

**DISTRIBUCION DEL ZINC EN LAS DIFERENTES FRACCIONES  
QUIMICAS DE LOS SEDIMENTOS SUPERFICIALES  
DEL BAJO GOLFO DE CALIFORNIA**

**DISTRIBUTION OF ZINC IN DIFFERENT CHEMICAL FRACTIONS OF  
SURFACE SEDIMENTS FROM THE LOWER GULF OF CALIFORNIA**

Federico Páez Osuna  
José I. Osuna López

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

Páez Osuna, F. y Osuna López, J.I. (1990). Distribución del zinc en las diferentes fracciones químicas de los sedimentos superficiales del bajo Golfo de California. Distribution of zinc in different chemical fractions of surface sediments from the lower Gulf of California. *Ciencias Marinas*, 16(2): 87-95.

**RESUMEN**

El objetivo de este estudio fue realizar extracciones químicas para la partición química de zinc en 19 muestras superficiales (0-5 cm) de sedimentos colectados desde el bajo Golfo de California. Fueron separadas cinco fracciones geoquímicas y las concentraciones de zinc se determinaron por técnicas de absorción atómica. El zinc fue asociado principalmente (60.6-73.2%) a la fracción litogénica, las cuales son mayores en la plataforma continental y menores en las depresiones de las cuencas. El resto se asocia principalmente (20.4-25.1%) con la fracción de los óxidos de Fe-Mn; el porcentaje promedio de Zn encontrado en la fracción orgánica/sulfuros varía entre 5.5-13.9%, y el zinc carbonatado está presente solamente en las depresiones de las cuencas con 1.5%. El zinc intercambiable no se detectó en la mayoría de las muestras. Fue encontrada una diferencia significativa, sólo entre las concentraciones promedio de Zn asociado a la fracción oxidable de los sedimentos de la plataforma continental y las depresiones de las cuencas. Esta diferencia puede ser explicada por el diferente contenido de materia orgánica en ambos rasgos morfológicos y la influencia hidrotermal en las cuencas.

**ABSTRACT**

The objective of this study was to carry out sequential chemical extractions for the chemical partitioning of zinc in 19 surface (0-5 cm) sediment samples collected from the lower Gulf of California. Five geochemical fractions of the sediments were separated and the concentrations of zinc were determined by atomic absorption techniques. Zinc was associated principally (60.6-73.2%) to the lithogenic fraction, which is larger in the continental shelf and smaller in the basin depressions. The rest is associated mainly (20.4-25.1%) with the Fe-Mn fraction; the mean percentage of Zn found in the organic/sulphide fraction varies between 5.5-13.9%, and the carbonated zinc is present only in the basin depressions with 1.5%. Exchangeable zinc was not detected in most samples. A significant difference was only found between the average concentrations of Zn associated to the oxidizable fraction of the sediments from the continental shelf and the basin depressions. This difference may be explained by the different organic matter content in both morphologic features and the hydrothermal influence in the basins.

## INTRODUCCION

Los sedimentos son una mezcla compleja de fases sólidas que pueden incluir bacterias, materia orgánica, minerales arcillosos (como caolinita, montmorillonita, clorita), óxidos metálicos (como el  $\text{FeOOH}$ ,  $\text{MnO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), carbonatos, sulfuros y una numerosa cantidad de minerales. Los metales pesados, al igual que otros contaminantes pueden estar asociados con varias de estas fases en los sedimentos. La gran variedad de fases sólidas que pueden interaccionar con los metales pesados, las pequeñas cantidades de varias de estas fases que a su vez poseen una cierta capacidad de "captura", el carácter amorfo de muchas de las fases sólidas y el hecho de que los metales son constituyentes generalmente menores de estas fases, todo ello converge y hace difícil o imposible medir directamente los metales pesados asociados a una fase sólida en particular (Tessier y Campbell, 1987). Sin embargo, a partir de los trabajos de Goldberg y Arrehenius (1958) y Chester y Hughes (1967), se han desarrollado numerosos esquemas de extracción selectiva para diferenciar la forma de asociación química predominante de los metales pesados en los sedimentos marinos (Bruland *et al.*, 1974; Tessier *et al.*, 1979; Kersten y Förstner, 1987).

Operacionalmente, se han definido cinco fracciones geoquímicas en los sedimentos y el material suspendido (Tessier *et al.*, 1979): (1) intercambiable/adsorción, (2) carbonatada, (3) reducible (de los óxidos de hierro y manganeso), (4) oxidable (de los sulfuros y/o material orgánico), y (5) residual o litogénica (de los silicoaluminatos).

En este estudio se discuten los resultados de las extracciones químicas para diferenciar las cinco fracciones geoquímicas a las que se asocia el zinc en 19 muestras superficiales (0-5 cm) de sedimentos colectados en el bajo Golfo de California.

## AREA DE ESTUDIO

El Golfo de California es un mar angosto (100-200 km) y elongado (1100 km) el cual está dividido en el alto y bajo golfo, las dos principales regiones fisiográficas. El bajo golfo, al sur de las islas en los 29°N, consiste en una serie de cuencas profundas semicerra-

## INTRODUCTION

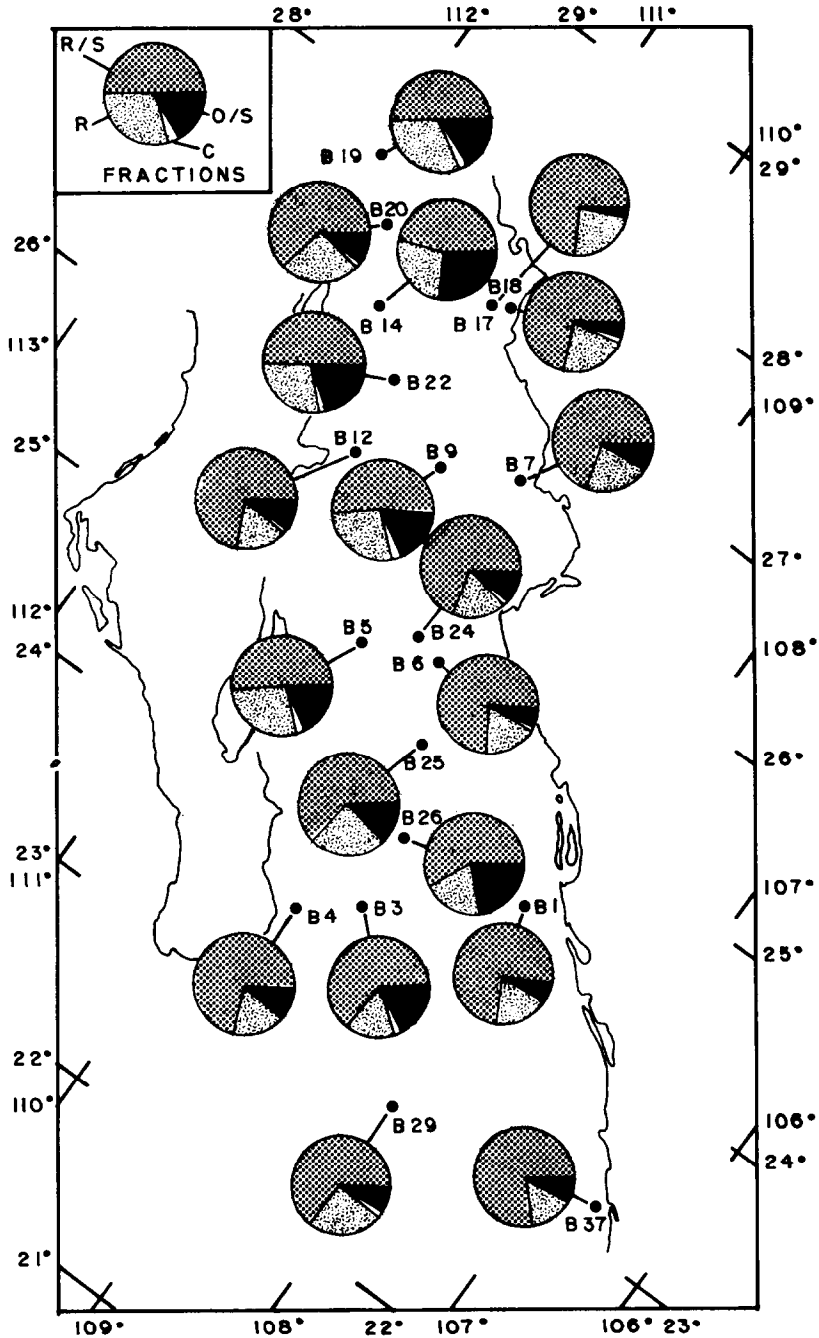
Sediments are a complex mixture of solid phases which can include bacteria, organic matter, clay minerals (like kaolinite, montmorillonite, chlorite), metallic oxides (like  $\text{FeOOH}$ ,  $\text{MnO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), carbonates, sulphides and a large quantity of minerals. Heavy metals, like other pollutants, can be associated with several of these phases in sediments. The great variety of solid phases which can interact with heavy metals, the low quantities of several of these phases which in turn possess a certain "capture" capacity, the amorphous nature of many of the solid phases and the fact that metals are generally minor constituents of these phases, all converge to make direct measurements of heavy metals associated to one solid phase in particular difficult or impossible (Tessier and Campbell, 1987). However, from the works of Goldberg and Arrehenius (1958) and Chester and Hughes (1967), many plans have been outlined for selective extraction in order to differentiate the predominant form of chemical association of heavy metals in marine sediments (Bruland *et al.*, 1974; Tessier *et al.*, 1979; Kersten and Förstner, 1987).

Five geochemical fractions have been defined in sediments and suspended matter (Tessier *et al.*, 1979): (1) exchangeable/adsorption, (2) carbonated, (3) reducible (from iron and manganese oxides), (4) oxidizable (from sulphides and/or organic matter) and (5) residual or lithogenic (from silicoaluminates).

In this study, results are discussed of chemical extractions carried out in 19 surface (0-5 cm) sediments collected from the lower Gulf of California in order to differentiate the five geochemical fractions to which zinc is associated.

## STUDY AREA

The Gulf of California is a narrow (100-200 km) and elongated (1100 km) sea which is divided into the upper and lower gulf, two main physiographic regions. The lower gulf, south of the islands at 29°N, consists of a series of deep semiclosed basins, which increase progressively in depth towards the mouth with oceanic depths (Baumgartner



**Figura 1.** Proporción de zinc en las fracciones de los sedimentos superficiales del bajo Golfo de California; fracción de los carbonatos (C), orgánica-sulfuros (O/S), óxidos de Fe-Mn (R) y residual (R/S).

**Figure 1.** Proportion of zinc in the fractions of surface sediments from the lower Gulf of California; fraction of carbonates (C), organic-sulphides (O/S), Fe-Mn oxides (R) and residual (R/S).

das, las cuales van aumentando de profundidad progresivamente hacia la boca con profundidades oceánicas (Baumgartner *et al.*, 1985). La distribución de los sedimentos en el golfo ha sido descrita en detalle (Byrne y Emery, 1960; Van Andel, 1964; Calvert, 1964, 1966; Niemitz, 1977) y básicamente los sedimentos del bajo golfo consisten principalmente de arcilla-limosa, mientras que los sedimentos adyacentes a la costa se componen predominantemente de arenas con proporciones variables de arcillas, limos y fragmentos esqueléticos de carbonato.

## MATERIALES Y METODOS

Durante la expedición Bermejo-1 del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología (ICML), UNAM, en febrero de 1985, fueron colectadas muestras de sedimento del bajo Golfo de California (Fig. 1) utilizando un nucleador de gravedad modificado (Páez-Osuna *et al.*, 1986). Los núcleos se seccionaron en intervalos de 5 cm, seleccionándose para este estudio solamente la sección superficial (0-5 cm) de 19 de los núcleos. Las concentraciones de zinc se determinaron por espectroscopía de absorción atómica a la flama. Las muestras para la concentración "total" fueron digeridas a 130°C con HNO<sub>3</sub> y HCl en un sistema de descomposición múltiple (Breder, 1982). El error estándar para este método estuvo por debajo del 6% y una muestra de sedimento certificado SDN-½ (IAEA, 1985) tratada de la misma manera que las muestras, fue utilizada para verificar la exactitud del análisis.

A continuación y con objeto de determinar la partición del zinc 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 I se presenta de manera resumida el procedimiento analítico utilizado.

## RESULTADOS Y DISCUSION

En la Figura 1, se ilustra la distribución del zinc en cada una de las fracciones químicas analizadas. De la plataforma continental se colectaron tres muestras superficiales (0-5 cm) de las estaciones B1, B7 y B37. Las muestras

*et al.*, 1985). The distribution of sediments in the gulf has been described in detail (Byrne and Emery, 1960; Van Andel, 1964; Calvert, 1964, 1966; Niemitz, 1977). Basically, sediments from the lower gulf mainly consist of muddy clay, while sediments adjacent to the coast are predominantly composed of sand with variable proportions of clay, mud and skeletal fragments of carbonate.

## MATERIALS AND METHODS

During the Bermejo-1 expedition of the Instituto de Ciencias del Mar y Limnología (ICML), UNAM, in February 1985, samples of sediments were collected from the lower Gulf of California (Fig. 1) using a modified gravity sampler (Páez-Osuna *et al.*, 1986). The nuclei were divided into 5 cm intervals; only the surface (0-5 cm) section of 19 of the nuclei were chosen for this study. The concentrations of zinc were determined by means of flame atomic absorption spectroscopy. The samples for the "total" concentration were digested at 130°C with HNO<sub>3</sub> and HCl in a multiple decomposition system (Breder, 1982). The standard error for this method was below 6% and a sample of certified sediment SDN-½ (IAEA, 1985), treated in the same way as the samples, was used to verify the accuracy of the analysis.

Subsequently, in order to determine the partition of zinc among the different geochemical fractions in the sediments, the procedure proposed by Meguellati *et al.* (1983) was used, which is an adaptation of Tessier *et al.*'s (1979) sequential method. The analytical procedure used is summarized in Table I.

## RESULTS AND DISCUSSION

The distribution of zinc in each of the chemical fractions analysed is illustrated in Figure 1. Three surface (0-5 cm) samples were collected from the continental platform at stations B1, B7 and B37. The samples from B22, B25, B3, B4, B9, B12, B17, B18, B19 and B20 were collected from the slope and edge of the basins; the average of the concentrations in each of the chemical fractions is identified in Table II as "talud". The respective samples from the basin depressions were collected from stations B5, B6, B14, B24, B26 and B29.

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

**Table I.** Sequential extraction procedure used to differentiate the geochemical fractions (modified from Meguellati *et al.*, 1983).

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

**Tabla II.** Concentraciones promedio de zinc en las fracciones de los sedimentos superficiales (0-5 cm) del bajo Golfo de California.

**Table II.** Average concentrations of zinc in the fractions of surface sediments (0-5 cm) from the lower Gulf of California.

	Fracción (µg.g <sup>-1</sup> )				
	Intercambiable	Carbonatada	Reducible	Oxidable	Residual
Plataforma Continental (B1, B7, B37)	≤ 0.2	0.9 ± 0.5	26.9 ± 2.8	*7.3 ± 0.9	97.3 ± 10.6
Talud (B3, B4, B9, B12, B17, B18, B19, B20, B22, B25)	< 0.1	2.3 ± 1.8	33.0 ± 10.5	14.7 ± 9.2	83.3 ± 29.7
Depresiones de las Cuencas (B5, B6, B14, B24, B26, B29)	< 0.1	1.7 ± 1.0	43.2 ± 16.9	*25.2 ± 11.7	106 ± 33

\* Significativamente ( $\alpha = 0.05$ ) diferentes.

de B22, B25, B3, B4, B9, B12, B17, B18, B19 y B20, se colectaron del talud y borde de las cuencas, el promedio de las concentraciones en cada una de las fracciones químicas se identifica en la Tabla II como "talud"; y de las estaciones B5, B6, B14, B24, B26 y B29, fueron colectadas las muestras respectivas de las depresiones de las cuencas.

De los sedimentos estudiados aquí, se encontró que un promedio de 60.6-73.2% del zinc total se asocia a la fracción residual o litogénica, lo cual indica que el zinc detrítico es un factor importante en determinar la concentración total del zinc en estos sedimentos. El resto se halla asociado principalmente (20.4-25.1%) con la fracción de los óxidos de hierro y manganeso.

En contraste con los resultados obtenidos en Saanich Inlet (Presley *et al.*, 1972), en las cuencas de California (Bruland *et al.*, 1974) y en el Estuario Krka (Prohic y Kniewald, 1987), el zinc reducible del bajo golfo es alto (Tabla II). El porcentaje del zinc total encontrado en la fracción orgánica/sulfuros, fue de  $13.8 \pm 8.3\%$  ( $25.2 \pm 11.7 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ ) para las depresiones de las cuencas,  $10.7 \pm 5.1\%$  ( $14.7 \pm 9.2 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ ) sobre el talud y  $5.5 \pm 0.8\%$  ( $7.3 \pm 0.9 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ ) para las muestras de la plataforma continental, proporciones cuyo valor es similar a las de las cuencas californianas. Los niveles de zinc en la fracción oxidable, en su mayoría probablemente están asociados con la porción sulfídica de esta fracción, debido a que previamente se han encontrado (Berner, 1964) concentraciones importantes (hasta el 1.2%) en los sedimentos del talud de la parte centro y sur del Golfo de California.

Respecto a las muestras con las concentraciones más elevadas de zinc en la fracción oxidable, llaman la atención las muestras de B3, B26 y B14 con 34.9, 43.7 y  $32.7 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  respectivamente, cuya localización en las dos primeras muestras corresponde a profundidades de 2500 y 3230 m, ambas del sistema complejo de cuencas pescadero, mientras que B14 fue colectada directamente del campo hidrotermal de la depresión Sur de la cuenca de Guaymas (desde 2020 m de profundidad), lo cual en este último tipo de material sedimentario explica evidentemente los niveles relativamente altos. En la zona de actividad hidrotermal de la depresión sur de la cuenca

Of the sediments studied herein, an average of 60.6-73.2% of the total zinc was found to be associated to the residual or lithogenic fraction. This indicates that detritic zinc is an important factor in determining the total zinc concentration in these sediments. The rest was mainly found associated (20.4-25.1%) with the fraction of iron and manganese oxides.

In contrast to the results obtained in Saanich Inlet (Presley *et al.*, 1972), in the California basins (Bruland *et al.*, 1974) and in the Krka Estuary (Prohic and Kniewald, 1987), the reducible zinc from the lower gulf is high (Table II). The percentage of total zinc found in the organic/sulphide fraction was  $13.8 \pm 8.3\%$  ( $25.2 \pm 11.7 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ ) for the basin depressions,  $10.7 \pm 5.1\%$  ( $14.7 \pm 9.2 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ ) for the slope and  $5.5 \pm 0.8\%$  ( $7.3 \pm 0.9 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ ) for the continental platform samples. These fractions are similar to those found in the California basins. The levels of zinc in the oxidizable fraction are mostly associated with the sulphidic part of this fraction, since important concentrations (up to 1.2%) have previously been found (Berner, 1964) in sediments from the slope in the central and southern Gulf of California.

Regarding the samples with the highest concentrations of zinc in the oxidizable fraction, the samples from B3, B26 and B14 are noticeable with 34.9, 43.7 and  $32.7 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ , respectively. The first two samples correspond to depths of 2500 and 3230 m, both from the complex system of the Pescadero basins, while B14 was collected directly from the hydrothermal field of the southern depression of the Guaymas Basin (from 2020 m in depth). This would explain the relatively high levels in the sedimentary matter from B14. In the zone of hydrothermal activity in the southern depression of the Guaymas Basin, the presence of massive zinc sulphides (sphalerite  $\beta$ -ZnS and wurtzite  $\alpha$ -ZnS) and other metals (pyrrhotite  $\text{Fe}_{1-x}\text{S}$ , chalcopyrite  $\text{CuFeS}$  and galena  $\text{PbS}$ ) is well known (Peter *et al.*, 1987; Ortega-Osorio and Páez-Osuna, 1989). These hydrothermal processes most probably influence the formation of sedimentary components of zinc extractable with peroxide.

When the concentrations of zinc from the five geochemical fractions of the slope,

de Guaymas es bien conocida (Peter *et al.*, 1987; Ortega-Osorio y Pérez-Osuna, 1989) la presencia de sulfuros masivos de zinc (esfalerita  $\beta$ -ZnS y wurtzita  $\alpha$ -ZnS) y otros metales (pirrotita  $Fe_{1-x}S$ , calcopirita CuFeS y galena PbS) por lo que estos procesos hidrotermales, seguramente influyen en la formación de componentes sedimentarios del zinc extractables con peróxido.

Cuando se comparan los promedios de las concentraciones del zinc de las cinco fracciones geoquímicas del talud, las depresiones de las cuencas y de la plataforma continental, solamente resultaron significativamente diferentes ( $\alpha=0.05$ ) el promedio de las concentraciones del zinc asociado a la fracción oxidable de los sedimentos de la plataforma continental y el de las depresiones de las cuencas. En los demás casos la magnitud de la desviación estándar, es tal que estadísticamente (Gabriel, 1978) no permite señalar diferencias entre los distintos rasgos morfológicos del bajo Golfo de California. Los mayores niveles del zinc oxidable en las depresiones de las cuencas del bajo golfo, respecto a los de la plataforma continental adyacente, es factible de explicar, por el hecho de que las cuencas se caracterizan por poseer concentraciones más elevadas de materia orgánica (Van Andel, 1963; Niemitz, 1977), y que además en ellas se percibe una mayor influencia de los procesos hidrotermales (Campbell, 1985), los cuales pueden afectar importantemente la partición química del zinc.

## CONCLUSIONES

De lo anterior es posible concluir que el zinc en los sedimentos superficiales de la parte centro y sur del Golfo de California, se halla depositado predominantemente (60.6-73.2%) en la forma detrítica asociado a minerales del tipo de los silicoaluminatos. El resto del zinc se halla enlazado por orden de importancia a los óxidos de hierro y manganeso (20.4-25.1%), a los sulfuros y/o el material orgánico (5.5-13.8%) y en niveles apenas detectables a los carbonatos (0.9-2.5  $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ ), mientras que el zinc intercambiable no se detectó ( $<0.1 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ ) en la mayoría de las muestras.

basin depressions and continental platform are compared, only the average concentrations of zinc associated to the oxidizable fraction of the sediments from the continental platform and from the basin depressions were found to be significantly different ( $\alpha=0.05$ ). In the other cases, the value of the standard deviation indicates that statistically (Gabriel, 1978), no differences can be reported between the different morphologic features of the lower Gulf of California. It is possible to explain the higher levels of oxidizable zinc in the basin depressions of the lower gulf, relative to those from the adjacent continental platform, by the fact that the basins have higher concentrations of organic matter (Van Andel, 1963; Niemitz, 1977) and that a greater influence of hydrothermal processes is noticed in the basins (Campbell, 1985) which could significantly affect the chemical partitioning of zinc.

## CONCLUSIONS

It is possible to conclude that the zinc in surface sediments from the central and southern Gulf of California is mainly found deposited (60.6-73.2%) in detritic form associated to minerals of the silicoaluminato type. The rest of the zinc is found linked, in order of importance, to iron and manganese oxides (20.4-25.1%), to sulphides and/or organic matter (5.5-13.8%) and in barely detectable levels to carbonates (0.9-2.5  $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ ). Exchangeable zinc was not detected ( $<0.1 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ ) in most of the samples.

## ACKNOWLEDGEMENTS

Support for the present study was provided by the Instituto de Ciencias del Mar y Limnología (ICML), Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), and by CONACYT, Project No. PCCBBNA-021995.

English translation by Christine Harris.

---

## AGRADECIMIENTOS

El apoyo institucional y financiero para el presente estudio fue proporcionado por el Instituto de Ciencias del Mar y Limnología (ICML), Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), y el proyecto CONACYT PCCBBNA-021995.

## LITERATURA CITADA

- Baumgartner, T., Ferreira-Bartrina, V., Schrader, H. and Soutar, A. (1985). A 20-year varve record of siliceous phytoplankton variability in the central Gulf of California. *Mar. Geol.*, 64: 113-129.
- Berner, R.A. (1964). Distribution and diagenesis of sulfur in some sediments from the Gulf of California. *Mar. Geol.*, 1: 117-140.
- Breder, R. (1982). Optimization studies for reliable trace metal analysis in sediments by atomic absorption spectrometric methods. *Fresenius Z Anal. Chem.*, 313: 395-402.
- Bruland, K.W. Bertine, Koide, M. and Goldberg, E.D. (1974). History of metal pollution in a southern California coastal zone. *Envir. Sci. Technol.*, 8: 425-432.
- Byrne, J.V. and Emery, L.P. (1960). Sediments of the Gulf of California. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 71: 983-1010.
- Calvert, S.E. (1964). The diatomaceous sediments of the Gulf of California. Ph.D. Thesis, University of California, San Diego, 235 pp.
- Calvert, S.E. (1966). Accumulation of diatomaceous silica in the sediments of the Gulf of California. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 77: 569-596.
- Campbell, A. (1985). Geochemistry of hydrothermal clouds in the Guaymas Basin, Gulf of California. Ph.D. Thesis, University of California San Diego, 262 pp.
- Chester, R. and Hughes, M.J. (1967). A chemical technique for the separation of ferromanganese minerals, carbonate minerals and adsorbed trace elements from pelagic sediments. *Chem. Geol.*, 2: 249-262.
- Gabriel, K.R. (1978). A simple method of multiple comparisons of means. *J. Amer. Stat. Assoc.*, 73: 724-729.
- Goldberg, E.D. and Arrehenius, G. (1958). Chemistry of Pacific pelagic sediments. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 13: 153-212.
- International Atomic Energy Agency (1985). Intercomparison of trace element measurements in marine sediments, sample SD-N-1/2. Report No. 24, 74 pp.
- Kersten, M. and Förstner, U. (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.
- Meguellati, N., Robbe, D., Marchandise, P. and Astruc, M. (1983). A new chemical extraction procedure in the fractionation of heavy metals in sediments - interpretation. Proceedings of the International Conference on Heavy Metals in the Environment. Heidelberg, Sept. 83, 4 pp.
- Niemitz, J.W. (1977). Tectonics and geochemical exploration for metal deposits in the southern Gulf of California. Ph.D. Thesis, University of Southern California, 354 pp.
- Ortega-Osorio, A. y Páez-Osuna, F. (1989). Composición geoquímica y mineralógica de los depósitos hidrotermales de la Dorsal del Pacífico mexicano (21°N) y Cuenca de Guaymas. *Geof. Int.* (en prensa).
- Páez-Osuna, F., Osuna-López, J.I., Mee, L.D. y Abdullah, M.I. (1986). Modificación a un nucleador ligero y económico para muestrear sedimentos sin disturbarlos: Nota científica. *An. Inst. Cienc. del Mar y Limnol. UNAM*, 13: 449-454.
- Peter, J.M., Scott, S.D. and Shanks, W.C. (1987). Mineralogy and geochemistry of hydrothermal vent deposits in the southern Guaymas Basin, Gulf of California. NSF Conference on the Mexican Guaymas Basin Expedition. Abstract.
- Presley, B.J., Kolodny, Y., Nissebaum, A. and Kaplan, I.R. (1972). Early diagenesis in a reducing fjord, Saanich Inlet, British Columbia. II. Trace element distribution in interstitial water and sediment. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 49: 1023-1033.
- Prohic, E. and Kniewald, G. (1987). Heavy metal distribution in recent sediments of the Krka river estuary: an example of sequential extraction analysis. *Mar. Chem.*, 22: 279-297.



Tessier, A., Campbell, P.G.C. and Bisson, M. (1979). Sequential extraction procedure for the speciation of particulate trace metals. *Anal. Chem.*, 51: 644-651.

Tessier, A. and Campbell, P.G.C. (1987). Partitioning of trace metals in sediments: Relationships with bioavailability. *Hydrobiologia*, 149: 43-52.

Van Andel, T.H. (1963). Algunos aspectos de la sedimentación reciente en el Golfo de California. *Bol. Soc. Geol. Mex.*, 26: 85-94.

Van Andel, T.H. (1964). Recent marine sediments of Gulf of California. In: T.H. Van Andel and C.G. Skor (eds.), *Marine Geology of the Gulf of California, a Symposium*. The American Association of Petroleum Geol. Mem., 3: 216-310.