

Diagénesis temprana de metales pesados en sedimentos del Pacífico adyacente a la boca del Golfo de California, México

Federico Páez-Osuna y José I. Osuna-López

Laboratorio de Química Marina, Estación Mazatlán, Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM

Recibido: 28 de febrero, 1991; aceptado: 18 de octubre, 1991.

RESUMEN

Con objeto de estudiar la partición geoquímica de los metales pesados, se utilizaron dos núcleos de sedimentos, procedentes de dos sitios adyacentes a la boca del Golfo de California en el Pacífico mexicano. Fueron separadas cinco fracciones operacionalmente definidas y las concentraciones de Cd, Cu, Co, Cr, Fe, Mn, Ni, Pb y Zn se determinaron en cada una de las muestras por técnicas de absorción atómica. Los resultados indican una conducta contrastante de las fases y los elementos asociados durante la diagénesis temprana. Los datos de la fracción carbonatada, en el núcleo colectado en la depresión de la cuenca Mazatlán, permiten sugerir la formación de siderita (FeCO_3) con la profundidad de la columna sedimentaria, con la presencia del Pb como accesorio. Se propone un modelo simple para explicar la transferencia de las formas del Mn y Fe oxidable y reducible a la litogénica (silicoaluminatos); siendo esta transformación de manera gradual y conforme se sepulta el material sedimentario, demostrándose un cambio concordante de tipo exponencial en las proporciones de los metales en las tres fases.

PALABRAS CLAVE: Fracción geoquímica, diagénesis, columna sedimentaria, metales pesados, Golfo de California.

ABSTRACT

Core sediments from two sites in the Mexican Pacific near the mouth of the Gulf of California, were studied to determine the geochemical partition of heavy metals. Five operationally defined fractions were separated and the concentrations of Cd, Cu, Co, Cr, Fe, Mn, Ni, Pb and Zn were determined in each sample by atomic absorption. The results indicate a contrasting behaviour of the phases and elements associated during early diagenesis. The carbonated fraction in the core collected from the Mazatlan basin suggests the formation of siderite (FeCO_3) with sedimentary depth; Pb is present as accessory. A simple model explains the transfer of Mn and Fe from oxidizable and reducible to lithogenic (silicate-aluminates) forms. As the sedimentary material is buried an exponential concordant change of metal contents in all three phases occurs.

KEY WORDS: Geochemical fraction, diagenesis, sedimentary column, heavy metals, Gulf of California.

INTRODUCCION

La diferenciación de la forma química de metales ha sido particularmente útil para reconocer las reacciones diagenéticas. Desde las primeras investigaciones en los depósitos pelágicos, Goldberg y Arrhenius (1958), determinaron la distribución de elementos en minerales ígneos y fases autigénicas (principalmente óxidos y apatita) mediante el tratamiento químico con ácido etilen-diamino tetraacético (EDTA) y ácidos clorhídrico y acético diluidos. Posteriormente, Chester y Hughes (1967), introdujeron un agente ácido-reductor combinado de clorhidrato de hidroxilamina en ácido acético, para separar minerales de hierro y manganeso, minerales carbonatados y elementos absorbidos de los depósitos marinos. A partir de estos estudios se han desarrollado numerosos esquemas de extracción selectiva (Bruland *et al.*, 1974; Tessier *et al.*, 1979; Kersten y Forstner, 1987), en los cuales se han definido operacionalmente varias fracciones geoquímicas en los sedimentos y el material suspendido: (a) fracción intercambiable/absorbida (I/A), (b) fracción carbonatada (C), (c) fracción reducible (óxidos de hierro y manganeso) (R), (d) fracción oxidable (sulfuros y/o material orgánico) (O/S) y (e) fracción residual o litogénica (R/S).

En el área en estudio del presente trabajo, Paéz-Osuna y Osuna-López (1989, 1990a) previamente han descrito la composición química de fragmentos de basalto y aspectos genéticos de los sedimentos, con énfasis en la naturaleza de los componentes sedimentarios y su relación con el efluente hidrotermal de la dorsal de 21°N. En la presente investigación, se discuten los resultados de las extracciones para diferenciar las fracciones geoquímicas operacionalmente definidas de nueve metales pesados (Cd, Cu, Co, Cr, Ni, Pb, Zn, Mn y Fe) en dos núcleos, uno colectado en la depresión principal de la Cuenca de Mazatlán y otro en el Pacífico Oriental pelágico adyacente.

AREA EN ESTUDIO

El Pacífico mexicano adyacente a la boca del Golfo de California (Figura 1) constituye el límite de las placas Pacífica y Norteamericana, en las zonas de fractura Tamayo y Rivera (Larson, 1972) que se conectan con la Dorsal del Pacífico Oriental. Acerca de la Cuenca Mazatlán donde se colectó el núcleo B29, se conoce que la tasa de acumulación sedimentaria es alta y en su mayor parte está

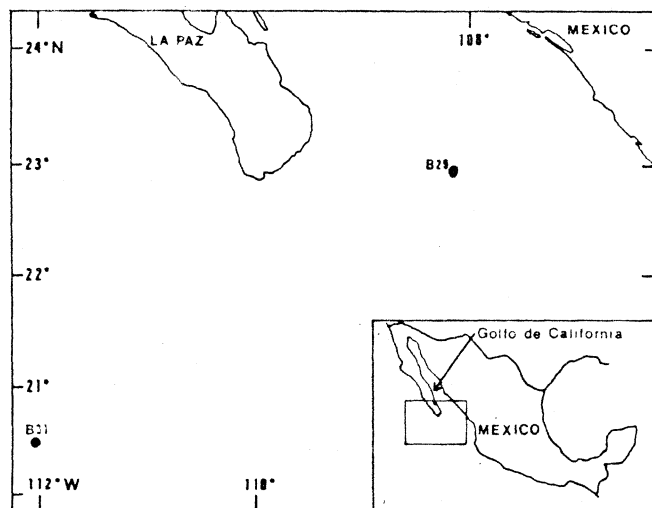


Fig. 1. Localización de los sitios de colecta.

constituída por arcillas hemipelágicas y limos de origen terrígeno (Gieskes *et al.*, 1982). En el estudio citado se señala 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. Desde el punto de vista sedimentológico se pueden encontrar más detalles del área en los estudios realizados en el programa del Deep Sea Drilling Project (DSDP, 1982). MacDonald *et al.*, (1979) y Lesage *et al.*, (1988) describen ampliamente la región en sus aspectos estructurales y tectónicos.

METODOLOGIA

En la Tabla 1 se muestra la localización y profundidades de los sitios de colecta. La colección de los sedimentos se realizó mediante un nucleador de gravedad modificado (Páez-Osuna *et al.*, 1986); la extrusión, corte y exprimido de los sedimentos fué realizada a bordo. La preservación de la fase sólida se hizo mediante bolsas de polietileno selladas después de evacuar el aire con helio y refrigeración a 4°C. Los dos núcleos se seccionaron en intervalos de 5 cm; una vez en el laboratorio el material fue secado, molido y tamizado para su análisis. El material digerido fué centrifugado y diluido apropiadamente. Las concentraciones de los metales "totales" en las muestras fueron determinadas a la flama en un espectrofotómetro de absorción atómica (Shimadzu AA-630-12). Los detalles del procedimiento analítico se presentan en Páez-Osuna, (1988), y Páez-Osuna y Osuna-López, (1990b). A continuación y con objeto de determinar la partición de los metales entre las diferentes fracciones geoquímicas en los sedimentos, se empleó el procedimiento propuesto por Meguellati *et al.*, (1983), el cual es una adaptación del método secuencial de Tessier *et al.*, (1979). En la Tabla 2 se presenta de manera resumida el procedimiento analítico utilizado.

El carbono orgánico (C-org) se cuantificó por la técnica de Suzuki *et al.*, (1983). Para ello se empleó un analizador de carbono de infrarrojo (Shimadzu TOC-10 B). En una primera digestión con ácido fosfórico se libera el bióxido de

carbono derivado de los carbonatos y en una segunda digestión se oxida la materia orgánica presente en el material residual con dicromato de potasio y ácido sulfúrico, liberándose más bióxido de carbono siendo éste el que se cuantifica como C-org. En niveles de 0.5% una réplica de seis determinaciones reveló un coeficiente de variación del 10%. Una muestra con 2.5% de C-org, presentó un coeficiente del 4%.

DISCUSION Y RESULTADOS

En las Tablas 3-11 (apéndice 1) se presentan los resultados de los análisis en cada una de las secciones de ambos núcleos. En un estudio anterior (Páez-Osuna y Osuna-López, 1990a) se discuten y presentan los resultados sobre el contenido total de metales pesados de este mismo material. Si se comparan los porcentajes de los metales de cada una de las fracciones químicas de los dos núcleos, es interesante notar que mientras en el núcleo B29 predominan en la fracción litogénica de los estratos superiores (0-5 cm), el cobalto (59.1%), cromo (73.8%), zinc (64.1%), plomo (61.7%), hierro (90.8%), níquel (41.1%) y manganeso (44.7%), en el núcleo B31 de la zona pelágica se hallan principalmente asociados a la misma fracción el cromo (80.3%), zinc (55.6%), plomo (70.5%) y hierro (78.9%). La diferencia entre el número de elementos predominantemente asociados a la fracción litogénica en los dos núcleos es consecuencia de las diferentes condiciones de depósito. Los sedimentos del núcleo B29 están constituídos por material hemipelágico rico en diatomeas (Gieskes *et al.*, 1982) con redox reducidos, concentraciones de carbono orgánico relativamente alto (2.2 - 2.6%) y una coloración típicamente verde olivo hacia el fondo (Páez-Osuna, 1988); por su parte, el núcleo pelágico B31 está constituido por material arcilloso de coloración café-rojiza, redox oxidantes y una concentración de materia orgánica relativamente baja (0.15 - 0.73% como C-org). La secuencia de mayor a menor porcentaje de elementos asociados al material litogénico, que involucra a las estructuras de los silicoaluminatos (minerales arcillosos, feldespatos, anfíboles, etc) en el núcleo B31 tiene el siguiente orden:



el cual, con la excepción del manganeso, es similar al del particulado de los ríos en general (Martin y Maybeck, 1979). Esto permite sugerir que los metales enlazados a la fracción residual o litogénica efectivamente representan a aquellos metales asociados a minerales que resisten los cambios durante la erosión química y la diagénesis temprana.

Entre los elementos que sobresalen por sus mayores proporciones asociadas a la fracción litogénica, en ambos núcleos, están el cromo y hierro, metales que junto con el rubidio y zirconio se han señalado como elementos de origen detrítico en los sedimentos pelágicos (Turekian, 1967). Junto con la fracción litogénica, la oxidable (asociada con la materia orgánica y/o sulfuros) es en proporción la más importante para el cobre, cadmio, cobalto, níquel, zinc y manganeso en el núcleo pelágico, y para el cadmio, plomo

Tabla 1

Localización y profundidad de los sitios de colecta.

Núcleo	Profundidad (m)	Latitud Norte	Longitud Oeste	Largo de Muestra (cm)
B29	3180	22° 56.8	108° 07.5	70
B31	3410	20° 32.2	112° 01.6	105

Tabla 2

Procedimiento de la extracción secuencial utilizada para diferenciar las fracciones geoquímicas operacionalmente definidas (modificada de Meguelli *et al.*, 1983).

Fracción extraída	Procedimiento
(1) Adsorbida o intercambiable (I/A)	1M BaCl ₂ , pH = 7, 2 hr/25°C agitación continua
(2) Oxidable (O/S)	30% H ₂ O ₂ + 0.02 M HNO ₃ (5V + 3V), 5 hr, agitación + 1 hr 85°C, extrayendo con CH ₃ COONH ₄ 3.4 M, 1 hr agitando
(3) Carbonatos (C)	CH ₃ COONa 1 M, pH 5 (CH ₃ COOH), 5 hr
(4) Reducible (R)	0.1 M NH ₂ OH-HCl en CH ₃ COOH 25% (V/V) 6 hr, 90°C, agitación ocasional; extracción con CH ₃ COONH ₄ 3.5 M, 1 hr agitando
(5) Residual (R/S)	"Total" - (I/A + O/S + C + R)
(6) "Total"	10 ml HNO ₃ : HCl (3V: V) 130°C, en el sistema de descomposición múltiple (Breder, 1982).

y manganeso en el núcleo hemipelágico. Debido al escaso contenido de materia orgánica y condiciones redox en el ambiente pelágico, resulta difícil explicar las proporciones importantes de ésta última fracción en el núcleo B31. Se debe muy probablemente a que parte de los óxidos moderadamente estables del manganeso son atacados durante la extracción con peróxido, que se hace antes de emplear el clorhidrato de hidroxilamina (Tabla 2), de forma tal, que el manganeso y otros metales liberados se suman y se consideran asociados a la fracción oxidable. Esta suposición se apoya en el hecho que algunos óxidos forman complejos con el material húmico de los sedimentos (Tschapeck y Masowski, 1976). Este problema de selectividad en la metodología empleada provoca que las concentraciones de va-

rios elementos en la fracción reducible (asociados a los óxidos de hierro y manganeso) sea aparentemente menor, y en cambio mayor en la fracción oxidable.

En las fracciones intercambiable/adsorbida y carbonatada se tuvieron los menores niveles de concentración de los nueve metales analizados. En el caso de la primera fracción sólo se pudieron detectar manganeso y níquel en el núcleo B29, y manganeso y hierro en el núcleo B31. En el núcleo hemipelágico el porcentaje de manganeso constituyó hasta un 8.4%, mientras que en el núcleo pelágico la proporción fue inferior al 0.2%, lo que pone en evidencia nuevamente las diferencias de condiciones redox para ambos depósitos.

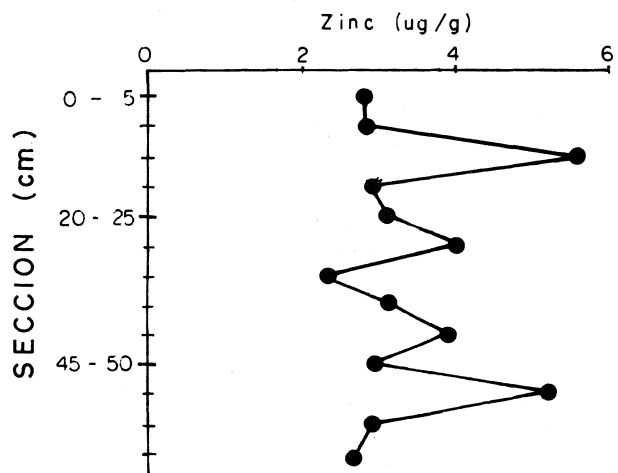
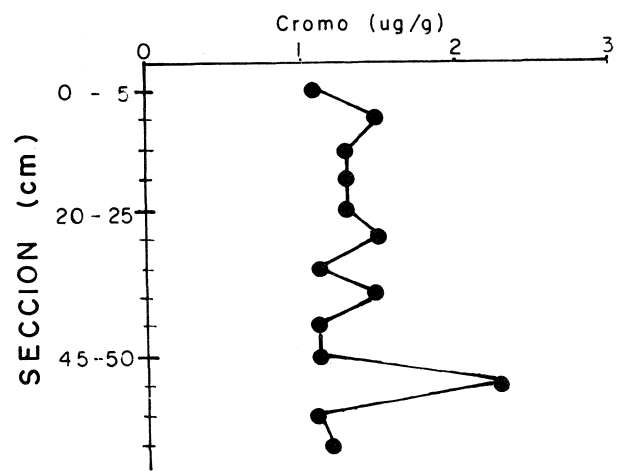
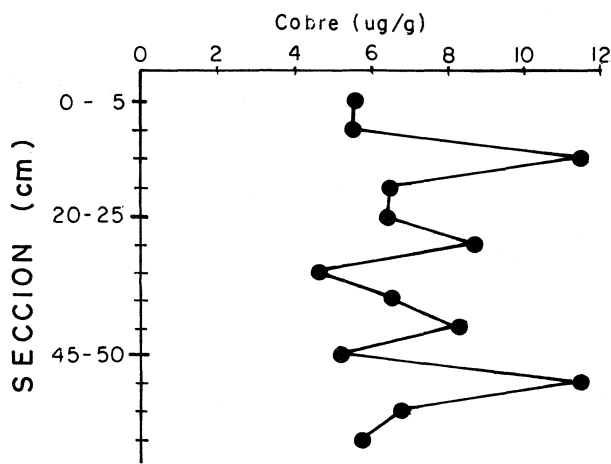
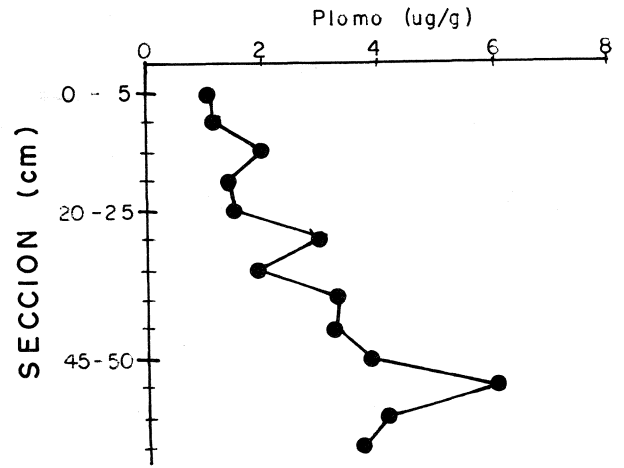
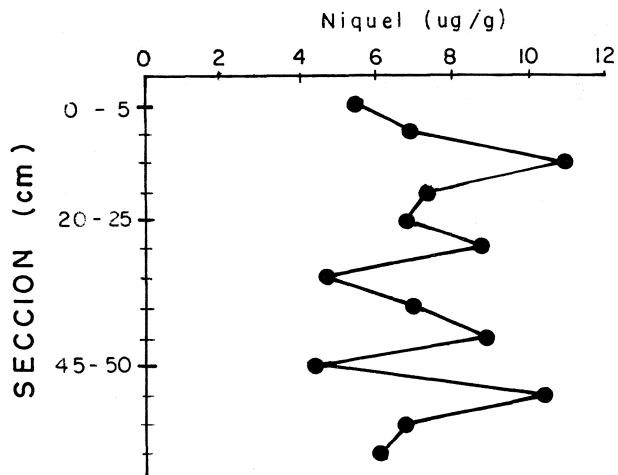


Fig. 2. Perfil de la concentración de Ni, Cu, Zn, Pb y Cr asociados a la fracción carbonatada en el núcleo B29 de la Cuenca Mazatlán.

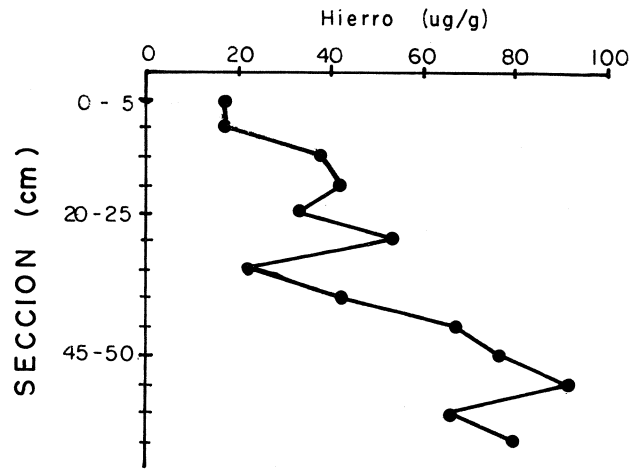
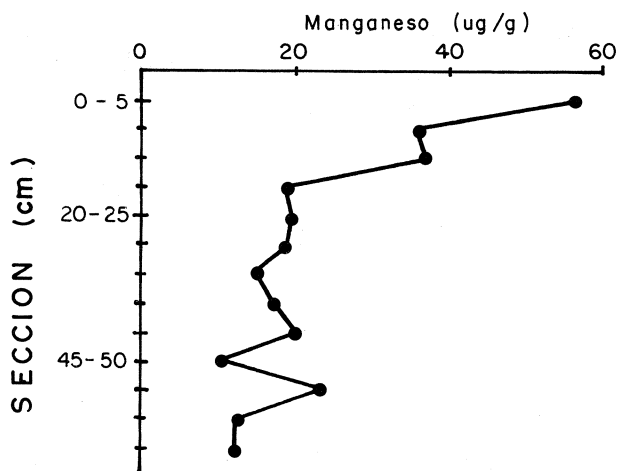


Fig. 3. Perfil de la concentración de Mn y Fe asociados a la fracción carbonatada en el núcleo B29 de la Cuenca de Mazatlán.

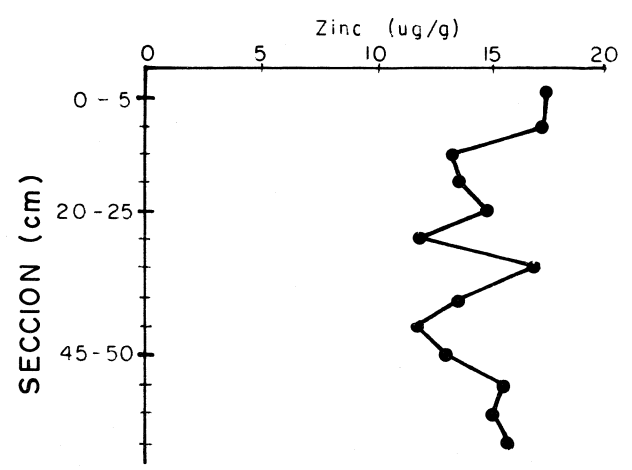
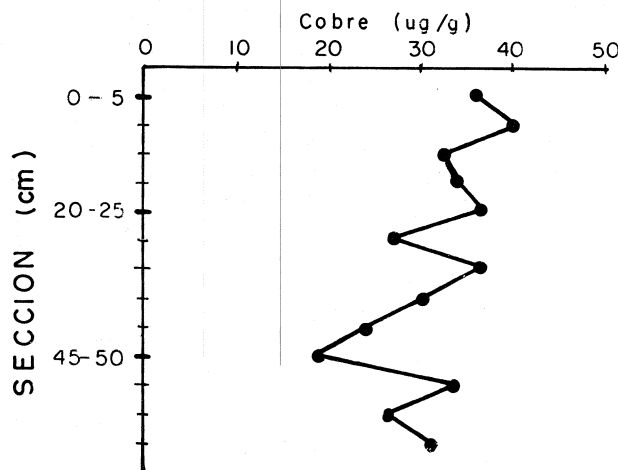
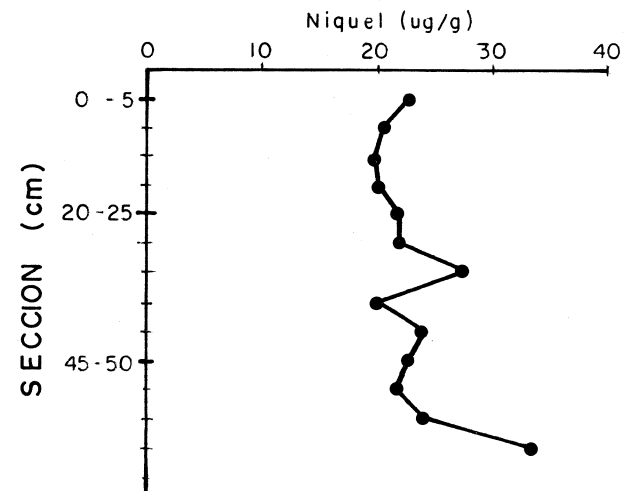
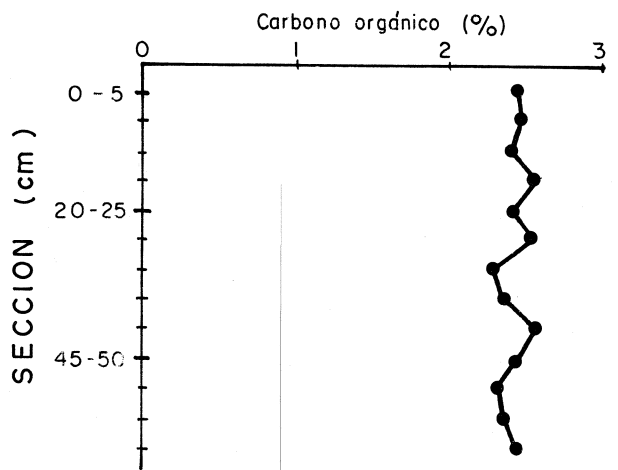


Fig. 4. Perfil de la concentración de Carbono Orgánico (C-org), y de Cu, Ni y Zn asociados a la fracción oxidable en el núcleo B29 de la Cuenca de Mazatlán.

En las Figuras 2-6 se presentan algunos perfiles de concentración de metales asociados a las distintas fracciones de los sedimentos en el núcleo de la cuenca Mazatlán. Nótese, para el caso de la fracción carbonatada, que a pesar de las ba-

jas concentraciones de níquel, cobre, zinc, plomo y cromo ($1-12 \text{ ug}\cdot\text{g}^{-1}$), la mayoría muestra una tendencia a aumentar en su concentración con la profundidad de la columna sedimentaria, siendo la tendencia del plomo semejante a la del

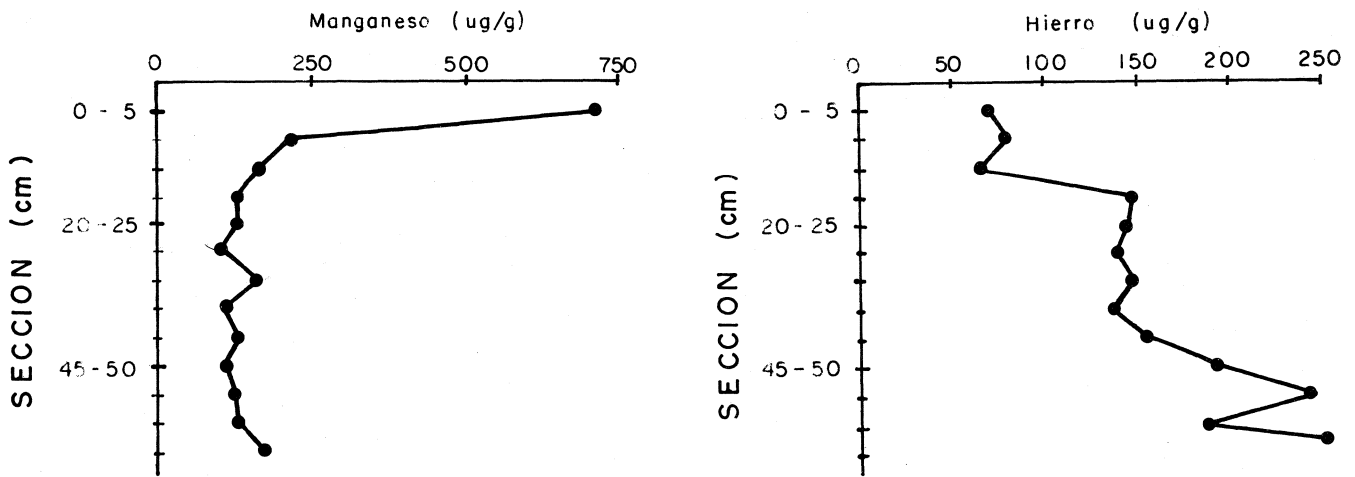


Fig. 5. Perfil de la concentración de Mn y Fe asociados a la fracción oxidable en el núcleo B29 de la Cuenca Mazatlán.

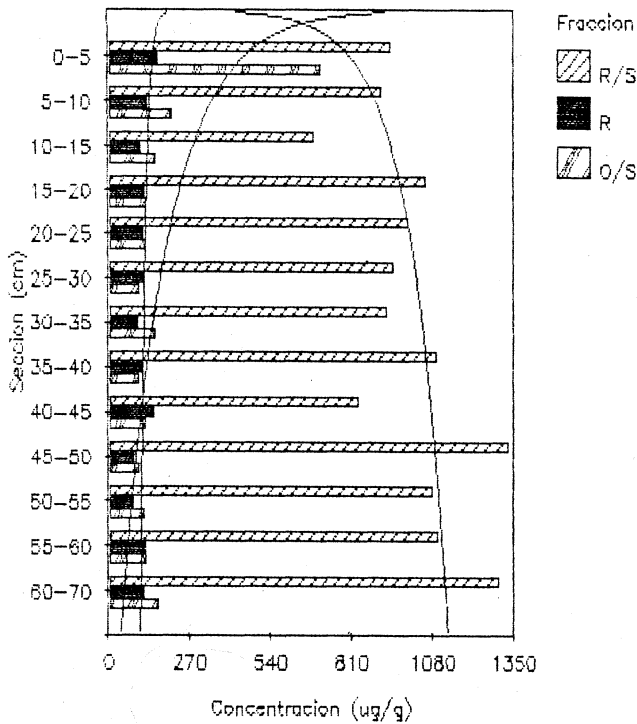


Fig. 6. Perfil de la concentración de Mn en las fracciones oxidable, reducible y litogénica en el núcleo B29 de la Cuenca Mazatlán.

hierro (Figuras 2 y 3). Las concentraciones del hierro ciertamente más elevadas ($10-90 \text{ ug.g}^{-1}$) asociadas a la fracción carbonatada, permiten sugerir que en la fase sólida se halla presente la siderita (FeCO_3), mineral que se supone coexistir en los diagramas redox con valores de pH entre 8 y 10 y redox reductores (Stumm y Morgan, 1981). Los perfiles del hierro asociado a la fracción carbonatada (Figura 3) y los valores de pH y del potencial redox medidos (Páez-Osuna, 1988), en el núcleo B29 son consistentes con el campo de estabilidad teóricamente deducido. Puede suponerse que hay un proceso de formación de la siderita en este depósito

con la presencia de varios metales (Cu, Zn, Ni, Cr y Pb) como accesorio, conforme se sepultan las capas de los sedimentos hacia el fondo.

En la fracción carbonatada del núcleo pelágico (Figura 12), se observó una tendencia general en el hierro a decrecer con la profundidad, mientras que el níquel y cobre tienden a aumentar en su concentración hacia el fondo. Hay un cierto enriquecimiento en los estratos intermedios (25-65 cm), el cual concuerda con el perfil del hierro.

En la fracción oxidable del núcleo hemipelágico (que involucra operacionalmente a la materia orgánica y/o los sulfuros), se tienen diferentes tendencias en los perfiles de los metales. Cromo, cobalto y cadmio muestran una tendencia a decrecer con la profundidad, al igual que cobre y zinc con un perfil similar al del manganeso y níquel al del hierro (Figuras 4 y 5). En el perfil de la Figura 4, es interesante observar como el C-orgánico se mantiene con una imperceptible tendencia a decrecer. En el núcleo pelágico el patrón es más simple. Con excepción del cromo, los demás metales analizados de la fracción oxidable presentaron un mismo patrón general a decrecer con la profundidad del núcleo. (Véanse las Figuras 7 y 8).

En el núcleo hemipelágico los perfiles de la fracción oxidable correspondiente a los metales analizados pueden explicarse parcialmente mediante la distribución del carbono orgánico en la columna sedimentaria. Las condiciones reducidas ponen en evidencia la coexistencia de sulfuros; éstos deben interaccionar con los metales y contribuir a la precipitación o disolución de minerales de azufre. Diferentes investigadores (Berner, 1977; Murray *et al.*, 1978; Boulegue *et al.*, 1982) han establecido que la solubilidad y precipitación del hierro en ambientes reducidos está limitada principalmente por la reacción con el ácido sulfhídrico, de manera que la solubilidad de otros metales como el cobre, cadmio, cromo y plomo también tiende a incrementarse en las aguas sulfídicas (Gaillard *et al.*, 1986). La naturaleza de la fase sólida que precipita en las aguas ricas en H_2S es desconocida (Dyrssen, 1985). Al hierro se le ha

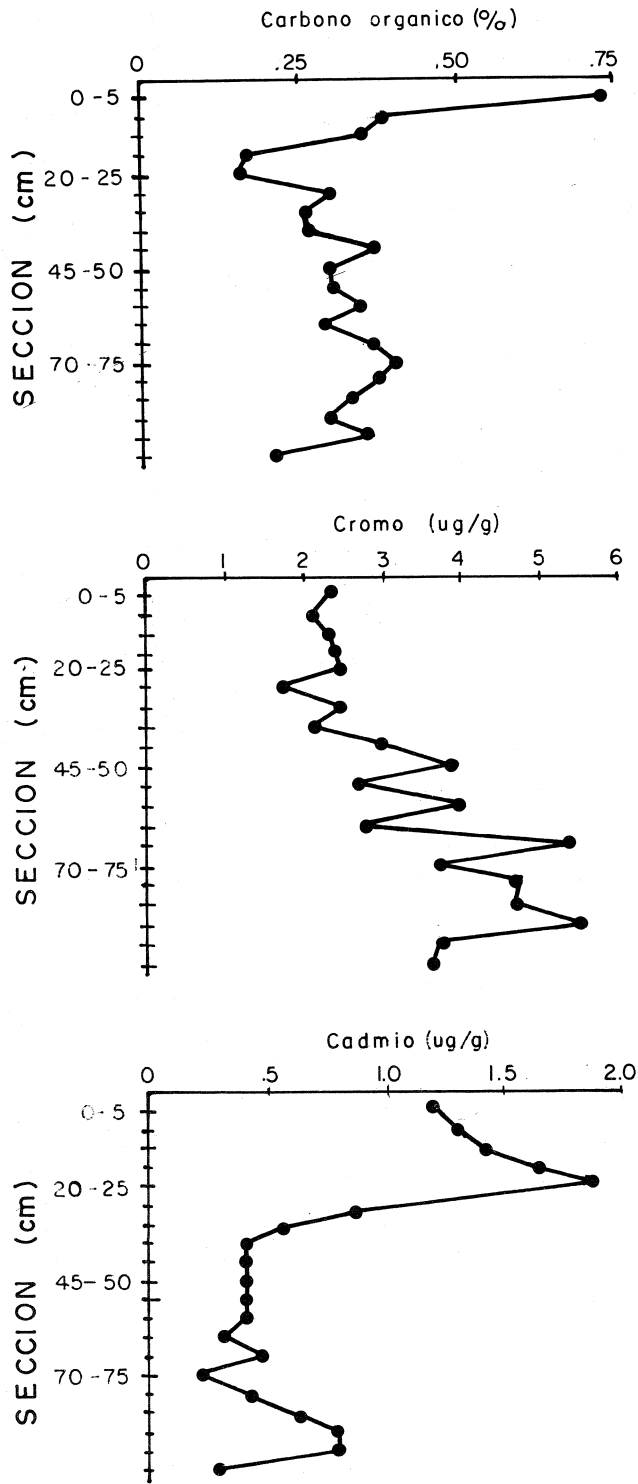


Fig. 7. Perfil de la concentración de C-org y de Cr y Cd asociados a la fracción oxidable en el núcleo pelágico B31.

considerado siempre como el metal que precipita principalmente en los diferentes compuestos sulfídicos (Goldhaber y Kaplan, 1974; Berner, 1984). Según Franson y Leckie (1978), los metales pesados son capturados por los sulfuros de hierro en vez de tender a precipitarse puramente como sul-

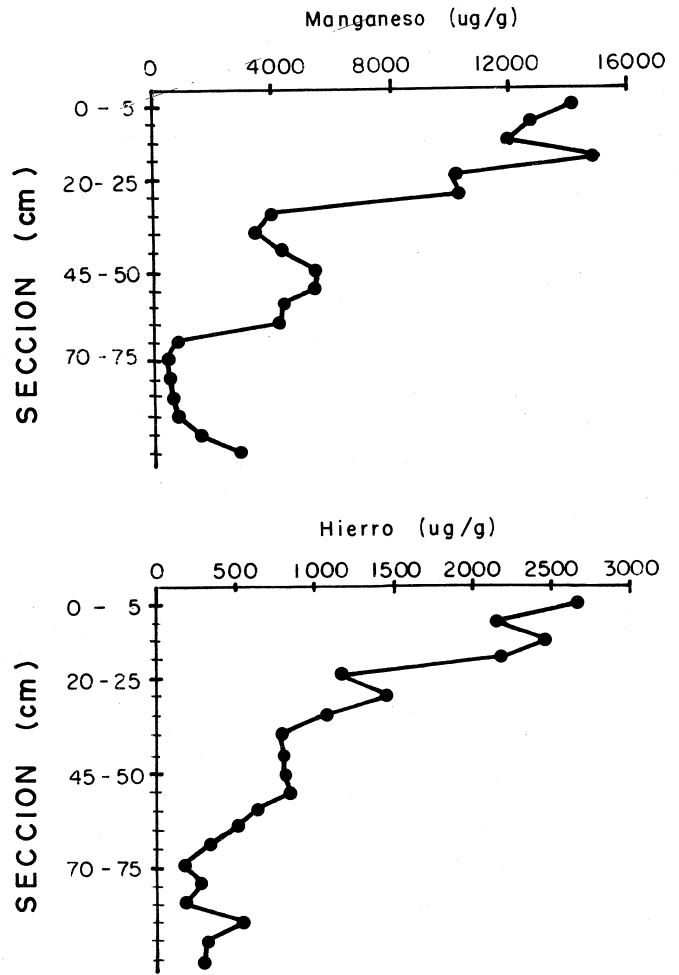


Fig. 8. Perfil de la concentración de Mn y Fe asociados a la fracción oxidable en el núcleo pelágico B31.

furos. Esto permite suponer que los sulfuros son eficientes en sustraer los metales de las aguas intersticiales. Recientemente Jean y Bancroft (1986) demostraron experimentalmente que los sulfuros minerales, tales como $Fe_{1-x}S$, FeS_2 , ZnS , y PbS son excelentes agentes capturadores de plomo, zinc y cadmio. Encontraron que los sulfuros adsorben la mayor proporción de zinc y cadmio entre valores de pH de 6-8 y 7-9 respectivamente, intervalos que corresponden con los medidos en los sedimentos del núcleo B29 (Páez-Osuna, 1988).

En el caso del cadmio, en ambos tipos de depósitos se encontró que la mayor parte de este elemento se halla asociada a la fracción de la materia orgánica y los sulfuros (Apéndice 1). Si bien los perfiles del cadmio y el C-org en ambos sitios presentan la misma tendencia a decrecer con la profundidad, en el núcleo B31 no hay una correlación directa entre las concentraciones, lo cual hace difícil suponer que el cadmio esté asociado a la fracción oxidable. En cambio el cadmio y el manganeso supuestamente asociados a la fracción oxidable muestran una correlación significativa ($r=0.79$), que hace suponer que el cadmio se asocia a los óxidos moderadamente y débilmente estables del mangane-

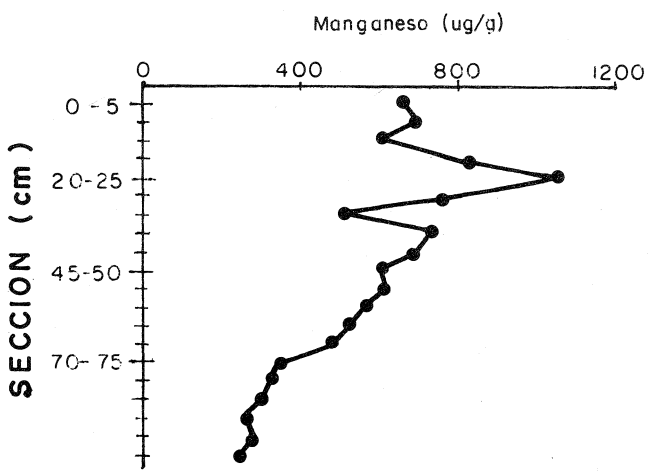
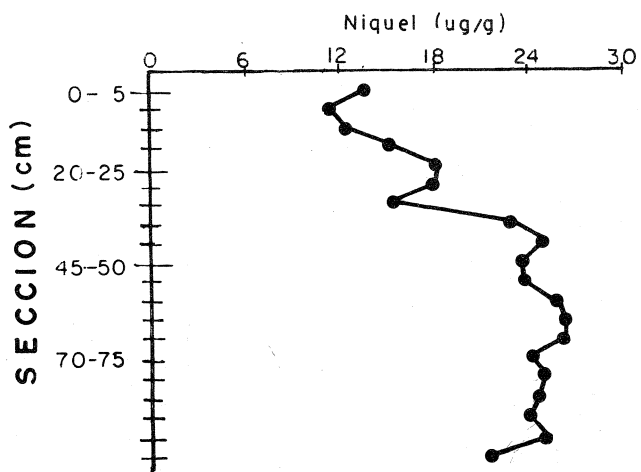
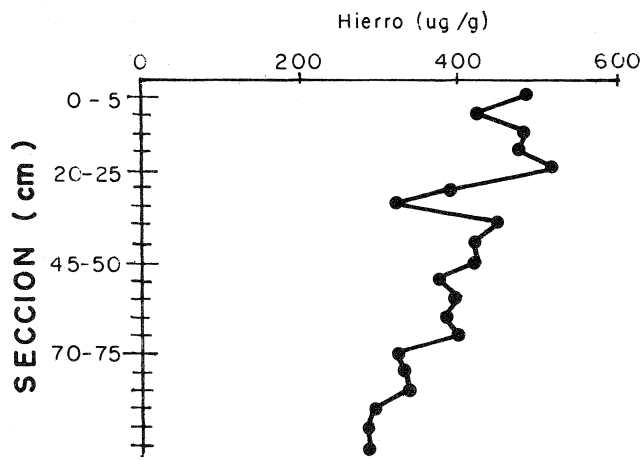
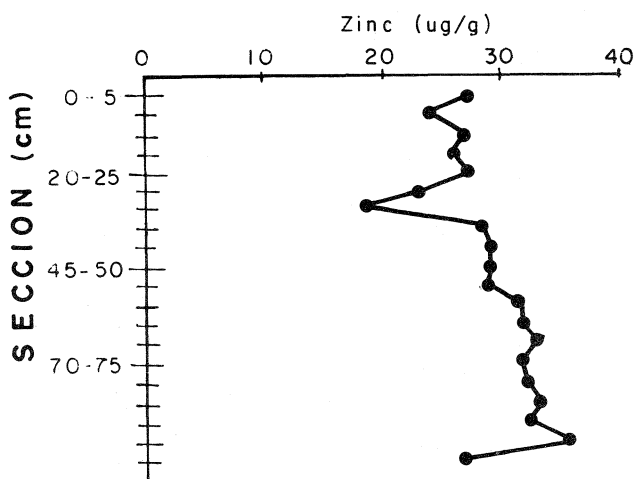
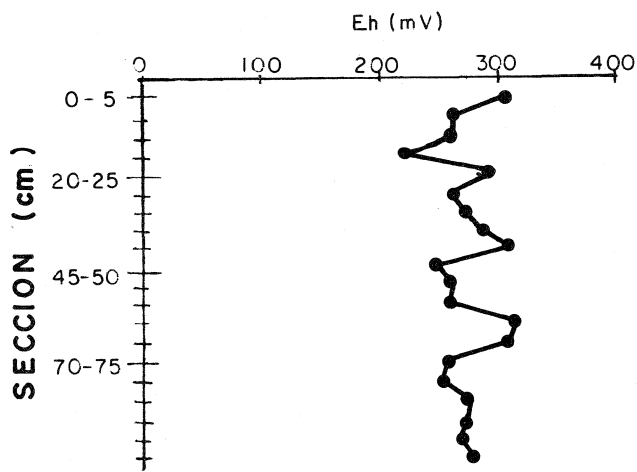
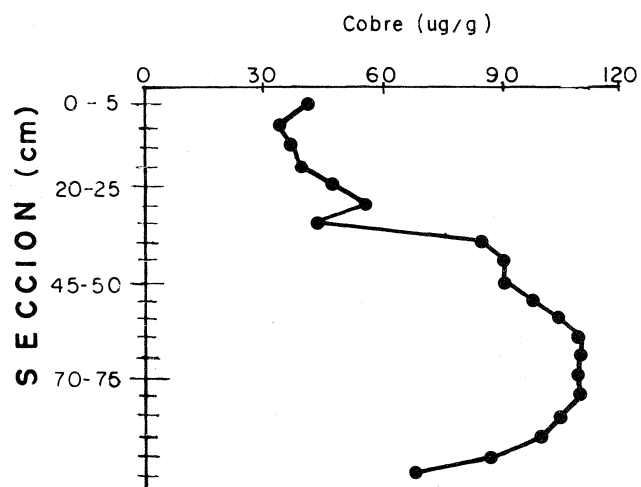


Fig. 9. Perfil de la concentración de Cu, Zn y Ni asociados a la fracción reducible en el núcleo pelágico B31.

Fig. 10. Perfil del potencial redox y la concentración de Fe y Mn asociados a la fracción reducible en el núcleo pelágico B31.

so y que son atacados por el peróxido. En el núcleo B29, que contiene más materia orgánica (hasta 2.6% como C-org), la correlación entre el cadmio y el carbono orgánico es excepcionalmente significativa, con un coeficiente de correlación lineal de $r=1.00$. El predominio del cadmio en la fracción oxidable de los fondos sedimentarios puede sustentarse en el hecho de que varios estudios han demostrado que la biogeoquímica de este elemento está dominada fuertemente por el ciclo de la materia orgánica. Bender y Gagner (1976) y Bruland (1980), entre otros, han sugerido que el cadmio en el ambiente marino es fijado por el fitoplancton en las aguas superficiales y que es posteriormente transportado hacia los fondos asociado a los restos de estos organismos. Cuando el detritus orgánico que contiene cadmio es destruido, el metal es liberado junto con otros productos de la mineralización. Evidentemente la degradación aeróbica del detritus orgánico recién depositado debe ser más intensa en las secciones superficiales de la columna sedimentaria, y así parte del cadmio enlazado orgánicamente será solubilizado antes de ser sepultado dentro de la capa reducida de los sedimentos. El cadmio liberado en forma disuelta es libre para transportarse, pero si el metal se sobresatura con el sistema del H_2S , lo cual ocurre en redox reducidos (como en el caso del núcleo hemipelágico) y en las capas subsuperficiales, puede precipitarse acompañando generalmente a otros metales.

En cuanto a la fracción reducible, las concentraciones encontradas en ambos núcleos fueron comparables, siendo (para la mayoría de los metales) ligeramente mayores las del núcleo pelágico, no obstante que los óxidos moderadamente estables del manganeso son recuperados en la frac-

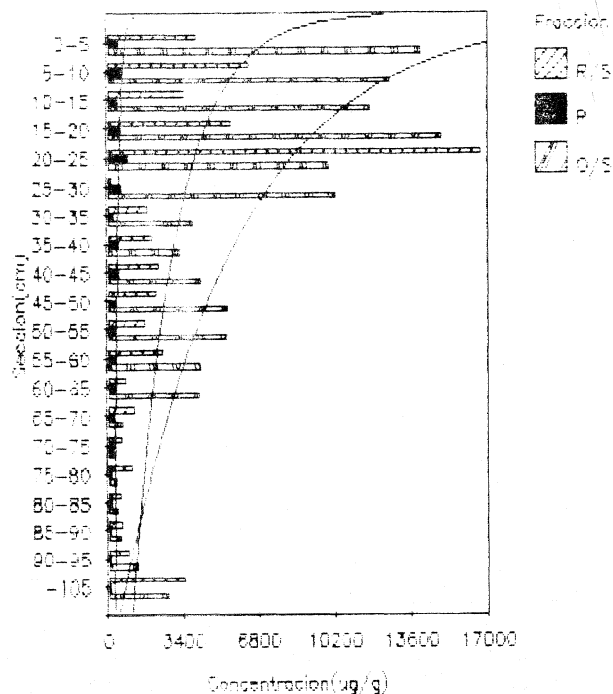


Fig. 11. Perfil de la concentración de Mn asociado a las fracciones oxidable, reducible y litogénica en el núcleo pelágico B31.

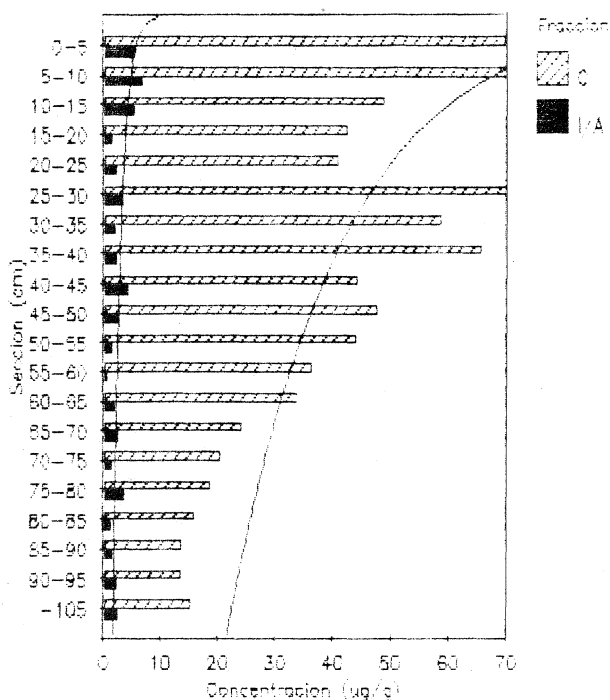


Fig. 12. Perfil de la concentración de Fe asociado a las fracciones carbonatada e intercambiable/adsorbible en el núcleo pelágico B31.

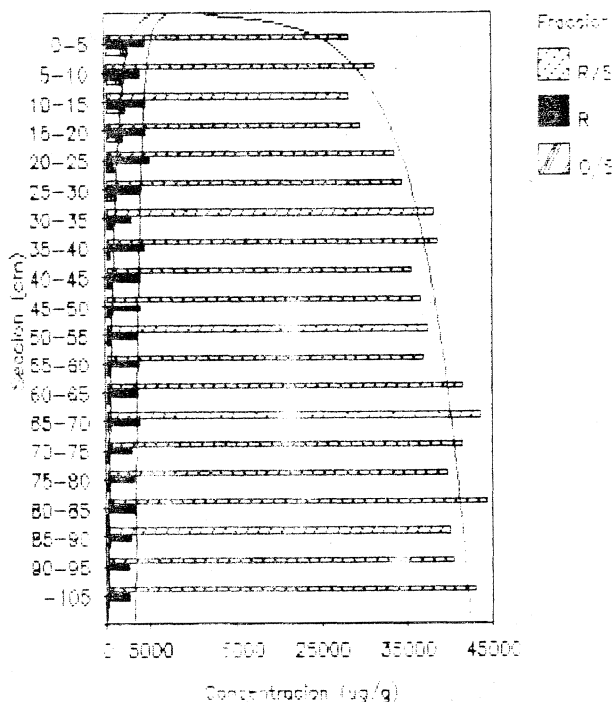


Fig. 13. Perfil de la concentración de Fe asociado a las fracciones reducible, oxidable y litogénica en el núcleo pelágico B31.

ción definida como oxidable. Llama la atención el comportamiento de los metales en el núcleo B31, como el cobre, zinc y níquel (Figura 9). Estos muestran un máximo subsuperficial (35-95 cm) que contrasta con el del manganeso

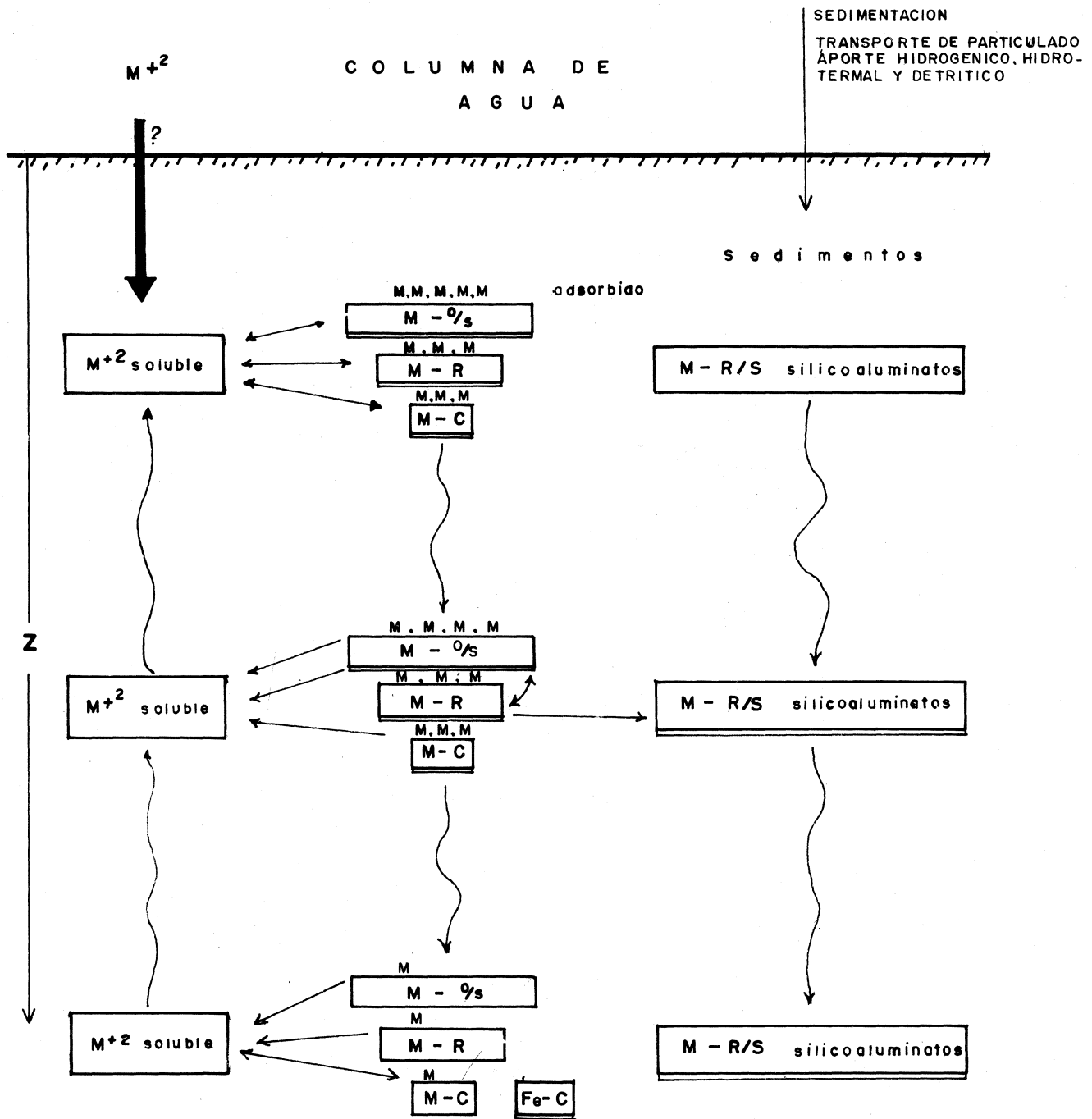


Fig. 14. Modelo diagenético esquematizado de transformación de las formas oxidable y reducible para el manganeso y hierro.

y hierro, cuyo perfil tiene una tendencia más semejante a la del potencial redox (Figura 10). Otro aspecto notable de este núcleo, son las concentraciones relativa y total del manganeso en las fracciones más importantes. En la Figura 11 es evidente la discrepancia entre el contenido de los estratos superiores (0-25 cm) y los del fondo (25-105 cm). Si bien en todas las fracciones el manganeso tiende a decrecer con la profundidad de los sedimentos, este perfil re-

vela una diferencia significativa en los suministros del elemento entre lo acumulado actualmente y/o en el pasado reciente) y lo correspondiente a períodos relacionados con las capas del fondo. En un trabajo anterior (Páez-Osuna y Osuna-López, 1990) se demuestra que no obstante localizarse el núcleo B31 a unos 100 kilómetros del campo hidrotermal de 21°N, esta localidad recibe aportes del efluente hidrotermal.

Uno de los problemas principales en el estudio de los sedimentos marinos es el de identificar mecanismos por los cuales se disuelven o se forman determinados minerales. Desde hace dos décadas, se han empleado datos de la composición química de las aguas intersticiales para elucidar las reacciones diagenéticas que involucran al transporte del soluto del agua intersticial y la precipitación o disolución de una fase mineral. Con el advenimiento de las técnicas de extracción selectiva, surgen los modelos que involucran directamente a las partículas del sedimento; por ejemplo, la formación de oxihidróxidos de hierro y manganeso, que componen a los nódulos polimetálicos (Lyle *et al.*, 1984), así como la disolución y precipitación de varias fases sólidas que involucran óxidos, sulfuros y carbonatos del hierro y manganeso en el ambiente costero (Nembrini *et al.*, 1982). A continuación y con base en los resultados obtenidos en el presente trabajo, plantearemos un modelo para explicar la manera por la cual algunos metales se transfieren de una fase geoquímica a otra.

Con los perfiles de la columna sedimentaria, se pueden sugerir procesos de transformación de los metales enlazados a las distintas fases. Estos cambios se pueden interpretar como derivados de lo que ocurre en los sedimentos cuando la diagénesis es estable, en el sentido que las capas depositadas previamente vienen a ser de la misma composición (en cuanto a la proporción y cantidad de metal asociado a las distintas fracciones) que las depositadas en la actualidad. El concepto de diagénesis en estado estable ha constituido la base para desarrollar la teoría general de la diagénesis temprana (Berner, 1980). Por otra parte, la conducta contrastante del hierro ha sido explicada a partir de procesos diagenéticos en estado no-estable (Pederson *et al.*, 1986).

Por el tipo de perfil que presentan el manganeso en el núcleo de la cuenca Mazatlán, y el hierro en la región pelágica (Figuras 6 y 13), éstos vienen a ser los únicos casos donde se puede considerar que los cambios de concentración entre las fases son inversamente concordantes. Mientras la concentración de los metales que forman parte de la fracción más resistente se incrementa exponencialmente, la proporción de las fracciones reducible y oxidable decrece de la misma manera con la profundidad. En la Figura 14 se ilustra esquemáticamente el modelo. Gradualmente y a medida que se sepulta el material sedimentario se supone un cambio en las proporciones de los metales asociados a fracciones geoquímicas definidas. En el núcleo hemipelágico (Figura 6), el manganeso, que en los

estratos superiores se halla significativamente asociado a las fracciones reducible y oxidable, en los fondos se encuentra casi en su totalidad formando parte de la estructura de los silicoaluminatos. En el núcleo pelágico (Figura 13), de manera similar, el hierro sufre una transformación de formas oxidables y reducibles en las secciones superficiales a formas que involucran minerales más resistentes en el fondo. En ambos casos, los perfiles de las concentraciones de metales en cualesquiera de las fracciones geoquímicas pueden ser descritos por una expresión de tipo exponencial de la forma general:

$$M = M_0 \exp(\pm \beta X)$$

donde M se refiere a la concentración del metal (Fe o Mn) asociado a cualquiera de las fracciones previamente consideradas (R, O/S, R/S) en una profundidad X (en cm) de la columna sedimentaria; M_0 es el valor inicial de M para $X=0$; y β es el parámetro empírico del ajuste de la curva. La expresión anterior es la que mejor se ajusta a los datos (Figuras 6 y 13).

Para el núcleo hemipelágico (B29) de la cuenca Mazatlán, se tiene para el manganeso asociado a las fracciones oxidable y reducible una β de -0.013 y -0.006 respectivamente, siendo ésta última del mismo valor (pero con signo positivo) para el manganeso enlazado a la fracción litogénica de los silicoaluminatos, lo cual indica que la fracción reducible suministra el manganeso con la misma cinética que lo toma la fracción litogénica. En el núcleo pelágico (B31), se calculó para el hierro asociado a las fracciones oxidable y reducible una β de -0.027 y -0.005 respectivamente, mientras que para la fracción residual $\beta = 0.004$. Estos valores permiten sugerir, al igual que en el núcleo hemipelágico, que la cinética diagenética de este elemento es similar entre las fracciones residual y reducible.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a C. L. Tripp Quezada y a H. Bojórquez Leyva por su valiosa colaboración en los análisis y al Dr. L. D. Mee por sus comentarios. Al personal del B/O el Puma en especial a sus oficiales y personal de cubierta expresamos nuestro agradecimiento por su amable colaboración en el muestreo oceanográfico. 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.

Apéndice 1

Tablas 3 a la 11

Concentración de metales pesados asociados a la fracción reducible en el núcleo B31 ($\mu\text{g. g}^{-1}$)

Sección (cm)	Cu	Co	Cr	Ni	Zn	Pb	Mn	Fe
0-5	41	5.9	6.3	13.5	27.5	12.4	658	4870
5-10	34	5.7	4.4	11.3	24.0	11.7	699	4195
10-15	37	5.8	4.9	12.3	27.1	10.7	602	4865
15-20	39	6.4	4.7	15.3	25.8	12.3	753	4780
0-25	47	8.8	4.7	18.4	27.4	13.8	1056	5245
25-30	56	10.4	5.0	17.9	24.1	7.2	856	4160
30-35	42	6.0	3.7	15.0	18.1	5.0	502	3125
35-40	85	12.5	7.6	22.8	28.7	12.2	735	4582
40-45	91	13.5	8.5	25.2	28.8	10.5	699	4198
45-50	90	11.6	8.9	23.4	29.1	11.9	601	4263
50-55	97	13.7	7.7	23.5	28.5	10.7	618	3715
55-60	104	14.1	9.0	25.8	31.6	10.9	560	4025
60-65	110	14.5	8.5	26.1	31.7	10.8	522	3840
65-70	109	8.1	14.0	26.3	33.0	12.2	488	4031
70-75	109	5.4	11.2	24.0	31.5	10.1	344	3187
75-80	110	5.6	11.2	25.0	32.1	10.5	316	3306
80-85	105	4.9	9.6	24.5	33.3	12.5	301	3365
85-90	101	4.4	8.0	24.0	32.1	12.8	258	2970
90-95	91	5.4	7.4	25.2	35.9	5.5	278	2858
95-105	68	4.8	5.4	21.3	26.5	7.4	249	2871

Concentración de metales pesados asociados a la fracción litogénica o residual en el núcleo B31 ($\mu\text{g. g}^{-1}$).

Sección (cm)	Cu	Cd	Co	Cr	Ni	Zn	Pb	Mn	Fe
0-5	97	0.6	40	35	113	106	37	4086	28405
5-10	134	1.4	48	34	159	122	48	6489	31507
10-15	84	1.6	29	33	83	100	20	3515	28395
15-20	105	1.2	34	34	133	115	32	5649	29823
20-25	185	2.1	44	33	190	141	38	16770	33696
25-30	67	2.0	42	36	50	98	45	285	34691
30-35	147	1.7	33	39	67	129	50	1872	38353
35-40	109	1.2	35	38	76	128	29	2111	38797
40-45	128	1.2	33	34	66	127	55	2414	35767
45-50	136	1.2	30	35	71	127	45	2292	36799
50-55	157	1.8	42	38	81	138	38	1755	37504
55-60	171	1.9	40	35	93	141	44	2569	37029
60-65	187	3.1	28	41	90	159	53	868	41717
65-70	153	1.1	21	51	83	157	51	1295	43801
70-75	185	2.1	28	61	94	165	55	721	41645
75-80	188	3.0	18	53	81	159	51	1184	39790
80-85	172	2.2	27	53	89	153	55	642	44552
85-90	163	1.6	20	51	97	151	40	713	40146
90-95	180	1.9	28	52	172	138	49	998	40623
95-105	261	2.4	43	56	80	155	45	3546	43134

Concentración de metales pesados asociados a la fracción carbonatada en el núcleo B31 (ug.g⁻¹).

Sección (cm)	Cu	Ni	Zn	Mn	Fe
0-5	2.7	1.2	0.7	38	70
5-10	2.6	1.5	0.7	55	71
10-15	2.3	1.1	0.7	37	49
15-20	2.2	1.2	0.5	45	43
20-25	2.2	1.5	0.4	41	41
25-30	5.3	2.3	0.6	136	71
30-35	5.0	1.8	0.6	102	59
35-40	5.7	2.5	0.5	104	66
40-45	6.2	2.9	0.5	94	45
45-50	6.3	2.7	0.6	88	48
50-55	7.2	3.5	0.6	114	44
55-60	6.7	2.8	0.6	76	36
60-65	6.6	2.7	0.6	59	34
65-70	5.5	1.6	0.4	38	24
70-75	5.8	1.9	0.6	29	21
75-80	5.5	1.5	0.5	33	19
80-85	5.4	1.6	0.5	37	16
85-90	5.5	1.9	0.6	50	14
90-95	6.0	2.4	1.2	42	14
95-105	4.4	2.3	0.5	40	16

Concentración de metales pesados asociados a la fracción carbonatada en el núcleo B29 (ug/g).

Sección (cm)	Cu	Cr	Ni	Zn	Pb	Mn	Fe
0-5	5.6	1.1	5.5	2.8	1.1	55.8	16.5
5-10	5.5	1.5	7.1	2.8	1.1	35.4	17.0
10-15	11.5	1.3	11.0	5.6	2.0	37.0	38.2
15-20	6.5	1.3	7.3	2.9	1.4	18.5	42.6
20-25	6.4	1.3	6.7	3.1	1.5	19.2	32.4
25-30	8.7	1.5	8.8	4.0	3.0	19.1	53.9
30-35	4.5	1.1	4.7	2.3	1.9	15.0	20.5
35-40	6.6	1.5	7.1	3.2	3.3	17.0	41.5
40-45	8.2	1.1	8.9	3.9	3.2	20.1	67.2
45-50	5.2	1.1	4.4	2.9	3.8	9.7	76.2
50-55	11.4	2.3	10.4	5.2	6.1	23.4	91.2
55-60	6.8	1.1	6.8	2.9	4.1	12.4	64.7
60-70	5.8	1.2	6.1	2.7	3.7	12.0	79.5

Concentración de metales pesados asociados a la fracción litogénica o residual en el núcleo B31 (ug.g⁻¹).

Sección (cm)	Cu	Cd	Co	Cr	Ni	Zn	Pb	Mn	Fe
0-5	97	0.6	40	25	113	106	37	4086	28405
5-10	134	1.4	48	34	159	122	48	6489	31507
10-15	84	1.6	29	33	83	100	20	3515	28395
15-20	105	1.2	34	34	133	115	32	5649	29823
20-25	185	2.1	44	33	190	141	38	16770	33696
25-30	67	2.0	42	36	50	98	45	285	34691
30-35	147	1.7	33	39	67	129	50	1872	38353
35-40	109	1.2	35	38	76	128	29	2111	38797
40-45	128	1.2	33	34	66	127	55	2414	35767
45-50	136	1.2	30	35	71	127	45	2292	36799
50-55	157	1.8	42	38	81	138	38	1755	37504
55-60	171	1.9	40	35	93	141	44	2569	37029
60-65	187	3.1	28	41	90	159	53	868	41717
65-70	153	1.1	21	51	83	157	51	1295	43801
70-75	185	2.1	28	61	94	165	55	721	41645
75-80	188	3.0	18	53	81	159	51	1184	39790
80-85	172	2.2	27	53	89	153	55	642	44552
85-90	163	1.6	20	51	97	151	40	713	40146
90-95	180	1.9	28	52	172	138	49	998	40623
95-105	261	2.4	43	56	80	155	45	3546	43134

Contenido de Carbono orgánico (%) y de metales pesados (ug/g) asociados a la fracción intercambiable/adsorbida.

Sección (cm)	NUCLEO B31			Sección (cm)	NUCLEO B29		
	Corg	Mn	Fe		Corg	Ni	Mn
0-5	0.73	-	5.7	0-5	2.43	2.8	177
5-10	0.39	1.5	7.1	5-10	2.46	3.9	60
10-15	0.34	1.0	5.7	10-15	2.41	3.0	36
15-20	0.17	-	1.7	15-20	2.56	5.4	29
20-25	0.15	-	2.7	20-25	2.39	4.4	25
25-30	0.30	1.3	3.5	25-30	2.54	4.9	25
30-35	0.26	-	2.4	30-35	2.27	6.5	26
35-40	0.26	5.5	2.7	35-40	2.34	5.9	24
40-45	0.37	28.5	4.7	40-45	2.55	3.3	24
45-50	0.30	12.9	2.9	45-50	2.43	3.9	23
50-55	0.30	16.0	1.6	50-55	2.30	4.9	22
55-60	0.35	19.9	0.7	55-60	2.34	1.9	22
60-65	0.28	19.1	2.2	60-70	2.42	2.1	22
65-70	0.36	13.2	2.9				
70-75	0.40	5.4	1.8				
75-80	0.37	4.0	4.0				
80-85	0.33	-	1.4				
85-90	0.29	-	1.7				
90-95	0.36	-	2.6				
95-105	0.20	1.6	2.9				

- (1.0 ug.g⁻¹).

Concentración de metales pesados asociados a la fracción reducible en el núcleo B31 (ug.g⁻¹).

Sección (cm)	Cu	Co	Cr	Ni	Zn	Pb	Mn	Fe
0-5	41	5.9	6.3	13.5	27.5	12.4	650	4870
5-10	34	5.7	4.4	11.3	24.0	11.7	639	4195
10-15	37	5.8	4.9	12.3	27.1	10.7	602	4965
15-20	39	6.4	4.7	15.3	25.8	12.3	753	4780
20-25	47	8.8	4.7	18.4	27.4	13.8	1056	5245
25-30	56	10.4	5.0	17.9	24.1	7.2	856	4160
30-35	42	6.0	3.7	15.0	18.1	5.0	502	3125
35-40	85	12.5	7.6	22.8	28.7	12.2	735	4582
40-45	91	13.5	8.5	25.2	28.8	10.5	639	4198
45-50	90	11.6	8.9	23.4	29.1	11.9	601	4263
50-55	97	13.7	7.7	23.5	28.5	10.7	618	3715
55-60	104	14.1	9.0	25.8	31.6	10.9	550	4025
60-65	110	14.5	8.5	26.1	31.7	10.8	522	3440
65-70	109	8.1	14.0	26.3	33.0	12.2	488	4031
70-75	109	5.4	11.2	24.0	31.5	10.1	344	3187
75-80	110	5.6	11.2	25.0	32.1	10.5	316	3306
80-85	105	4.9	9.6	24.5	33.3	12.5	301	3365
85-90	101	4.4	8.0	24.0	32.1	12.8	258	2970
90-95	91	5.4	7.4	25.2	35.9	5.5	278	2858
95-105	68	4.8	5.4	21.3	26.5	7.4	249	2871

Concentración de metales pesados en el núcleo B29 asociados a la fracción oxidable (ug.g⁻¹).

Sección (cm)	Cu	Cd	Co	Cr	Ni	Zn	Pb	Mn	Fe
0-5	35.7	0.5	2.1	3.6	22.9	17.4	8.1	708	70
5-10	40.1	0.7	2.2	4.6	20.5	17.2	19.9	215	80
10-15	32.4	0.7	2.2	3.1	19.8	13.2	9.7	162	64
15-20	33.8	0.5	0.6	4.0	20.1	13.6	23.7	127	147
20-25	36.5	0.7	2.4	3.5	21.8	14.8	6.5	130	144
25-30	26.6	0.7	2.1	3.0	21.8	11.7	-	104	138
30-35	36.5	0.6	2.5	5.8	27.7	16.9	2.5	162	148
35-40	30.2	0.6	1.7	3.6	19.9	13.6	-	106	136
40-45	24.4	0.6	1.5	2.8	24.2	11.7	-	129	155
45-50	18.6	0.4	2.0	2.0	22.7	12.9	-	106	192
50-55	34.0	0.5	1.5	3.5	21.6	15.5	-	125	244
55-60	26.0	0.6	1.5	2.9	24.2	15.0	-	130	185
60-70	31.4	0.5	2.4	4.1	33.5	15.7	-	170	307

- <1.1 ug/g.

Concentración de metales pesados asociados a la fracción litogénica o residual en el núcleo B29 (ug.g⁻¹).

Sección (cm)	Cu	Cd	Co	Cr	Ni	Zn	Pb	Mn	Fe
0-5	32	0.3	12	34	39	162	23	543	32131
5-10	33	1.4	20	41	43	177	19	914	34155
10-15	45	2.2	25	43	51	195	21	685	35177
15-20	34	1.6	25	38	47	187	33	1059	34195
20-25	36	1.5	24	39	42	191	32	101	35021
25-30	35	1.8	21	41	45	191	36	954	36410
30-35	42	1.4	23	37	43	206	42	929	35077
35-40	35	0.8	23	45	41	183	32	1097	35482
40-45	35	2.6	24	48	37	187	29	834	36204
45-50	39	0.5	18	49	58	201	38	1334	36272
50-55	36	1.2	22	53	48	201	21	1082	38305
55-60	32	1.9	22	43	50	207	29	1102	37805
60-70	37	0.8	17	42	57	210	31	1302	30353

Concentración de metales pesados asociados a la fracción reducible en el núcleo B29(ug.g⁻¹).

Sección (cm)	Cu	Co	Cr	Ni	Zn	Pb	Mn	Fe
0-5	50.5	6.2	7.4	24.6	70.5	5.1	226	3182
5-10	46.8	6.2	5.5	32.2	64.0	5.0	167	2548
10-15	47.4	5.0	4.8	30.0	55.0	5.7	146	2221
15-20	60.4	7.6	6.1	33.8	74.2	4.9	144	2815
20-25	57.1	7.0	5.2	33.6	71.3	4.7	139	3097
25-30	69.7	7.5	7.2	35.7	83.0	5.7	142	2698
30-35	54.3	6.1	5.0	28.3	64.1	5.0	115	2854
35-40	63.2	7.7	7.4	38.6	84.8	7.4	136	3140
40-45	71.5	6.4	7.0	39.0	91.2	6.9	174	3974
45-50	65.9	6.3	6.9	23.1	80.0	6.8	98	3260
50-55	58.0	5.5	6.4	32.6	69.9	8.9	112	3860
55-60	71.8	7.2	8.0	35.0	87.6	7.0	139	3545
60-70	68.6	7.2	7.9	30.7	87.8	7.2	138	3860

Concentración de metales pesados asociados a la fracción oxidable en el núcleo B31 (ug.g⁻¹).

Sección (cm)	Cu	Cd	Co	Cr	Ni	Zn	Pb	Mn	Fe
0-5	198	1.2	52	2.3	270	56.6	3.1	14104	2649
5-10	176	1.3	47	2.1	226	58.4	8.8	12740	2128
10-15	168	1.4	50	2.3	210	53.7	35.3	11890	2479
15-20	200	1.6	48	2.4	284	54.4	19.5	15023	2152
20-25	159	1.9	50	2.5	261	40.0	17.6	10023	1115
25-30	189	1.0	52	1.7	133	44.5	7.7	10300	1474
30-35	92	0.6	41	2.5	55	15.5	-	3915	1063
35-40	88	0.4	35	2.1	45	13.0	4.0	3365	753
40-45	110	0.4	40	3.1	68	14.5	-	4275	795
45-50	134	0.4	49	3.9	80	15.9	4.4	5490	787
50-55	130	0.4	47	2.6	93	14.0	-	5455	835
55-60	120	0.4	48	4.0	74	13.5	-	4315	610
60-65	99	0.3	39	2.7	50	10.5	-	4208	507
65-70	43	0.5	8	5.4	8	3.6	-	775	307
70-75	38	0.2	4	3.6	3	2.5	-	310	145
75-80	49	0.4	6	4.7	8	5.8	-	465	281
80-85	51	0.6	6	4.6	7	6.7	-	531	166
85-90	55	0.8	7	5.5	6	6.6	3.1	659	568
90-95	70	0.8	13	3.7	28	19.1	7.1	1405	302
95-105	95	0.3	23	3.6	51	13.1	-	2765	276

- <1.1 ug/g.

BIBLIOGRAFIA

- BENDER, M L. y C. GAGNER, 1976. Dissolved copper, nickel and cadmium in the Sargasso Sea. *Journ. Mar. Res.*, 34, 327-339.
- BERNER, R. A., 1977. Stoichiometric models for nutrient regeneration in anoxic sediments. *Limnol. Oceanogr.*, 29, 781-786.
- BERNER, R. A., 1980. Early Diagenesis Princeton University Press, New Jersey, 241 p.
- BERNER, R. A., 1984. Sedimentary pyrite formation: an update. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 48, 605-615.
- BOULEGUE, J., C. J. LORD y T. M. CHURCH, 1982. Sulfur speciation and associated trace metals in the pore waters of Great March, Delaware. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 46, 453-464.
- BRULAND, K. W., 1980. Oceanic distribution of cadmium, zinc, nickel and copper in the North Pacific. *Earth. Planet. Sci. Lett.* 47, 176-198.
- BRULAND K. W., K. BERTINE, M. KOIDE y E. D. GOLDBERG, 1974. History of metal pollution in southern California coastal zone. *Environ. Sci. & Technol.*, 8, 425-432.

- CHESTER, R. y M. J. HUGHES, 1967. A chemical technique for the separation of ferromanganese minerals, carbonate minerals and adsorbed trace elements from pelagic sediments. *Chem. Geol.* 2, 249-262.
- DSDP, 1982. Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project. Vol. LXV, Washington, 1483 p.
- DYRSSEN, D., 1985. Metal complex formation in sulfidic seawater. *Mar. Chem.*, 15, 285-293.
- FRANSON, D. E. y J. O. LECKIE, 1978. Limits of coprecipitation of cadmium and ferrous sulfides. *Environ. Sci. & Technol.*, 12, 465-469.
- GAILLARD, J. F., C. JEANDEL, G. MICHARD, E. NICOLAS y D. RENARD, 1986. Interstitial water chemistry of Villefranche Bay sediments: trace metal diagenesis. *Mar. Chem.*, 18, 233-247.
- GIESKES, J. M., H. ELDERFIELD, J. R. LAU-RENCE, J. JOHNSON, B. MEYERS y A. CAMPBELL, 1982. Geochemistry of interstitial waters and sediments, LEG 64, Gulf of California. In: Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project Vol. LXV, Washington, U. S., 441-449.
- GOLDBERG, E. D. y G. O. ARRHENIUS, 1958. Chemistry of Pacific pelagic sediments. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 13, 153-212.
- GOLDHABER, M. B. y I. R. KAPLAN, 1974. The sulfur cycle. In: E. D. Goldberg (Ed.), *The Sea*. Vol. 5, J. Wiley & Sons, New York, 569-655.
- JEAN, G. E. y G. M. BANCROFT, 1986. Heavy metal adsorption by sulphide mineral surfaces. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 50, 1455-1463.
- KERSTEN, M. y U. FORSTNER, 1987. Effect of sample pretreatment on the reliability of solid speciation data of heavy metals implications for the study of early diagenetic processes. *Mar. Chem.*, 22, 299-312.
- 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, P., M. KASSER, J. PAGARETE, J. C. RUEGG, L. ORTLIEB, J. GUERRERO, N. DUCH, J. ROLDAN, F. CASTELLANOS, T. MONTAÑO, J. L. RODRIGUEZ y T. CALMUS, 1988. Mediciones geodésicas de larga distancia: aplicación al estudio del movimiento de placas en el Golfo de California. *Geofis. Int.*, 27, 351-377.
- LYLE, M., G. R. HEATH y 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. pH5 acetic acid leach. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 48, 1705-1715.
- MARTIN, J. M. y M. MEYBECK, 1979. Elemental mass-balance of material carried by major world rivers. *Mar. Chem.*, 7, 173-206.
- MACDONALD, K. C., K. KASTENS, F. N. SPIESS y S. P. MILLER, 1979. Deep tow studies of the Tamayo transform fault. *Mar. Geophys. Res.*, 4, 37-70.
- MEGUELLATI, N., D. ROBBE, P. MARCHANDISE y M. ASTRUC, 1983. A new chemical extraction procedure in the fractionation of heavy metals in sediments. Proc. International Conference, Heavy Metals in the Environment, Heidelberg, 118 p.
- MURRAY, J. W., V. GRUNDMANIS y W. M. SMETHIE, 1978. Interstitial water chemistry in the sediments of Saanich Inlet. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 42, 1011-1026.
- NEMBRINI, G. P., F. RAPIN, J. I. GARCIA y U. FORSTNER, 1982. Speciation of Fe and Mn in a sediment core of the Baie de Villefrance (Mediterranean sea, France). *Environ. Technol. Lett.*, 3, 545-552.
- 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. Auton. de Méx., 13, 449-454.
- PAEZ-OSUNA, F., 1988. Geoquímica de los metales pesados en los sedimentos del Mar de Cortés. Tesis Doctoral en Ciencias del Mar, U. A. C. P. y P., C. C. H., U. N. A. M. 391 p.
- PAEZ-OSUNA, F. y J. I. OSUNA-LOPEZ, 1989. Metales pesados en fragmentos de basalto de la boca del Golfo de California. An. Inst. Cienc. del Mar y Limnol., Univ. Nal. Autón. Méx., 16, 183-188.
- PAEZ-OSUNA, F. y J. I. OSUNA-LOPEZ, 1990a. Aspectos genéticos de los sedimentos marinos de la boca del Golfo de California evidenciados por la geoquímica de sus metales pesados. *Geofis. Int.*, 29, 47-58.
- PAEZ-OSUNA, F. y J. I. OSUNA-LOPEZ, 1990b. Distribución del zinc en las diferentes fracciones químicas de los sedimentos superficiales del Bajo Golfo de California. *Ciencias Marinas* 16, 87-95.
- PEDERSEN, T. F., J. S. VOGEL y J. R. SOUTHON, 1986. Copper and manganese in hemipelagic sediments at 21° N, East Pacific Rise: Diagenetic contrasts. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 50, 2019-2031.
- STUMM, W. y J. J. MORGAN, 1980. Aquatic chemistry, John Wiley & Sons, New York, 780 p.

SUZUKI, J., Y. YOKAYAMA, Y. UNNO y S. SUZUKI, 1983. A sensitive method for measuring organic carbon in sediments. *Water Res.* 17, 431-434.

TESSIER, A. P., G. C. CAMPBELL y M. BISSON, 1979. Sequential extraction procedure for the speciation of particulate trace metals. *Anal. Chem.* 51, 9, 644-651.

TUREKIAN, K. K., 1967. Estimates of the average Pacific deep sea clay accumulation rate from material balance considerations. *Progs. in Oceanogr.*, 4, 226-244.

Federico Páez-Osuna y José I. Osuna-López
Laboratorio de Química Marina, Estación Mazatlán,
Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM.
Apdo. Postal 811,
82000 Mazatlán, Sin., México.