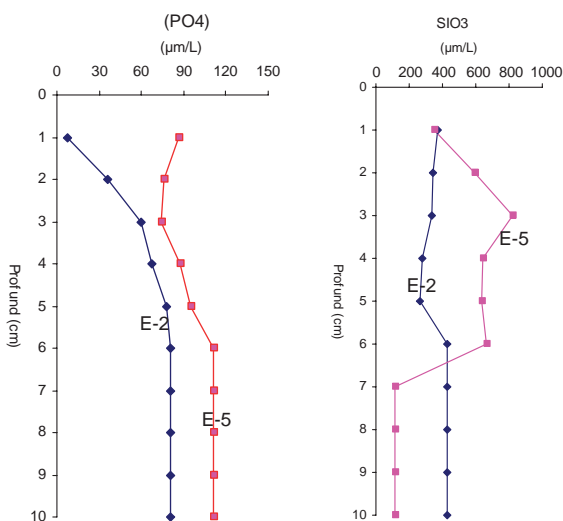


Figura 6.- Distribución de fosfatos y silicatos en Agua Intersticial. Cr. Miniox 0810

sitivos (Mo, Ni y Cd) para la estación E-2 muestran una buena correlación >0,7 en relación entre sí (Tabla 2). La conducta de distribución de Ni y Cd, conforme se profundizan, son muy similares entre sí; esto se observa en las secciones de 4-5 cm y de 5-6 cm, ya que la tendencia de distribución es la misma. El Mo se incrementa sensiblemente entre los 4 a 10 cm en la E-2. En la E-5, Ni y Cd muestran una tendencia de distribución muy similar; el Mo sí muestra una variabilidad creciente considerando que se localiza fuera de las 50 mn de la costa (Fig. 5).

FOSFATOS Y SILICATOS (AGUA INTERSTICIAL)

En el agua intersticial colectada en E-2 se halló concentraciones variables de fosfatos que se incrementaron con la profundidad, de 7,20 a 80,31 µmol/L. En E-5, los fosfatos variaron de 73,90 a 110,95 µmol/L, mostrando una distribución muy similar a la existente en la columna de agua, valores directamente influencia-

dos por la conducta de disolución de los carbonatos, con tendencia a incrementarse conforme se profundizan y están en relación inversa al pH (Tabla 1).

Los silicatos reflejan la litología de los sedimentos. En E-5 las concentraciones fluctuaron de 351,06 a 823,34 µmol/L (Tabla 1). Además, a 98 y 178 m de profundidad, mostraron una distribución variable para los testigos E-2 y E-5 reflejando una variabilidad espacial; se observó que su punto de inflexión en el segmento es de 6-7 cm de profundidad, ya que en la estación E-5 estos disminuyeron significativamente (Fig. 6).

MATRIZ SEDIMENTO

Los valores de las correlaciones obtenidas a partir de los parámetros geoquímicos estudiados para esta evaluación, comprobaron que el contenido de MOT en la matriz sedimento rige e influye en la conducta del COT con una correlación >0,7 (Tabla 2). A su vez, el contenido MOT muestra también su influencia en la concentración de los metales Redox sensitivos como son el Cd/MOT y el Ni/MOT que presentan una correlación >0,6; y en el caso del agua intersticial la variabilidad de la concentración de fosfatos está regida e influenciada directamente por el contenido de la materia orgánica, pH y potencial Redox. Los fosfatos y los silicatos en el agua intersticial mostraron una correlación significativa >0,7 en relación al contenido de MOT.

La representación gráfica de matrices múltiples (Fig. 7) permite observar la conducta de la distribución de la MOT y el COT, correspondiente a la sección 0-10 cm del Testigo E-2, en relación a la distribución de concentraciones de los metales traza más representativos como son los oligoelementos Cd, Ni y Mo. Esta comparación es más sensible en los segmentos 2-4 y 5-6 cm, donde se encuentra el mayor número de coincidencias de distribución de MOT y COT en relación a la distribución de los metales trazas (Cd, Ni) a diferencia del molibdeno, observando lo inverso

Tabla 3.- Resultados de análisis granulométrico acumulativo por diámetro de partícula, E-2 (98 m). Cr. MINIOX 0810

AM2	0-1 cm	1-2 cm	2-3 cm	3-4 cm	4-5 cm	5-6 cm	6-7 cm	7-8 cm	8-9 cm	9-10 cm
% V coarse gravel:	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
% Coarse gravel:	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
% Medium gravel:	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
% Fine gravel:	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
% V fine gravel:	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
% V coarse sand:	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
% Coarse sand:	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
% Medium sand:	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
% Fine sand:	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
% V fine sand:	0,0	1,7	0,3	2,2	1,1	1,1	0,1	0,0	0,0	0,0
% Vcoarse sand:	7,5	20,4	11,6	19,3	16,7	16,7	7,0	5,4	4,6	4,6
% Coarse silt:	17,3	16,9	12,9	15,0	15,3	15,3	12,2	12,5	11,8	11,8
% Medium silt:	17,1	13,7	15,5	13,0	14,3	14,3	16,3	17,7	18,2	18,2
% Fine silt:	21,2	14,8	22,5	15,0	16,6	16,6	24,2	25,2	25,4	25,4
% V fine silt:	15,5	12,8	16,7	13,8	15,0	15,0	17,8	18,0	18,3	18,3
% Clay:	21,3	19,7	20,4	21,7	21,0	21,0	22,5	21,3	21,7	21,7

Tabla 4.- Resultados de análisis granulométrico acumulativo por diámetro de partícula, E-5 (178 m). Cr. Miniox 0810

AM5	0-1 cm	1-2 cm	2-3 cm	3-4 cm	4-5 cm	5-6 cm	6-7 cm	7-8 cm	8-9 cm	9-10 cm
% V coarse gravel:	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
% Coarse gravel:	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
% Medium gravel:	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
% Fine gravel:	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
% V fine gravel:	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
% V coarse sand:	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
% Coarse sand:	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
% Medium sand:	0,1	0,0	0,0	0,1	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
% Fine sand:	5,7	1,3	1,3	5,2	5,0	3,4	0,0	1,2	0,0	0,0
% V fine sand:	10,0	7,1	7,1	7,0	7,4	7,8	1,6	6,7	0,0	0,1
% Vcoarse sand:	10,2	9,3	9,3	7,4	8,6	9,7	9,5	9,0	4,7	8,3
% Coarse silt:	10,2	12,0	12,2	11,1	12,6	13,0	12,4	11,4	10,1	10,9
% Medium silt:	11,9	12,4	12,5	12,2	13,4	11,9	12,8	11,5	13,6	14,4
% Fine silt:	15	15,2	15,4	15,2	15,5	13,8	16,1	15,2	22,7	22
% V fine silt:	14,5	15,5	15,5	15,3	14,4	14,2	17,0	16,0	19,5	17,9
% Clay:	22,3	27,1	26,8	26,5	23,4	26,1	30,6	29,0	29,5	26,3

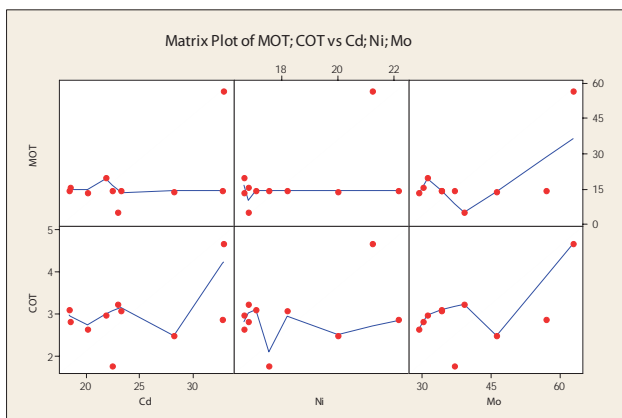


Figura 7.- Matriz MOT/COT/Cd/, Ni/Mo. Cr. MINIOX 0810

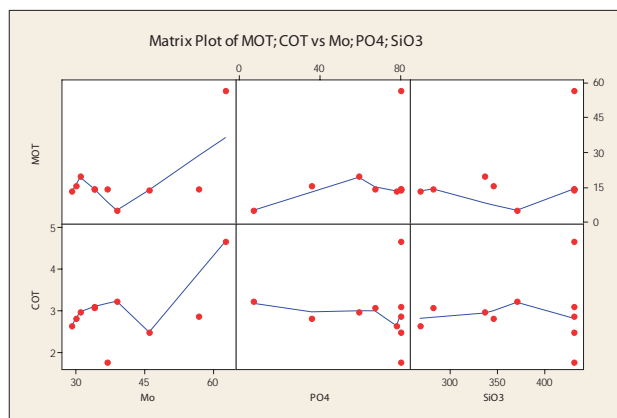


Figura 8.- Matriz MOT/COT/Mo/, PO4/SiO3. Cr. MINIOX 0810

conforme se profundizan ya que los valores muestran menores coincidencias de distribución.

En la Fig. 8 se observa la influencia que ejerce la variabilidad de la concentración de la MOT y el COT, en relación a la conducta de distribución del contenido de fosfatos y silicatos en el agua intersticial.

GRANULOMETRÍA

En la sección sedimentos correspondiente a E-2, predomina la presencia de partículas finas; el limo y la arcilla muestran una distribución muy similar entre sí, con una tendencia de distribución homogénea. La arena muy fina se encuentra restringida en los segmentos 2-3 y 3-4 cm. La distribución de materia or-

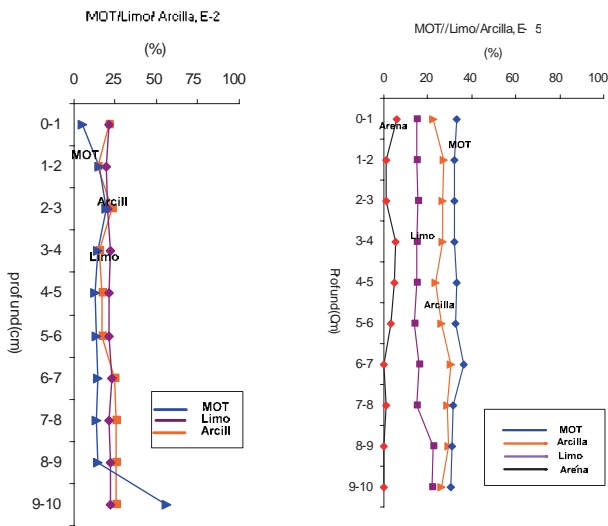


Figura 9.- Distribución granulométrica de E-2 y E-5. Cr. MINOX 0810

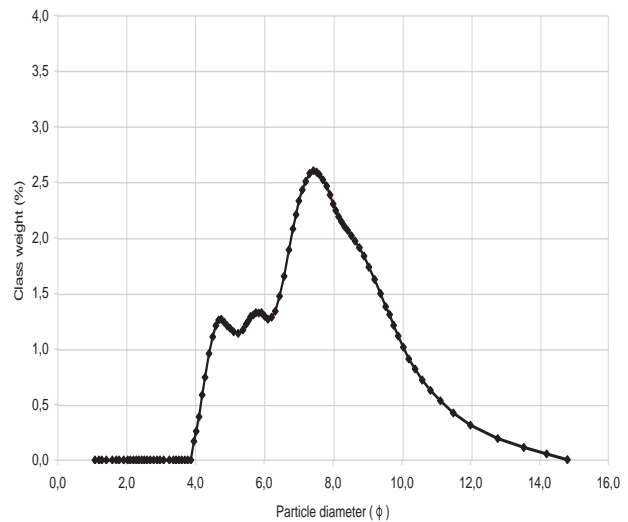


Figura 10.- Análisis granulométrico, gráfica acumulativa por diámetro de partícula, E-5 (178 m). Cr. MINOX 0810.

gánica está relacionada al tamaño de partícula; y se observan cambios de tendencia en los segmentos 0-1 y 9-10 cm (Tabla 3, Fig. 9).

El Testigo E-5 se halló dominado por partículas finas de limo y arcilla; las partículas de arena fina se encontraron localizadas en los segmentos 1-2 y 6-7 cm, pero su porcentaje en peso no fue significativo. Las arcillas mostraron conducta homogénea y constante, pero el limo se distribuyó en forma variable, con tendencia a incrementarse con la profundidad (Tabla 4 y Fig.10).

La variabilidad en la tendencia de distribución estaría influenciada por cambios biogeoquímicos que ocurren en los sedimentos marinos que se profundizan y por la actividad sulfato reductora, como ausencia de oxígeno y presencia de bacterias, que alteran las características geoquímicas de los sedimentos.

Conclusiones y discusión

Las características geoquímicas halladas en los sedimentos marinos recientes, correspondientes a los testigos localizados en el perfil Callao, durante el Cr. 0810, están gobernados por el contenido de la materia orgánica total (MOT) o material detrítico producto de la degradación, a partir de sedimentos continentales preexistentes junto a minerales derivados de la precipitación química o bioquímica de las sales presentes en el agua de mar. La distribución de la MOT sedimentaria sigue generalmente la misma distribución que la productividad primaria, teniendo las concentraciones más altas en zonas costeras y las más bajas en zonas de mar abierto.

La variabilidad en la tendencia de distribución estaría influenciada por: (a) los cambios biogeoquímicos que

se realizan en los sedimentos marinos que se profundizan, (b) por la actividad sulfato reductora, como ausencia de oxígeno y presencia de bacterias, alterando las características geoquímicas y biogeoquímicas de los sedimentos marinos (BERNER 1980, KLUMP y MARTENS 1987, FARÍAS et al. 1995, 1996).

Los valores de las correlaciones obtenidas a partir de los parámetros geoquímicos estudiados en relación a variabilidad espacial, permite comprobar que el contenido de materia orgánica en la matriz sedimentaria rigiere e influye en la conducta de otros parámetros geoquímicos, como son el carbono orgánico total con una buena correlación (> 0,7).

El contenido de materia orgánica muestra su influencia en la concentración de los metales Redox sensibles como son el Cd/MOT y el Ni/MOT con una correlación >0,6.

En el agua intersticial se determinó que la variabilidad de la concentración de fosfatos está regida e influenciada directamente por el contenido de la materia orgánica, pH y potencial Redox. Los fosfatos y los silicatos en el agua intersticial mostraron una correlación significativa >0,7 en relación al contenido de materia orgánica total.

Los valores de fosfatos y silicatos obtenidos en el agua intersticial en las secciones de sedimentos estudiadas, mostraron concentraciones con tendencia a incrementarse conforme se profundizan. Los valores de fosfatos registraron inflexiones que se reflejaron inversamente en la distribución del contenido de silicatos, pues cuando los fosfatos incrementan, los silicatos tienden a decrecer. Las diferencias registradas pueden ser el resultado de la variabilidad espacial natural, pues los testigos fueron recolectados en dife-

rentes puntos del Perfil Callao.

Los metales Redox sensitivos como Cd y Ni (VALDEZ 2004) mostraron buena correlación, cercana a 1 y son considerados como proxies de la paleoxigenación.

Referencias

- BERNER R. 1980. Decomposition during bacterial sulfate reduction in marine sediments, p. 35-44. Biogeochemistry of organic matter at the sediment-water interface. CNRS Int. Colloq.
- DEAN W. 1974. Determination of carbonate and organic matter in calcareous sediments and rocks by loss on ignition: Comparison with others methods. In: Jour. Sed. Petrology 44 (1): 242-248.
- EPA. Method 3052 microwave assisted acid digestion of siliceous and organically based matrices. pp: 1-20
- FARÍAS L, CHUECAS L, SALAMANCA M. 1995. Chile Centro Sur: Mecanismos de intercambio químico. Gayana Oceanol., 39(2): 99-118.
- FARÍAS L, CHUECAS L, SALAMANCA M. 1996 Effect of coastal upwelling on nitrogen regeneration from sediments and ammonium supply to the water column in Conception Bay, Chile. Est. Coast. Sci., 43: 137-155.
- FOLK RL, WARD WC. 1957. Brazos river bar: a study of significant of grain size parameters. J. Sediment. Petrol. 27: 3-26.
- GAUDETTE H, FILGH W, IONER L, FOLGER D. 1974. An inexpensive titration method for the determination of organic carbon in recent sediments. Journal of Sedimentology and Petrology. 44:249-253.
- GIESKES JM, PERESTMAN G. 1986. Water chemistry procedures aboard JOIDES Resolution –some comments. ODP. Technical note 15: college Station, TX (Ocean Drilling Program).
- KLUMP J V, MARTENS C S. 1987. Biogeochemical cycling in an organic-rich coastal marine basin--. Sedimentary nitrogen and phosphorus budgets based upon kinetic models, mass balances, and the stoichiometry of nutrient regeneration. Geochim. Cosmochim. Acta 51: 1161-1173
- NILSEN E B, DELANEY M L. 2005. Factors influencing the biogeochemistry of sedimentary carbon and phosphorus in the Sacramento-San Joaquin Delta. Estuaries 28 (5), 653-663.
- PRESLEY B J. 1971. Techniques for analysing interstitial water samples Appendix Part 1: determination of selected minor and major inorganic constituents. In: Wintered EL et al. Init Repts. DSPP, (7): Washington DC (US Govt. Printing Office), 1749-1755.
- STRICKLAND JD, PARSONS TR. 1968. A Practical Handbook of Seawater Analysis. Second Edition. Tech. Bull.167. Fisheries Research Board of Canada Otta. 310p.
- VALDES J. 2004. Evaluación de metales Redox-sensitivos como proxies de Paleoxigenación en un ambiente marino hipóxico, Chile. Revista Chilena de Historia Natural, 77: 121-138.