

Aspectos genéticos de los sedimentos marinos de la boca del Golfo de California evidenciados por la geoquímica de sus metales pesados

F. Páez-Osuna y J.I. Osuna-López
Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM.

Recibido: Mayo 16, 1989; Aceptado: Septiembre 11, 1989.

RESUMEN

Se efectuaron análisis de Cu, Co, Ni, Cr, Ag, Zn, Cd, Pb, Fe y Mn en diez núcleos de sedimentos marinos procedentes de la región cercana a la boca del Golfo de California. La geoquímica de Fe, Mn, Cu, Co y Ni permite sugerir que tres de los núcleos poseen componentes de carácter hidrotermal, cuyo origen debe estar relacionado con la dispersión del efluente hidrotermal del campo activo de la Dorsal del Pacífico Mexicano en los 21°N. Respecto a los núcleos de la Cuenca Mazatlán, éstos no presentan evidencia geoquímica de los metales, relacionada con el aporte hidrotermal de los mismos. Asimismo, se propone un intervalo mayor de las proporciones de elementos clave (Mn/Fe, Ni/Fe, Cu/Fe, Zn/Fe y Co/Fe) para tipificar la composición del material sedimentario hidrotermal marino.

PALABRAS CLAVE: Sedimentos marinos, Golfo de California, metales pesados, hidrotermal, Cuenca de Mazatlán.

ABSTRACT

Cu, Co, Ni, Cr, Ag, Zn, Cd, Pb, Fe and Mn measurements were made on ten cores from the area of the mouth of the Gulf of California. The geochemistry of Fe, Mn, Cu, Co and Ni suggests that three cores have components of hydrothermal character. Their origin is likely to be related to the hydrothermal effluent dispersion from the active field of the Mexican Pacific Rise at 21°N. The Mazatlán basin cores shows no heavy metal geochemistry connected with the hydrothermal source. We propose a wider range of the ratios of key elements (Mn/Fe, Ni/Fe, Cu/Fe, Zn/Fe and Co/Fe) to characterize the composition of the hydrothermal sedimentary marine material.

KEY WORDS: Marine sediments, Gulf of California, heavy metals, hydrothermal, Mazatlán Basin.

INTRODUCCION

Con el propósito de estudiar la geoquímica de los sedimentos del Golfo de California y áreas adyacentes, se inició en 1985 el proyecto UNAM-CONACYT (PCCBBNA-021995). Se colectaron 48 núcleos cortos (35-120 cm) y 85 muestras superficiales en cuatro cruceros oceanográficos (PALEO-1, PALEO-2, BERMEJO-1 y CORTES-2), a bordo del B/O "El Puma". Posteriormente, en el laboratorio fueron analizados, en las aguas intersticiales, diversos parámetros (sulfuros, sulfatos, cloruros, alcalinidad y nutrientes) y en la fase sólida de los sedimentos se cuantificaron los metales pesados y el contenido de fósforo.

Uno de los principales objetivos fue el de dilucidar cómo la actividad hidrotermal influye en la composición de los sedimentos. En esta investigación se discuten los resultados del análisis geoquímico de diez metales pesados (Cu, Cd, Co, Cr, Fe, Mn, Ni, Pb, Ag y Zn) en diez núcleos del Pacífico mexicano adyacente a la entrada del Golfo de California. Básicamente, la discusión del presente estudio se divide en cuatro secciones: Ambiente redox de depositación, correlaciones diagenéticas locales, aporte hidrotermal y anomalías geoquímicas. De lo anterior, se propone un intervalo mayor de las proporciones de elementos

"clave" (Mn/Fe, Ni/Fe, Cu/Fe, Zn/Fe y Co/Fe) para tipificar la composición del material sedimentario hidrotermal marino.

AREA DE ESTUDIO

El Pacífico mexicano adyacente a la boca del Golfo de California (Fig. 1), constituye el límite de las placas Pacífica y Norteamericana, en lo que vienen a ser las zonas de fractura Tamayo y Rivera (Larson, 1972) que se conectan con la Cordillera del Pacífico Oriental. Se sabe (Gieskes *et al.*, 1982) que la tasa de acumulación sedimentaria es alta y en su mayor parte está constituida por arcillas hemipelágicas y limos de origen terrígeno. En este mismo estudio se observó que la columna sedimentaria tiene un grosor que alcanza entre 100 y 200 m con intercalaciones de basalto, y en algunos casos con un contenido rico en diatomeas que generalmente decrece con la profundidad. Desde el punto de vista sedimentológico y diagenético se pueden encontrar más detalles del área en los estudios realizados en el programa del Deep Sea Drilling Project (DSDP, 1982). Larson (1972), Molnar (1973), Mac Donald *et al.*, (1979) y Lesage *et al.*, (1988) describen ampliamente la región en sus aspectos batimétricos, estructurales y tectónicos.

MATERIAL, METODOS Y RESULTADOS

Del total de núcleos recolectados en los cruceros realizados en el B/O "El Puma" PALEO-2 (del 2 al 12 de agosto, 1983) y BERMEJO-1 (del 21 de enero al 10 de febrero, 1984) diez se extrajeron en la falla transforme Tamayo y fondos pelágicos del Pacífico adyacente al Golfo de California (Fig. 1). En la Tabla 1 se muestra la localización y las profundidades de los sitios de colecta y algunos rasgos peculiares de cada uno de los núcleos.

La extracción de los sedimentos se realizó mediante un nucleador de gravedad modificado (Páez-Osuna *et al.*, 1986); la extrusión, el corte y el exprimido de los sedimentos fueron realizados a bordo. Se eliminó el aire de la fase sólida con gas inerte (Argón). Las muestras se guardaron en bolsas de polietileno y fueron conservadas a 4°C hasta el laboratorio en tierra.

Ya en el laboratorio el material fue secado, molido y tamizado para su análisis; una vez que el material digerido fue centrifugado y diluido apropiadamente (Páez-Osuna, 1988), las concentraciones de los metales en los sedimentos fueron determinadas a la flama en un espectrofotómetro de absorción atómica (Shimadzu AA-630-12). La digestión de las muestras se realizó con agua regia invertida (HNO₃/HCl, 3:1) en bombas de calor (Breder, 1982).

La confiabilidad de la metodología fue verificada analizando una muestra certificada de sedimento SDN-1/2 (IAEA, 1985). En la Tabla 2, se presentan las concentra-

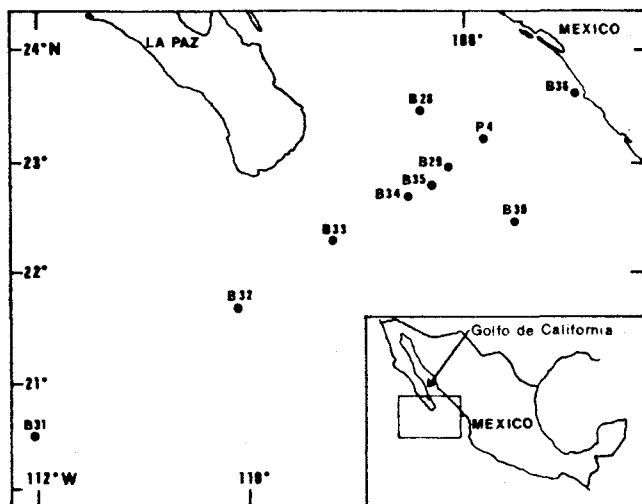


Fig. 1. Localización de los sitios de colecta.

Tabla 1. Localización y profundidad de los sitios de colecta y algunas observaciones concernientes a los núcleos.

Núcleo (*)	Tamaño longitud (cm)	Profundidad (m)	Latitud (N)	Longitud (W)	Observaciones
B 28 (cm)	76	2590	23°26.5'	108°22.7'	
B29 (cm)	70	3180	22°56.8'	108°07.5'	Café en la sección superficial (0-2cm)
B30 (cm)	66	2630	22°27.5'	107°29.3'	Café en la sección superficial (0-2cm)
B31 (fp)	105	3410	20°32.2'	112°01.6'	Café rojizo-claro al fondo.
B32 (fp)	88	3220	21°41.8'	110°05.3'	Café oscuro/verde-olivo al fondo.
B33 (fp)	54	3150	22°17.9'	109°15.4'	Café rojizo/verde-olivo al fondo.
B34 (cm)	35	2800	22°38.5'	108°30.8'	Café/verde-olivo al fondo.
B35 (cm)	39	2590	22°44.4'	108°17.0'	Café claro al fondo.
B36 (pc)	36	40	23°36.5'	106°55.0'	Arenas con fragmentos de conchas
P4 (cm)	55	2040	23°08.5'	107°46.7'	

* cm: Cuenca Mazatlán; fp: Fondo Pelágico; pc: Plataforma Continental.

Tabla 2. Análisis testigo de metales pesados en la muestra de sedimento certificada SD - N -1/2 (IAEA, 1985).

Metal	Concentración encontrada (n=7) ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)	Intervalo de confianza establecido ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$) ($\alpha=0.05$)	*Clase de resultado
Cu	83.5 ± 3.5	68.1 - 75.2	A
Ni	31.7 ± 1.8	27.0 - 34.0	A
Co	15.3 ± 1.0	11.2 - 12.7	A
Cr	121 ± 5	125 - 161	A
Pb	132 ± 7	112 - 132	A
Zn	442 ± 12	432 - 452	A
Cd	12.3 ± 1.0	10.0 - 12.0	A
Ag	3.3 ± 0.2	2.0 - 3.2	B
Mn	860 ± 15	728 - 801	A
Fe	$3.63 \pm 0.07 \%$	3.53 - 3.7 %	C

* (A) Satisfactoria, (B) Aceptable, (C) No certificada, (IAEA, 1985).

ciones encontradas y las dadas según la certificación establecida. Los niveles de Ni, Cr, Pb, Zn, Cd, Fe, Ag, se encontraron dentro del intervalo de confianza establecido ($\alpha=0.05$), mientras que Cu, Co y Mn resultaron sobreestimados ligeramente. Respecto a la reproducibilidad, en todos los elementos analizados el coeficiente de variación siempre fue inferior al 8.5%.

En el Apéndice se presentan los resultados de los análisis en cada una de las secciones de los diez núcleos y en las figuras 2, 3 y 4, se muestran los perfiles de la concentración metálica en la columna sedimentaria de algunos núcleos más representativos: B29 de la depresión profunda de la cuenca Mazatlán, B32 cercano (55 km) a la región dorsal activa de 21°N y B31 de los fondos del Pacífico Oriental.

Ambiente redox de deposición

En relación al color de los sedimentos se observó que existe una cierta variación entre segmentos centrales de los núcleos y los estratos superficiales y del fondo de cada núcleo (Tabla 1). Definitivamente no es fácil explicar las diferencias de color del material sedimentario, ya que intervienen muchos factores, como son la proporción de minerales arcillosos, sales, óxidos de hierro y manganeso, y la presencia de material orgánico altamente pigmentado. Recientemente Lyle (1983) interpreta las coloraciones verdosas como indicativas de condiciones reducibles y la transición de la coloración café-verde en los sedimentos, como una marca en la profundidad sedimentaria a la cual los NO_3^- del agua intersticial se reducen a NO_2^- y/o NH_3 y el Fe (III) pasa a Fe (II), este mismo autor señala que el color es rápidamente reversible y se debe probablemente a la oxidación o reducción del Fe en la arcilla montmorillonítica. Con este criterio se

puede inferir, por ejemplo, que el núcleo B31 (Tabla 1) se colectó de un sitio sujeto a condiciones redox más oxidantes, y en cambio, aquellos que poseen estratos verde-olivo (B32, B33, B34) se hallan en sitios con carácter reductor.

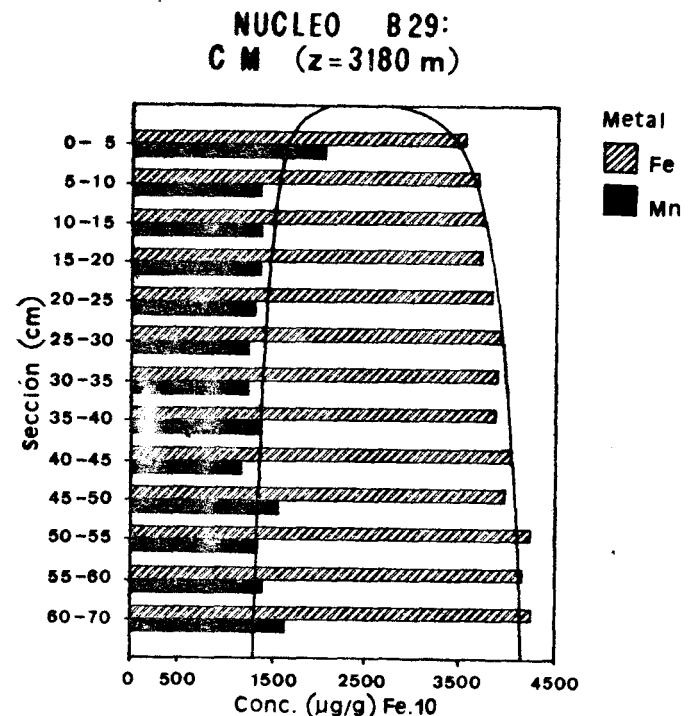


Fig. 2a. Concentraciones de Fe y Mn en el núcleo B29 de la depresión de la Cuenca Mazatlán.

Correlaciones diagenéticas locales

En las figuras 2, 3 y 4 se nota cómo las concentraciones de varios de los elementos están correlacionadas linealmente entre sí dentro de un mismo núcleo y muestran una misma tendencia con la profundidad; en el núcleo B29 tanto el Cu (coeficiente de correlación, $r=0.734$), como el Ni ($r=0.602$) y el Zn ($r=0.911$) se encuentran estadísticamente (en el nivel $\alpha=0.05$ de significancia) correlacionados con el Fe; en el núcleo B32, en cambio, a pesar de que el Fe y el Mn presentan la misma tendencia a decrecer con la profundidad en la columna sedimentaria, solamente el Zn muestra una correlación significativa con el Fe ($r=0.801$), y el Co con el Mn ($r=0.618$); en el núcleo B31 ocurre algo similar para el

El tipo de perfiles encontrado en este estudio (Figuras 2, 3, y 4) ha sido observado y descrito por otros investigadores (Lynn y Bonatti, 1965; Bonatti *et al.*, 1971; Colley *et al.*, 1984). En general dichos perfiles consisten de una capa superficial oxidada color café y/o roja con sedimento verde grisáceo por debajo. Mineralógicamente el sedimento en todos esos casos es relativamente uniforme, las diferencias que se han encontrado entre las dos capas se deben, al igual que en este estudio, al notable enriquecimiento del Mn en las capas superiores, el cual a veces va acompañado de Co y Ni; contrariamente se ha observado una mayor concentración de Fe y Cr (y en algunos casos Zn) en la capa reducida inferior.

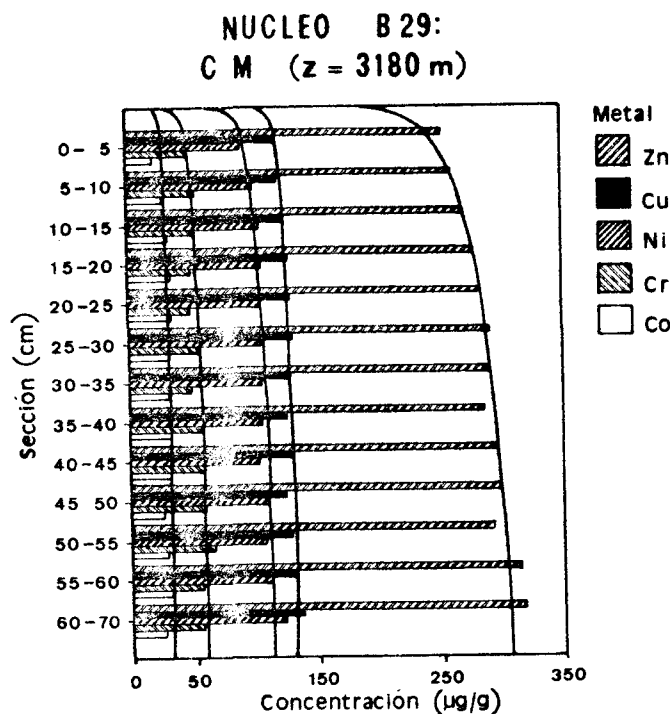


Fig. 2b. Concentraciones de Zn, Cu, Ni, Cr y Co en el núcleo B29 de la depresión de la Cuenca Mazatlán.

Fe-Cr ($r=0.729$), pero en el caso del Mn se observa que además del Co ($r=0.629$) también el Ni ($r=0.978$) está fuertemente correlacionado. Las correlaciones con el contenido de Mn ponen en evidencia que el Co y posiblemente el Ni son concentrados desde el agua marina por la precipitación química del Mn hidrotermal, o alternativamente, estos elementos también vienen a ser contribuciones de las soluciones o remanentes hidrotermales. En el caso de los elementos que se asocian al Fe, es de esperar que el factor determinante de su distribución esté relacionado con los oxihidróxidos de hierro, como por ejemplo la "goetita" amorfa o la montmorillonita férrica, fases minerales para las cuales se ha demostrado (Dymond, 1981) su formación en los sistemas hidrotermales.

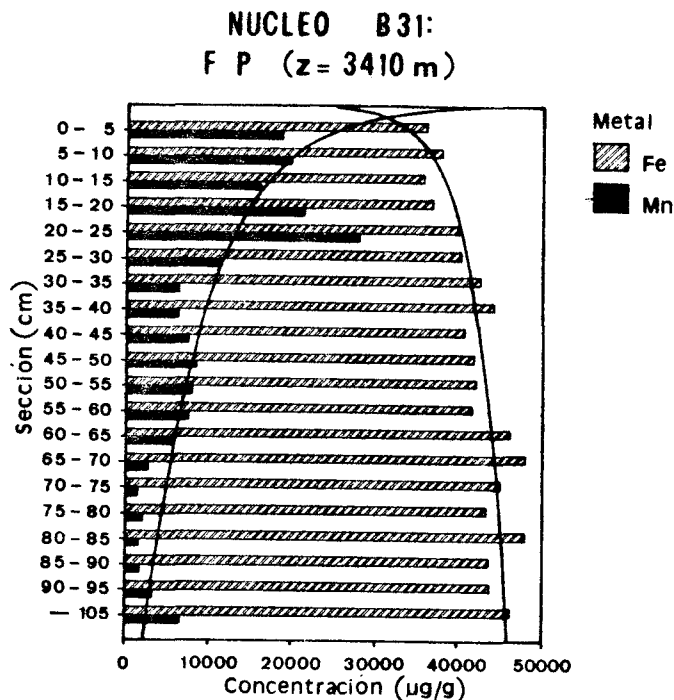


Fig. 3a. Concentraciones de Fe y Mn en el núcleo B31 de la región pelágica.

El proceso diagenético responsable de esta separación viene a ser la disminución del potencial redox en las partes sub-superficiales de los sedimentos como una consecuencia de la oxidación de carbono orgánico (Colley *et al.*, 1984). Así, cuando el óxido de manganeso sólido es sepultado por debajo de la zona óxica, la reducción del Mn se favorece cuando el MnO_x es el siguiente aceptor de electrones después de que el oxígeno y los nitratos son consumidos o bien si las condiciones redox y de pH cambian de manera tal que el Mn (II) se vea favorecido sobre los óxidos de manganeso sólido (Burdige y Gieskes, 1983). En cualquiera de los dos casos, los iones Mn (II) emigrarán según el gradiente de concentración a un nivel donde existan condiciones oxidantes, el cual se ubica generalmente hacia

arriba; otros elementos tales como el Ni, Co y en menor proporción Cu, tienden a seguir el perfil del Mn, lo que permite sospechar que estos elementos se liberan durante la reducción de las fases del MnO₂ portador.

En las figuras 5a y 5b, se muestran dos inserciones de los núcleos B31 y B32, con objeto de observar la variación

de los metales mencionados con la profundidad; en ambos casos se tiene la misma tendencia del carácter diagenético que favorece el enriquecimiento de los estratos superficiales, siendo este comportamiento muy semejante al observado en dos núcleos del Pacífico Ecuatorial (sitios MANOP denominados M y H; Graybeal y Heath, 1984).

Tabla 3. Relación Mn/Fe en el estrato superficial (0-5 cm) de los núcleos estudiados en comparación da los fluidos y edificaciones hidrotermales.

Localidad	Mn/Fe	Referencia
Plataforma Continental Núcleo B36	0.015	Este estudio
Cuenca Mazatlán		Este estudio
Núcleo P4	0.056	
B28	0.047	
B29	0.058	
B30	0.037	
B34	0.039	
B35	0.058	
Fondo Pelágico		Este estudio
Núcleo B33	0.270	
B32	0.884	
B31	0.524	
Depósitos hidrotermales de la Cuenca de Guaymas		Peter <i>et al.</i> (1987)
Chimeneas	0.006	
Montículos	0.007	
Fluido hidrotermal del Dorsal 21°N	0.8 ± 0.4	Von Damm (1983)

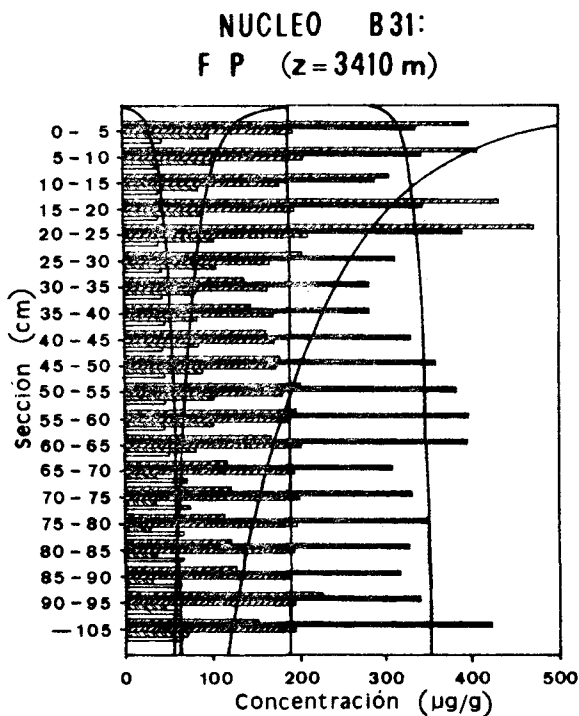


Fig. 3b. Concentraciones de Zn, Ni, Cu, Co y Cr en el núcleo B31 de la región pelágica.

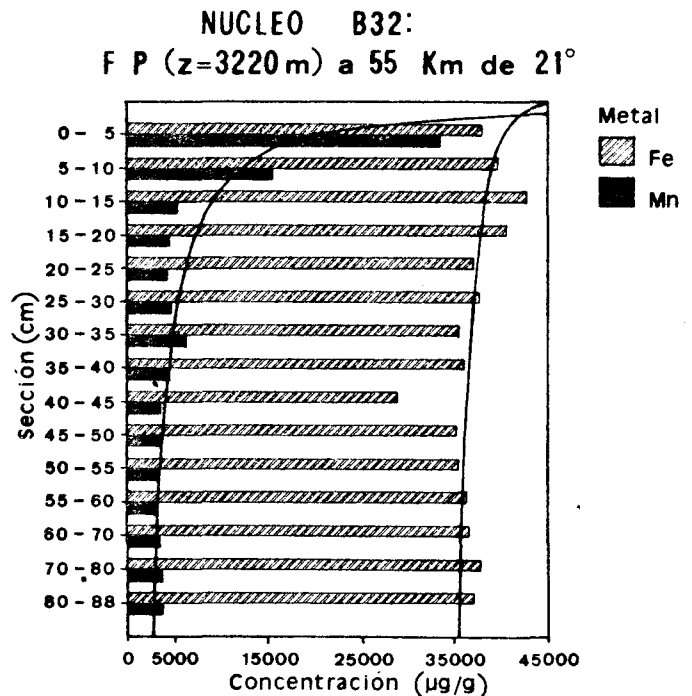


Fig. 4a. Concentraciones de Fe y Mn en el núcleo B32 cercano al campo hidrotermal.

Aporte hidrotermal

En la figura 6 se presenta el diagrama ternario de Fe, Mn y (Co+Cu+Ni) 10 para ilustrar las proporciones de estos metales en las secciones superficiales (0-5 cm) de cada uno de los núcleos colectados. Con excepción del núcleo B31 cuya composición posee cierto carácter hidrogénico, los demás núcleos presentan un carácter cuyo origen tiene que ver con el aporte hidrotermal, siendo esto más notorio para el núcleo B32, el cual ciertamente se colectó a unos 55 km al noroeste del campo hidrotermal de la región dorsal de 21° N.

Con objeto de corroborar el carácter hidrotermal de los núcleos se calculó la relación Mn/Fe. Hudson y Bender (1984) mostraron que la relación Mn/Fe en la columna de agua de los sistemas hidrotermales de las cordilleras en 10-13°N del Pacífico, es similar a los fluidos hidrotermales y los sedimentos metalíferos que se acumulan a lo largo de la región dorsal. En la Tabla 3 se presenta la proporción Mn/Fe en la sección superficial (0-5 cm) de los núcleos y se comparan dichos valores con los de los fluidos y chimeneas hidrotermales. La similitud de la relación Mn/Fe entre el fluido hidrotermal de 21°N, y los sedimentos de los núcleos B31, B32 y B33, permiten sugerir que la dispersión del efluente hidrotermal es la que aporta estos metales a los sedimentos; sorprendentemente el valor de 0.884 para Mn/Fe del núcleo B32 viene a ser el mismo valor promedio establecido por Von Damm (1983) (0.8±0.4) para los fluidos hidrotermales. Weiss (1977) en Las Galápagos estimó un tiempo de residencia de unos 50 años para el Mn inyectado en el agua de mar a partir de las fuentes hidrotermales, lo cual implica que la pluma del Mn hidrotermal puede ser capaz de viajar horizontalmente a grandes distancias antes de depositarse; entonces en el núcleo B31 a pesar de localizarse a más de 100 km, no es raro encontrar tal proporción de Mn/Fe.

Anomalías geoquímicas

Con objeto de identificar anomalías geoquímicas en los sedimentos y de distinguir las contribuciones de los distintos componentes de los sedimentos como son el aporte detrítico (o terrígeno), biogénico, autigénico (o hidrogénico) e hidrotermal se han desarrollado diversos modelos (Heath y Dymond, 1977; Bischoff *et al.*, 1979; Dymond, 1981; Graybeal y Heath, 1984) cuya característica es tipificar la proporción de algunos elementos "clave". En la Tabla 4 se muestran los intervalos establecidos para las proporciones de Mn/Fe, Ni/Fe, Cu/Fe, Zn/Fe, Co/Fe del componente hidrotermal aledaño a 21°N (con base en los núcleos B31, B32 y B33) y otras regiones de acuerdo a Dymond (1981) y Graybeal y Heath (1984). Con la excepción de Ni, los demás metales de los materiales influenciados por los efluentes de 21°N, muestran un máximo superior al de otras regiones, lo cual permite proponer un intervalo más amplio para tipificar componentes sedimentarios hidrotermales.

El fraccionamiento del Mn y el Fe tiene lugar cuando las

soluciones hidrotermales se mezclan con el agua de mar del fondo bien oxigenada, este fraccionamiento se debe a que el Fe es oxidado en el agua de mar más fácilmente que el Mn, (experimentalmente verificado por Krauskopf, 1957; Seyfried y Bischoff, 1977). En el campo hidrotermal precisamente del Dorsal del Pacífico Oriental en 21°N, es notorio el fraccionamiento del Fe-Mn que exhiben los depósitos de tipo sulfuroso (Francheteau *et al.*, 1979), debido a que el Mn, contrario al Fe, no precipita rápidamente como una fase sulfurosa.

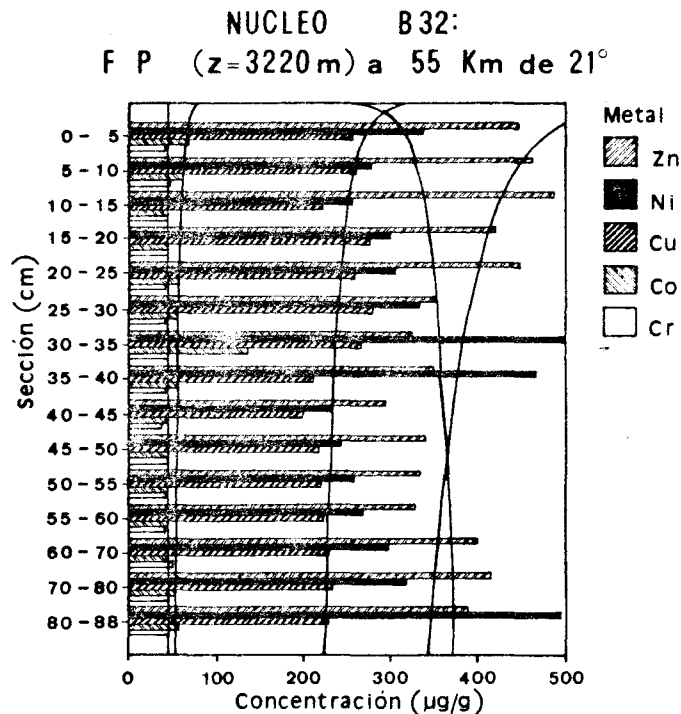


Fig. 4b. Concentraciones de Zn, Ni, Cu, Co y Cr en el núcleo B32 cercano al campo hidrotermal.

Tabla 4. Intervalo de la relación elemental al Fe en los sedimentos típicamente de origen hidrotermal.

Metal	Otras regiones (a)	Cerca de 21° N (b)
(E)	(E/Fe)	(E/Fe)
Mn	0.29 - 0.41	0.27 - 0.884
Ni	0.0009 - 0.0420	0.0031 - 0.0110
Cu	0.0042 - 0.0053	0.0031 - 0.0093
Zn	0.0019 - 0.0024	0.0053 - 0.0117
Co	.00033 - .00100	0.0010 - 0.0027

(a) Basado en datos de Dymond (1981) y Graybeal y Heath (1984).

(b) Este estudio (núcleos B31, B32, B33).

En la Tabla 5 se presenta la concentración de los metales analizados en el presente estudio, en las secciones superficiales (0-5 cm) de la columna sedimentaria en comparación con el núcleo Pluto III del sitio M de la Cordillera del Pacífico Este en 8°48'N y 104°W (Lyle *et al.*, 1984) y del

Tabla 5. Concentración de metales pesados en los sedimentos superficiales (0-5 cm) adyacentes a la Boca del Golfo de California y otras regiones pelágicas (ppm, excepto Mn y Fe en %)

Metal	De carácter		hidrotermal	Cuenca Mazatlán (d)	Arcillas Pelágicas (e)
	B31 (a)	B32 (b)	Pluto-III (c)		
Cu	336	258	283	105 ± 10	230
Ni	398	337	313	90.0 ± 9.1	210
Co	99.0	67.8	--	25 ± 6.1	113
Cr	44.9	42.5	--	65.4 ± 26.9	64
Zn	191	445	378	242 ± 31	165
Pb	53.9	40.3	--	40.7 ± 5.9	-
Cd	2.28	1.83	--	2.65 ± 1.81	-
Ag	1.05	1.83	--	1.49 ± 0.50	-
Mn	1.88	3.35	1.79	0.20 ± 0.04	0.43
Fe	3.60	3.79	6.90	4.06 ± 1.03	5.48

- a) Arcillas café-rojizas de la parte más pelágica (profundidad 3.410 m). (Este estudio).
 b) Colectado a 55 km al noroeste de la zona de ventilas hidrotermales de 21°N. (Este estudio).
 c) Núcleo Pluto-III desde el sitio M (MANOP) localizado a 25 km al oriente de la Cordillera del Pacífico Este en 8°48'N, 104°W (Lyle *et al.*, 1984).
 d) Composición promedio calculada con los núcleos B28, B29, B34, B35 Y P4 extraídos de la Cuenca Mazatlán. (Este estudio).
 e) Promedio de las arcillas pelágicas del Pacífico (Bischoff *et al.*, 1979).

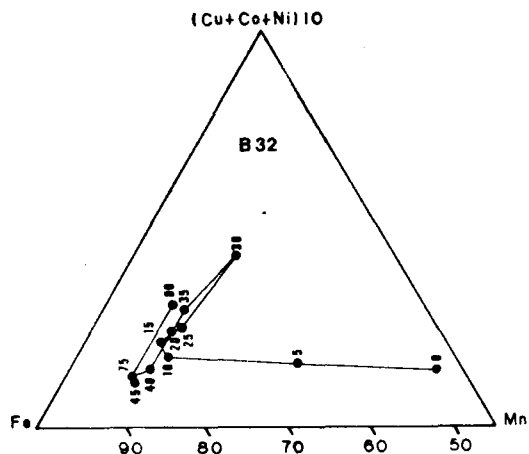
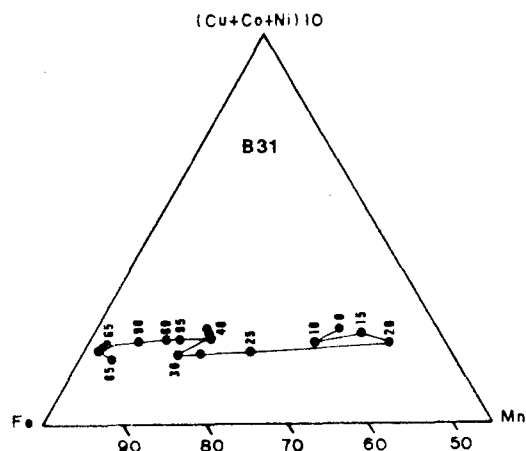


Fig. 5. Variación de las proporciones de Fe, Mn y (Cu+Co+Ni) 10 con la profundidad en los intervalos sucesivos de la columna sedimentaria de los núcleos B31 y B32.

promedio de las arcillas pelágicas del Pacífico (Bischoff *et al.*, 1979); con excepción del contenido de Fe, los niveles de los demás metales son comparables a los de los núcleos B31 y B32; respecto a la composición promedio calculada para los sedimentos de la Cuenca Mazatlán, es notablemente particular y diferente (con excepción del Cr) a las arcillas pelágicas y los núcleos de carácter hidrotermal.

CONCLUSIONES

Las fuertes correlaciones entre el contenido de Mn y el de Co y Ni, ponen en evidencia que el Co y en menor extensión el Ni son concentrados desde el agua marina por la precipitación química del Mn hidrotermal en la región noroeste adyacente al campo hidrotermal de la región dorsal de 21°N. De acuerdo al diagrama ternario de Fe, Mn (Co+Cu+Ni) 10 y de la relación Mn/Fe, los núcleos que presentan mayor carácter hidrotermal son el B33, el B32 y el B31, éste último a pesar de poseer también cierta influencia hidrogénica. Respecto a los núcleos de la Cuenca Mazatlán, éstos no muestran evidencia geoquímica de los metales pesados relacionada con el aporte hidrotermal de los mismos. El intervalo propuesto de las proporciones de elementos clave para caracterizar el material sedimentario hidrotermal de la región a que corresponden los núcleos B31, B32 y B33 es: Mn/Fe, 0.27-0.48; Ni/Fe, 0.0031-0.0110; Cu/Fe, 0.0031-0.0093; Zn/Fe, 0.0053-0.0117; y Co/Fe, 0.0010-0.0027; los cuales son en general mayores a los que se pueden establecer en otras áreas influenciadas por la actividad hidrotermal.

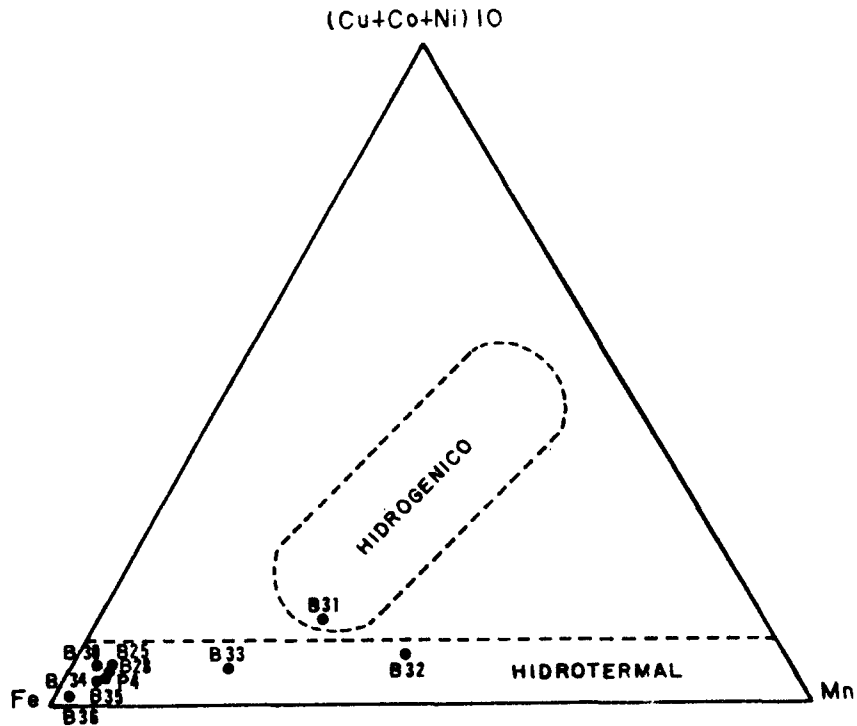


Fig. 6. Clasificación de depósitos de hierro y manganeso de acuerdo al diagrama de Bonatti *et al.*, 1972.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece la valiosa colaboración de C.L. Tripp Quezada en los análisis, al Dr. Laurence D. Mee por su apoyo y valiosos comentarios. Al personal del B/O "El Puma" y en especial a sus oficiales y personal de cubierta por su amable y eficiente colaboración en el muestreo oceanográfico. Asimismo se agradecen las sugerencias

brindadas por los árbitros/revisores para la versión final del presente estudio. El financiamiento para la realización de este trabajo se obtuvo a través del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM y del Proyecto CONACYT PCCBBNA-021995.

A P E N D I C E

Concentración de metales en núcleos de la Boca del Golfo de California

NUCLEO B28

Sección	µg/g (Fe en %)									
(cm)	Cu	Ni	Co	Cr	Zn	Pb ,	Cd	Ag	Mn	Fe
0 - 5	113	92.1	22.6	52.2	234	47.9	5.21	1.26	1537	3.29
5 - 10	116	90.1	19.9	51.6	232	53.0	2.67	2.00	681	3.16
10 - 15	119	87.2	22.7	51.3	238	53.6	3.89	1.18	650	3.29
15 - 20	125	90.3	28.0	52.7	250	45.5	3.92	1.33	692	3.68
20 - 25	128	95.4	28.4	51.4	252	52.7	3.82	2.02	698	3.49
25 - 30	126	90.8	23.7	55.0	253	44.9	4.21	1.52	713	3.53
30 - 35	125	106	26.3	54.1	255	45.0	4.21	1.34	726	3.59
35 - 40	129	99.5	23.6	55.9	264	49.1	3.19	2.34	735	3.63
40 - 45	132	103	28.5	56.6	270	44.6	3.04	2.62	762	3.66
45 - 50	129	101	28.0	56.6	266	43.8	5.41	2.18	784	3.65
50 - 55	138	117	28.6	55.8	283	61.4	4.52	2.51	790	3.74
55 - 60	128	110	32.3	56.5	283	48.7	4.17	2.17	798	3.87
60 - 70	123	117	30.4	58.7	291	49.6	5.61	1.36	932	3.72
70 - 76	117	123	32.9	52.5	292	45.4	5.61	1.53	1010	3.73

NUCLEO B29

Sección	$\mu\text{g/g}$ (Fe en %)									
(cm)	Cu	Ni	Co	Cr	Zn	Pb	Cd	Ag	Mn	Fe
0 - 5	118	89.2	21.4	46.7	253	37.2	1.28	1.20	2054	3.54
5 - 10	120	99.7	28.5	52.4	261	44.2	2.12	0.85	1356	3.68
10 - 15	125	104	31.7	51.8	269	36.4	2.93	1.51	1357	3.75
15 - 20	128	106	33.5	49.6	278	31.9	2.05	1.25	1359	3.72
20 - 25	130	105	33.7	48.9	280	43.0	2.24	1.81	1295	3.83
25 - 30	131	104	30.1	53.1	290	43.2	2.50	1.80	1225	3.93
30 - 35	127	105	31.6	48.4	289	49.3	2.00	1.75	1232	3.89
35 - 40	125	105	32.8	57.7	285	41.4	1.40	1.75	1362	3.88
40 - 45	131	103	32.3	58.5	294	35.6	3.25	1.00	1161	4.04
45 - 50	123	108	26.0	58.6	297	44.4	0.85	1.36	1562	3.98
50 - 55	128	107	28.7	65.1	292	39.6	1.70	1.88	1341	4.25
55 - 60	130	111	31.1	54.8	313	35.7	2.50	1.82	1393	4.16
60 - 70	137	123	26.8	50.4	316	38.0	1.30	1.60	1632	4.26

NUCLEO B30

Sección	$\mu\text{g/g}$ (Fe en %)									
(cm)	Cu	Ni	Co	Cr	Zn	Pb	Cd	Ag	Mn	Fe
0 - 5	109	88.3	27.1	60.8	224	45.0	0.88	1.41	1412	3.79
5 - 10	110	99.8	31.7	61.1	229	39.2	1.77	2.30	456	3.64
10 - 15	109	93.3	30.5	63.2	230	45.7	< 0.40	2.14	385	3.63
15 - 20	98.8	87.3	30.4	68.5	215	48.5	2.67	1.96	363	3.55
20 - 25	80.4	65.6	26.1	56.7	185	40.0	0.45	2.16	351	3.60
25 - 30	67.0	57.9	21.6	55.3	160	36.9	0.40	1.26	329	3.65
30 - 35	43.5	51.6	22.1	50.7	135	31.5	1.83	1.29	345	3.27
35 - 40	65.1	68.8	29.7	70.6	148	34.5	1.83	2.02	354	4.12
40 - 45	78.7	57.2	26.7	56.5	157	47.0	2.30	2.02	342	3.54
45 - 50	101	72.0	29.5	61.5	186	52.6	1.82	3.08	328	3.91
50 - 55	106	79.8	32.6	67.3	190	43.5	2.25	1.09	335	3.91
55 - 60	94.5	76.6	30.6	70.3	185	39.7	3.13	1.61	345	3.97
60 - 66	73.5	61.6	23.0	65.0	167	39.9	4.04	1.62	341	3.52

NUCLEO B31

Sección	$\mu\text{g/g}$ (Fe en %)									
(cm)	Cu	Ni	Co	Cr	Cr	Cr	Cd	Ag	Mn	Fe
0 - 5	336	398	99.0	44.9	191	53.9	2.28	1.05	18849	3.60
5 - 10	344	406	101	40.5	205	68.3	2.72	1.63	19929	3.79
10 - 15	289	306	85.2	40.5	177	66.3	3.00	2.29	16008	3.58
15 - 20	345	433	87.9	40.9	196	63.8	2.83	1.78	21436	3.68
20 - 25	391	471	103	40.4	209	69.0	4.04	1.93	27850	4.01
25 - 30	312	203	106	42.9	167	60.0	3.00	1.41	11441	4.04
30 - 35	281	138	81.2	45.1	163	57.1	2.29	1.94	6290	4.26
35 - 40	282	146	84.2	47.4	170	45.1	1.58	1.58	6216	4.42
40 - 45	330	162	86.0	45.5	171	65.3	1.56	1.22	7417	4.08
45 - 50	360	177	90.2	48.2	173	61.0	1.61	1.07	8396	4.19
50 - 55	384	201	103	48.1	181	48.3	2.17	0.73	7844	4.21
55 - 60	396	196	102	49.1	187	55.0	2.33	0.90	7464	4.17
60 - 65	395	168	82.0	52.5	202	63.8	3.37	0.53	5618	4.61
65 - 70	308	119	37.3	70.8	194	62.8	1.59	0.87	2571	4.80
70 - 75	332	123	37.0	75.5	200	64.9	2.35	1.80	1381	4.50
75 - 80	347	115	29.5	68.5	197	61.6	3.43	1.08	1970	4.34
80 - 85	329	122	37.8	67.5	193	69.4	2.77	1.85	1476	4.81
85 - 90	318	128	31.0	64.0	190	55.6	2.36	1.45	1631	4.37
90 - 95	341	227	46.4	62.8	194	61.8	2.72	1.45	3136	4.38
95 - 105	423	152	71.4	65.0	195	54.7	2.67	1.42	6561	4.63

NUCLEO B32

Sección	$\mu\text{g/g}$ (Fe en %)									
(cm)	Cu	Ni	Co	Cr	Zn	Pb	Cd	Ag	Mn	Fe
0 - 5	258	337	67.8	42.5	445	40.3	1.83	1.83	33520	3.79
5 - 10	263	279	62.6	48.2	463	44.5	1.87	1.02	15632	3.96
10 - 15	224	258	39.5	45.3	486	40.8	1.85	3.03	5355	4.27
15 - 20	278	301	42.6	43.8	421	40.4	4.51	2.67	4409	4.05
20 - 25	261	306	54.3	42.5	449	45.3	4.33	2.42	4216	3.70
25 - 30	280	334	55.0	41.8	350	52.6	6.00	2.46	4619	3.77
30 - 35	268	457	67.5	44.2	326	59.0	5.37	2.77	6256	3.55
35 - 40	212	467	57.1	42.0	351	51.0	5.59	2.84	4523	3.60
40 - 45	200	234	42.4	38.1	296	39.5	4.66	2.93	3342	2.88
45 - 50	218	245	43.3	44.8	340	50.0	3.99	2.50	3309	3.52
50 - 55	221	260	44.9	44.4	335	49.1	4.35	2.44	3341	3.55
55 - 60	224	269	45.9	42.2	328	49.4	4.73	1.94	3203	3.63
60 - 70	231	298	42.0	49.2	399	47.9	5.00	1.81	3431	3.66
70 - 80	236	318	50.7	45.7	415	53.0	4.80	3.00	3591	3.77
80 - 88	230	494	56.7	44.3	389	53.0	2.98	2.64	3724	3.71

NUCLEO B33

Sección	$\mu\text{g/g}$ (Fe en %)									
(cm)	Cu	Ni	Co	Cr	Zn	Pb	Cd	Ag	Mn	Fe
0 - 5	123	142	39.9	39.4	317	28.8	1.25	0.83	10620	3.94
5 - 10	136	154	29.8	42.4	370	37.0	4.30	2.04	1704	4.00
10 - 15	120	138	30.9	38.7	355	32.0	0.82	1.31	1530	4.02
15 - 20	108	172	42.7	42.9	326	36.5	2.10	1.51	1668	4.06
20 - 25	118	190	41.0	45.4	350	43.2	2.50	2.00	2010	4.08
25 - 30	118	171	34.4	43.0	338	32.9	2.54	1.86	2009	4.15
30 - 35	110	163	33.5	40.5	326	33.4	1.80	2.20	1952	4.21
35 - 40	108	139	34.4	38.6	305	32.2	4.80	2.44	1898	4.01
40 - 45	104	150	31.8	43.7	285	36.4	2.94	2.18	1673	3.79
45 - 50	104	151	37.0	42.3	284	28.7	2.50	1.99	2005	3.76
50 - 54	107	165	37.1	42.7	277	44.6	1.75	2.23	2158	3.73

NUCLEO B34

Sección	$\mu\text{g/g}$ (Fe en %)									
(cm)	Cu	Ni	Co	Cr	Zn	Pb	Cd	Ag	Mn	Fe
0 - 5	96.6	106	35.7	118	295	40.1	2.64	1.16	2390	6.05
5 - 10	106	115	37.3	126	311	36.6	2.70	1.00	780	5.76
10 - 15	105	117	33.2	119	308	43.9	4.66	1.49	652	5.00
15 - 20	102	112	34.5	115	298	45.2	4.00	2.04	712	4.39
20 - 25	89.2	103	37.2	91.3	241	37.8	3.96	1.55	645	5.02
25 - 30	95.9	103	35.3	106	235	41.0	4.55	1.18	590	4.22
30 - 35	100	106	37.0	104	280	40.0	4.15	1.00	600	4.10

NUCLEO B35

Sección	$\mu\text{g/g}$ (Fe en %)									
(cm)	Cu	Ni	Co	Cr	Zn	Pb	Cd	Ag	Mn	Fe
0 - 5	91.2	81.5	18.2	66.7	243	31.3	1.43	1.43	2430	4.21
5 - 10	106	88.2	22.1	72.9	261	44.7	0.92	1.84	819	4.42
10 - 15	120	103	25.7	61.0	283	59.2	2.66	2.31	674	4.26
15 - 20	116	96.5	31.6	69.9	258	51.0	3.18	2.48	720	4.28
20 - 25	111	100	36.2	69.0	260	42.9	2.50	1.78	626	4.28
25 - 30	113	101	37.7	63.9	258	43.0	0.89	1.42	637	4.13
30 - 35	109	101	41.7	66.9	234	54.9	2.65	2.47	639	3.97
35 - 39	92.9	86.2	34.5	66.6	210	42.7	3.16	2.46	612	3.56

NUCLEO B36

Sección	µg/g (Fe en %)									
(cm)	Cu	Ni	Co	Cr	Zn	Pb	Cd	Ag	Mn	Fe
0 - 5	1.7	10.4	12.4	19.8	81.8	25.5	1.26	1.16	421	2.76
5 - 10	11.9	12.3	9.0	21.2	82.6	33.8	1.70	1.54	379	2.74
10 - 15	16.1	17.4	10.0	19.0	77.0	21.9	0.43	1.20	406	2.80
15 - 20	10.0	15.6	13.7	17.9	81.4	25.4	1.65	1.00	411	2.68
20 - 24	9.6	20.2	14.9	20.5	71.9	25.2	1.25	2.00	460	2.61

NUCLEO P4

Sección	µg/g (Fe en %)									
(cm)	Cu	Ni	Co	Cr	Zn	Pb	Cd	Ag	Mn	Fe
0 - 5	105	81.4	27.4	48.1	205	42.6	4.45	2.49	1929	3.45
5 - 10	105	86.6	28.1	53.4	216	27.5	3.83	2.37	397	3.55
10 - 15	113	91.9	23.0	56.9	228	39.1	4.14	1.98	374	3.59
15 - 20	126	92.1	31.7	54.0	240	46.2	3.72	2.66	352	3.54
20 - 25	123	95.0	30.7	55.8	249	51.0	4.10	2.88	356	3.64
25 - 30	114	89.8	31.5	55.6	227	34.3	3.69	2.11	369	3.55
30 - 35	110	92.5	30.0	55.5	226	38.1	4.39	1.93	367	3.67
35 - 40	111	94.7	35.1	59.6	235	42.8	4.83	2.15	387	3.85
40 - 45	107	88.5	32.7	57.8	254	35.7	3.84	2.20	380	3.73
45 - 50	104	84.6	30.5	59.3	245	34.7	4.10	1.96	433	3.77
50 - 55	106	81.8	30.0	56.4	246	42.0	4.04	2.30	397	3.76

BIBLIOGRAFIA

- BISCHOFF, J.L., G.R. HEATH and M. LEINEN, 1979. Geochemistry of deep-sea sediments from the Pacific Manganese Nodule Province: DOMES sites A, B and C, In: Marine Geology and Oceanography of the Pacific Manganese Nodule Province, J.L. Bischoff and D.Z. Piper (Eds.) Plenum Press, 397-436.
- BONATTI, E., J. HONNOREZ and G. FERRARA, 1971. Pedrotite-gabbro-basalt complex from the Equatorial Mid-Atlantic Ridge. *Royal Soc. London Philol. Trans.* A. 154, 643-645.
- BONATTI, E., T. KRAEMER and H. RYDELL, 1972. Classification and genesis of submarine iron-manganese deposits. In: Ferromanganese Deposits of the Ocean Floor, D.R. Horn (Ed.), IDOE Publ. 149-165.
- BREDER, R., 1982. Optimization studies for reliable trace metal analysis in sediments by atomic absorption spectrometric methods. *Fresenius Z. Anal. Chem.*, 313, 395-402.
- BURDIGE, D.J. and J.M. GIESKES, 1983. A pore water/solid phase diagenetic model for manganese in marine sediments. *Amer. J. Sci.* 283, 29-47.
- COLLEY, J.G. THOMPSON, T.R.S. WILSON and N.C. HIGGS, 1984. Post depositional migration of elements during diagenesis in brown clay and turbidite sequences in the North East Atlantic. *Geochim. Cosmochim. Acta* 48, 1223-1235.
- DSDP, 1982. Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project, vol. LXV, Washington, USA, 1483 pp.
- DYMOND, J., 1981. Geochemistry of Nazca Plate surface sediments: An evaluation of hydrothermal, biogenic, detrital and hydrogenous sources. *Geol. Soc. Am. Memo* 154, 133-173.
- FRANCHETEAU, J., H.D. NEEDHAM, P. CHOUCKROUNE, T. JULEAU, M. SEGURET, R.D. BALLARD, P.J. FOX, W. NORWAK, A. CARRANZA, D. CORDOBA, J. GUERRERO, C. RANGIN, H. BOUGALT, P. CAMBON and R. HEKINIAN, 1979. Massive deep sea sulfide-ore deposits discovered on the East Pacific Rise. *Nature*, 277, 523-530.
- GIESKES, J.M., H. ELDERFIELD, J.R. LAURENCE, J. JOHNSON, B. MEYERS and A. CAMPBELL, 1982. Geochemistry of interstitial waters and sediments, leg. 65, Gulf of California. In: Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project, vol. LXV, Washington, USA, 675-694.
- GRAYBEAL, A.L. and G.R. HEATH, 1984. Remobilization of transition metal in superficial pelagic sediments from the eastern Pacific. *Geochim. Cosmochim. Acta* 48, 965-975.

- HEATH, G.R. and J. DYMOND, 1977. Genesis and transformation of metalliferous sediments from the East Pacific Rise, Bauer Deep and Central Basin, northwest Nazca plate. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 88, 723-733.
- HUDSON, A. and M. BENDER, 1984. Hydrothermal iron in seawater the East Pacific Rise. *EOS, Trans. Am. Geophys. Union*, 65, 974 (Abstract).
- IAEA, 1985. Intercomparison of trace element measurements in marine sediment sample SD-N 1/2. Report No. 24. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Monaco, 74 pp.
- KRAUSKOPF, K.B., 1957. Separation of manganese from iron in sedimentary processes. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 12, 61-84.
- LARSON, R.L., 1972. Bathymetry, magnetic anomalies, and plate tectonic history of the mouth of the Gulf of California. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 83, 3345-3360.
- LESAGE, Ph., M. KASSER, J. PAGARETE, J.C. RUEGG, L. ORTLIEB, J. GUERRERO, N. DUCH, J. ROLDAN, F. CASTELLANOS, T. MONTANO, J.L. RODRIGUEZ y T. CALMUS, 1988. Mediciones geodésicas de largas distancias: aplicación al estudio del movimiento de placas en el Golfo de California. *Geofís. Int.*, 27, 3, 351-377.
- LYLE, M., 1985. The brown-green color transition in Marine sediments: A marker of the Fe (III) Fe (II) redox boundary. *Limnol. Oceanogr.*, 28, 5, 1026-1033.
- LYLE, M., G.R. HEATH and J.M. ROBBINS, 1984. Transport and release of transition elements during early diagenesis: sequential leaching of sediments from MANOP sites M. and H. Part I., pH 5 acetic and acid leach. *Geochim. Cosmochim. Acta* 48, 1705-1715.
- LYNN, D.C. and E. BONATTI, 1965. Mobility of Manganese in diagenesis of deep sea sediments. *Mar. Geol.*, 3, 457-474.
- MACDONALD, K.C., K. KASTENS, F.N. SPIESS and S.P. MILLER, 1979. Deep tow studies of the Tamayo transform Fault. *Mar. Geophys. Res.*, 4, 37-70.
- MOLNAR, P., 1973. Fault plane solutions and direction of motion in the Gulf of California and Rivera fracture zone. *Bull. Geol. Soc. Am.* 84, 1651-1665.
- PAEZ-OSUNA, F., J.I. OSUNA-LOPEZ, L.D. MEE-MILLER y M.I. ABDULLAH, 1986. Modificación a un nucleador ligero y económico para muestrear sedimentos sin disturbarlos: Nota Científica. *An. Inst. Cienc. del Mar y Limnol. Univ. Nal. Autón. de Méx.*, 13, 1, 449-454.
- PAEZ-OSUNA, F., 1988. Geoquímica de los metales pesados en los sedimentos del Mar de Cortés, Tesis Doctoral, UACPyP del CCH, Univ. Nac. Autón. de Méx., Estación Mazatlán, 396 pp.
- PETER, J.M., S.D. SCOTT and W.C. SHANKS, 1987. Mineralogy and geochemistry of hydrothermal vent deposits in the Southern trough of Guaymas Basin, Gulf of California. Conference in the Mexican-American Guaymas Basin, Expedition 1985, February 1987. Mazatlán, México. NSF and CONACYT. (Abstract) 4 pp.
- SEYFRIED, W.E. and J.L. BISCHOFF, 1977. Hydrothermal transport of heavy metals by seawater. The role of seawater/basalt ratio. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 34, 71-77.
- VAN DAMM, K.L., 1983. Chemistry of submarine hydrothermal solutions at 21°N East Pacific Rise and Guaymas Basin, Gulf of California. Ph.D. Thesis, MIT, Woods Hole Oceanography Inst. 240 pp.
- WEISS, R.F., 1977. Hydrothermal manganese in the deep sea scavenging residence time and Mn/³He relationships. *Earth Planet Sci. Lett.*, 37, 257-262.

F.Páez-Osuna y J.I. Osuna-López

Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM,
Estación Mazatlán, Apdo. Postal 811, Mazatlán 82000,
Sinaloa, México.