

ACUMULACION DE METALES PESADOS EN MITLA: UNA LAGUNA COSTERA TROPICAL

ACCUMULATION OF HEAVY METALS AT MITLA: A TROPICAL COASTAL LAGOON

Federico Páez-Osuna ¹
J. Isidro Osuna-López ²

¹ Universidad Nacional Autónoma de México
Instituto de Ciencias del Mar y Limnología
Apdo. Postal 811 Mazatlán 82000, Sinaloa

² Universidad Autónoma de Sinaloa
Escuela Ciencias del Mar
Apdo. Postal 610, Mazatlán 82000, Sinaloa

Páez-Osuna Federico y Osuna-López, J.I. (1987) Acumulación de metales pesados en Mitla: una laguna costera tropical. *Accumulation of Heavy Metals at Mitla: a Tropical Coastal Lagoon*. *Ciencias Marinas*; 13(3): 97-112, 1987.

RESUMEN

Se analizaron los metales pesados en cuarenta y cinco secciones de 1cm, en un núcleo de una laguna costera tropical, con objeto de estimar el flujo sedimentario de dichos elementos. Las concentraciones encontradas en el núcleo de Laguna Mitla son comparables a los sedimentos de textura equivalente de Laguna Chautengo y Laguna Ostión (México), aunque en metales como Cu, Zn, Pb y Cr los niveles son menores que los dados para un área contaminada del puerto de Los Angeles (E.U.A). El aporte de metales pesados al cuerpo principal de Laguna Mitla (Co, 1.02-6.22; Ni, 5.4-32.8; Cr, 5.4-30.7; Cu, 2.91-21.5; Pb, 0.71-3.23; Zn, 6.49-39.7; Mn, 50.4-200; Fe, 2680-16108; Al, 4334-65400 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{año}^{-1}$) parece ser del mismo orden en magnitud que el de la zona estuarina de Narragansett Bay (EUA) y de Erie Lake (EUA/Canadá), aunque relativamente más altos que los encontrados en las cuencas de California (EUA) y Guaymas (México) o el delta de Godavari (India).

ABSTRACT

Heavy metals were analyzed in forty five sections (measuring 1cm each) of a tropical coastal lagoon sediment core in order to estimate the sedimentary flux of these elements. The concentrations found in the core of Laguna Mitla are comparable to those sediments of equivalent texture of Laguna Chautengo and Laguna Ostión (Mexico). However, metals as Cu, Zn, Pb, and Cr were found to be lower than those given for the polluted area of Los Angeles harbor (USA). The heavy metals fluxes (Co, 1.02-6.22; Ni, 5.4-32.8; Cr, 5.4-30.7; Cu, 2.91-21.5; Pb, 0.71-3.23; Zn, 6.49-39.7; Mn, 50.4-200; Fe, 2680-16108; Al, 4334-65400 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{yr}^{-1}$) in the main body of Laguna Mitla seem to be similar in magnitude to those of the estuarine zone of Narragansett Bay (USA) and of Erie Lake (USA/Canada), although these fluxes are relatively higher than those found for the California (USA) and Guaymas (Mexico) basins or the Godavari delta (India).

INTRODUCCION

Con objeto de cuantificar el aporte de metales pesados en los sedimentos, se han realizado numerosos estudios en el ambiente costero (Bruland *et al.*, 1974; Kalesha *et al.*, 1980; Donegan y Shrader, 1982), estuarino (Goldberg *et al.*, 1977, 1978) y lacustre (Bertine *et al.*, 1978; Nriagu *et al.*, 1979); sin embargo, de las lagunas costeras no se tienen datos sobre la magnitud de flujo de metales pesados acumulados en los sedimentos.

Las lagunas costeras tropicales en algunos casos, como muchas de la costa del Pacífico Mexicano, se presentan como cuerpos de agua que solamente se comunican al mar durante una corta época del año; de cualquier manera los sedimentos que se acumulan en el ambiente lagunar reflejan el carácter general de los materiales transportados por los ríos y aguas de escurrimiento, el aporte marino derivado de la erosión costera, el producido *in situ* por organismos y los añadidos por las actividades del hombre. En el presente estudio se colectó un núcleo desde el cuerpo principal de Laguna Mitla (localizada entre los paralelos 17°00' y 17°05'N y 100°14' y 100°26'W de longitud) con objeto de estimar los flujos de metales pesados en los sedimentos, a fin de discutir los niveles de concentración y los aportes en relación a otros cuerpos de agua previamente estudiados.

Area de estudio

Laguna Mitla es una laguna litoral angosta y elongada con 25km de longitud, paralela al litoral con orientación Noroeste-Suroeste y un área aproximada de 32km². A diferencia de otros sistemas lagunares costeros de la costa Pacífico, esta laguna no se comunica con el litoral; sus condiciones morfológicas y oligohalinas indican que el ingreso de aguas dulces siempre ha predominado sobre las de origen marino. De esta manera, el vaso lagunar se ha convertido en un receptor de aguas de escurrimiento y ríos temporales (Castro *et al.*, 1978): Con profundidades someras menores que los 3m; su columna de agua presenta concentraciones variables de oxígeno disuelto durante el día (0-10ppm), y los fondos son predominantemente anóxicos (Mee, 1977). Lankford (1977)

INTRODUCTION

In order to quantify the heavy metals flux in the sediments, numerous studies have been conducted in the coastal (Bruland *et al.*, 1974; Kalesha *et al.*, 1980; Donegan and Shrader, 1982), estuarine (Goldberg *et al.*, 1977, 1978) and lagoon (Bertine *et al.*, 1978; Nriagu *et al.*, 1979) environments; as far as the coastal lagoon is concerned however, there are no data about the flux magnitude of heavy metals accumulated in the sediments.

Like many lagoons of the Mexican Pacific coast, the tropical coastal lagoons are bodies of water that are connected with the sea only during a short period of the year. The sediments that accumulate in the lagoon coastal environment have the general characteristics of the material transported by rivers and run off waters, marine flux due to coastal erosion and the one produced *in situ* by organisms as well as by human activities. In the present study, a core was collected from the main body of Laguna Mitla (located between the parallels 17°00' and 17°05'N and 100°14' and 100°26'W of longitude) to estimate heavy metal fluxes in the sediments, and thus be able to discuss the concentration levels and the inputs in relation with other bodies of water previously studied.

Study area

Laguna Mitla is an elongate littoral lagoon, 25km long, parallel to the littoral, Northwest-Southwest oriented, with an approximate surface of 32km². Contrary to other coastal lagoon systems of the Pacific coast, this lagoon does not communicate with the littoral: its morphological and oligohaline conditions indicate that the fresh water flux has always predominated over the marine flux. Thus, the lagoon has become a receptor of run off waters and temporary rivers (Castro *et al.*, 1978). With shallow waters (less than three meters), its column of water presents variable concentrations of solved oxygen during the day (0 - 10ppm) and the bottom is predominantly anoxic (Mee, 1977). Lankford (1977) classified this lagoon as Type III B, that is to say a coastal lagoon with internal platform barrier that formed during the recent Holocene.

clasificó esta laguna como del tipo III B, es decir, laguna costera con barrera de plataforma interna, cuya barrera se formó durante el Holoceno reciente.

MATERIALES Y METODOS

El núcleo de este estudio fue colectado en febrero de 1980 desde el cuerpo principal de la laguna (Fig. 1), mediante un nucleador de PVC a una profundidad de 3m. Con una longitud de 60cm y 15cm de diámetro, el núcleo se transportó congelado al laboratorio, donde se cortó en secciones longitudinales, a las cuales se les tomó una radiografía rayos X. Posteriormente dichas secciones se dividieron en intervalos transversales de 1cm de espesor para efectuarles los análisis de carbonatos y metales pesados.

Los metales se analizaron por espectroscopía de absorción atómica (modelo Varian AA6). Los sedimentos y los blancos fueron digeridos mediante el tratamiento sucesivo con HCl, HNO₃, HClO₄, HF y calor (Bruland *et al.*, 1974), y la precisión de los análisis fue: Co, 10%; Ni, 5%; Cr, 10%; Cu, 5%; Pb, 10%; Zn, 8%; Mn, 5%; Fe, 8%; y Al, 10%. Adicionalmente, el carbonato de calcio se determinó a partir de las mediciones de calcio, después de atacar el sedimento con HCl 0.4N.

RESULTADOS Y DISCUSION

En la Tabla I se presentan las concentraciones de carbonato de calcio y metales pesados en las 45 secciones de centímetro analizadas. El núcleo presentó proporciones variables en el tamaño de sus granos. Así, mientras que en los primeros 6cm predominan las arenas y arcillas, en los centímetros posteriores hay una dominancia alternante de arcillas y limos (Páez-Osuna *et al.*, 1983). Considerando dichas variaciones de carácter textural, se obtuvo un promedio para cada metal en las distintas texturas existentes (Tabla II). Con excepción del Fe y Cr, todos los metales poseen mayores concentraciones en las fracciones finas. Esta asociación preferencial fue encontrada por Mayer y Fink (1980) y ha sido motivo, incluso, de diversas propuestas para normalizar las concentraciones en función

MATERIALS AND METHODS

The core of this study was collected in February 1980 from the main body of the Lagoon (Fig. 1) three meters deep, through a PVC core sampler. The frozen core, 60cm in length and 15cm in diameter, was carried to the laboratory, where it was cut in longitudinal sections and X-rayed. Later, these sections were divided into transversal intervals, 1cm thick, in order to carry out a carbonate and heavy metal analysis.

The metals were analyzed through atomic absorption spectroscopy (Varian AA6 model). The sediments and the blanks were digested through the successive treatment with HCl, HNO₃, HClO₄, HF and heat (Bruland *et al.*, 1974), and the precision of the analysis was Co 10%, Ni 5%, Cr 10%, Cu 5%, Pb 10%, Zn 8%, Mn 5%, Fe 8% and Al 10%. Furthermore, calcium carbonate was determined from the measurements of calcium after attacking the sediment with HCl 0.4N.

RESULTS AND DISCUSSION

In Table I are presented the carbonate and heavy metals concentrations in the 45 sections of 1cm that were analyzed. The core showed variable proportions in the size of its grains. Thus, although in the first 6cm predominate sand and clay, in the following centimeters, clay and mud prevail alternatively (Páez-Osuna *et al.*, 1983). Considering these texture variations, an average was found for each metal in the different existing textures (Table II). Except for Fe and Cr, all the metals have higher concentrations in the fine fractions. This preferential association has been found by Mayer and Fink (1980) and has even lead to several proposals to normalize the concentrations depending on the grain size in the sediments (Williams *et al.*, 1978; De Groot *et al.*, 1982).

Table II also shows heavy metal levels in the sediments of other regions. Laguna Chautengo is another coastal lagoon of the Mexican Pacific, that, like Mitla, is not influenced by anthropogenic activities. The estuaries of Rfo Coatzacoalcos and Laguna Ostión, however,

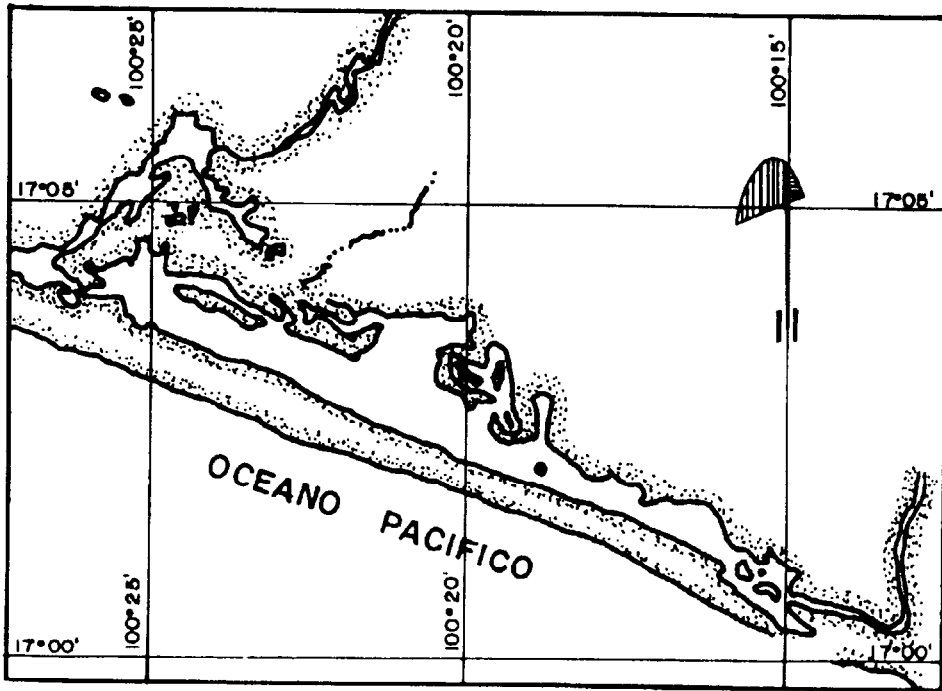


Figura 1. Localización del área de estudio () punto donde se colectó el núcleo.
Figure 1. Study area location () point where the core was collected.

del tamaño de grano en los sedimentos (Williams *et al.*, 1978; De Groot *et al.*, 1982).

En la Tabla II se presentan también niveles de metales pesados en los sedimentos de otras regiones. Laguna Chautengo es una laguna costera del Pacífico Mexicano que al igual que Mitla no presenta influencia de actividades antropogénicas. El estuario del Rfo Coatzacoalcos y Laguna Ostión, en cambio, parecen hallarse afectados por problemas de tipo urbano y de la industria petrolera. Los niveles del puerto de Los Angeles EUA corresponden a un área contaminada (Lu y Che, 1977).

Los valores encontrados en las dos lagunas aparentemente no contaminadas son comparables entre sí y se puede observar que las concentraciones de 12ppm o menos del Pb son niveles naturales en estas texturas. Por su parte los niveles de Cu, Zn y Cr, aunque

seem to be affected by urban and oil industry problems. Levels in the Los Angeles harbor (USA) correspond to a polluted area (Lu and Che, 1977).

The values found in the two lagoons apparently non polluted are comparable to each other and one can observe that the Pb concentrations of 12ppm or less are natural levels in these textures. As to the Cu, Zn and Cr levels, although they are comparable to those of Laguna Ostión and Coatzacoalcos, they are much lower than the ones determined in the polluted sediments of the Los Angeles harbor (USA).

The profiles of Figures 2, 3 and 4 show that the metals present concentrations that vary with depth and that have well defined patterns for Al, Mn, Fe, Co, Pb, Cu and Zn. In the last two elements, the similarity of the patterns that follow in the whole core (the

Tabla I. Concentración de carbonato de calcio y metales pesados en el núcleo de Laguna Mitla.
Table I. Calcium carbonate and heavy metal concentration in the core of Laguna Mitla.

Sección (cm)	p p m								%	
	Co	Ni	Cr	Cu	Pb	Zn	Mn	Fe	Al	CaCo3
0-1	13	44	121	55	9	103	769	4.11	5.53	3.11
1-2	14	43	93	48	11	100	718	4.21	5.67	
2-3	14	76	109	49	13	99	722	4.69	5.98	3.55
3-4	15	122	97	52	12	104	714	4.43	5.34	
4-5	14	51	83	61	10	101	733	5.05	5.82	
5-6	15	134	77	65	13	104	766	5.55	6.34	
6-7	16	204	113	82	13	123	716	5.47	6.62	0.10
7-8	11	173	131	64	11	113	660	5.33	5.93	
8-9	11	46	86	52	6	79	525	3.10	4.94	
9-10	15	46	101	59	14	107	569	3.91	6.00	
10-11	15	147	93	67	9	126	561	4.04	5.33	
11-12	16	51	127	62	9	121	419	3.91	5.54	
12-13	17	127	135	60	11	107	764	5.05	5.64	0.21
13-14	10	115	88	63	10	98	569	4.53	4.90	
14-15	21	69	139	58	7	109	610	4.42	5.91	0.14
15-16	19	56	69	60	9	97	586	5.34	5.70	
16-17	18	54	68	61	8	102	605	4.78	5.35	
17-18	17	127	67	61	10	105	594	5.01	5.90	
19-20	19	97	66	69	6	114	601	5.49	5.16	
20-21	17	196	84	74	10	127	610	5.46	5.71	
21-22	30	103	155	83	13	144	643	5.63	7.30	0.15
23-23	20	168	77	84	14	128	624	6.08	6.53	
25-26	22	78	92	85	10	132	635	5.46	7.08	
27-28	26	109	137	93	2	171	620	4.79	7.22	0.10
29-30	21	267	127	96	10	232	653	5.83	8.01	0.07
31-32	17	76	102	90	10	148	604	8.54	6.89	
33-34	25	61	166	54	9	94	617	3.75	6.14	
37-38	17	56	66	55	11	016	692	4.10	7.14	
40-41	28	89	120	59	12	134	705	3.71	7.17	0.23
41-42	17	52	92	56	18	128	716	5.08	6.77	
43-44	17	49	71	51	14	111	735	4.69	7.75	
45-46	16	162	72	51	13	123	727	4.72	7.62	
46-47	17	138	69	51	16	118	691	4.75	6.73	
48-49	23	195	62	51	14	119	837	5.90	6.99	4.68
49-50	16	187	70	57	22	124	807	6.27	8.69	2.95
50-51	15	163	74	50	21	125	732	6.18	7.76	5.37
51-52	20	180	84	58	17	126	765	6.19	7.74	0.32
52-53	16	118	78	63	17	121	805	5.19	7.77	
53-54	15	67	89	57	12	120	810	5.66	6.58	2.94
54-55	20	119	84	52	11	117	794	5.74	6.78	6.40
55-56	10	61	74	45	8	98	722	3.62	7.22	16.23
56-57	13	95	51	35	9	73	626	3.76	4.75	16.90
57-58	11	54	75	39	8	68	505	2.64	4.28	16.01
58-59	8	34	31	16	6	34	366	1.48	3.16	103.00
59-60	11	26	74	31	9	74	586	1.95	4.76	67.40

Tabla II. Concentración promedio de metales en el área de estudio y otras regiones de acuerdo al carácter textural.

Table II. Average metal concentration in the study area and other regions according to the texture.

Región	Textura	Concentración en ppm (Fe en %)						
		Fe	Ni	Co	Cu	Zn	Pb	Cr
Laguna Mitla	Arena arcillosa	4.11	44	13	55	103	9	121
	Limo arcillosa	3.71	89	28	59	134	12	120
Laguna Chautengo (a)	Arcilla limosa	4.53	115	10	63	98	10	88
	Limo arcillosa	3.1	55	29	29	67	<9	58
	Arcilla limosa	5.0	61	36	42	109	<9	60
Estuario del Rfo Coatzacoalcos (b)	Limo arcillosa	5.20	42	25	35	108	51	90
	Arcillo limosa	4.16	50	26	39	131	73	107
Laguna Ostión (b)	Arena arcillosa	6.40	85	49	70	91	<7	305
	Limo arcillosa	3.40	44	40	25	68	<7	101
Puerto de Los Angeles (c)	Arcilla limosa	3.95	64	33	58	78	<7	165
	Arcilla limosa	3.2	42.8	-	152	415	177	187

(a) Páez-Osuna *et al.*, 1984; (b) Páez-Osuna *et al.* (1986 en prensa); (c) Lu y Che, 1977.

comparables a Laguna Ostión y Coatzacoalcos, están muy por debajo de los determinados en los sedimentos contaminados del puerto de Los Angeles, EUA

En los perfiles de las Figuras 2, 3 y 4 se puede observar que los metales presentan concentraciones variables con la profundidad,

adjustment with $n=45$ produces a coefficient of correlation of $r = 0.86$) is obvious and it is possible to infer that both metals behave the same way. All the profiles have in common the tendency to decrease in the bottom intervals (50-60cm), probably due to the dissolution produced by the abundance of calcareous fragments. This fact is reflected in the radiog-

con patrones bien definidos para Al, Mn, Fe, Co, Pb, Cu y Zn. En los dos últimos elementos es notoria la similitud de los patrones que siguen en todo el núcleo (el ajuste con $n=45$ produce un coeficiente de correlación de $r=0.86$) y se puede inferir que ambos metales se comportan de manera similar. Lo común en todos los perfiles es la tendencia que muestran a decrecer en los intervalos del fondo (50-60cm), debido probablemente a la dilución producida por la abundancia de fragmentos calcáreos, hecho que se refleja en la radiografía del núcleo (Páez-Osuna y Mandelli, 1985) y las elevadas concentraciones de CaCO_3 encontrados en esos intervalos (Tabla I).

El fuerte olor de H_2S y los restos de conchas y huellas de organismos horadores (posiblemente anélidos) en las secciones del fondo permiten deducir que el fondo lagunar ha evolucionado desde condiciones óxicas a anóxicas. La concentración relativamente constante de Zn, Cu, Pb, Co y Cr en los centímetros 43-50 del núcleo (Fig. 3 y 4) debe ser consecuencia de la perturbación biológica que ocurrió en el pasado reciente.

La tendencia decreciente del Mn desde el fondo del núcleo a la superficie (de 9 a 50cm, Fig. 2) es un fenómeno que ha sido observado frecuentemente en sedimentos anóxicos (Goldberg *et al.*, 1979; Páez-Osuna *et al.*, 1984). La explicación es que el Mn se incorpora al depósito como un componente de los suelos, rocas y ocasionalmente como contaminante, en una forma química oxidada tetravalente o heptavalente. Después, bajo condiciones anóxicas, éste se reduce a Mn^{+2} , y se transfiere posteriormente por difusión hacia las aguas suprayacentes o bien, precipitando como un óxido en las secciones óxicas de la columna sedimentaria. En el núcleo de la Laguna Mitla las mayores concentraciones de Mn se encuentran en la sección de mezclado biológico (43-50cm) y en los 8cm superiores. Esto último revela que en los años recientes los fondos alcanzan redox, menos reductores que los correspondientes a intervalos intermedios. Otra manera de averiguar los cambios redox de la columna sedimentaria (y de los fondos en el pasado reciente) es el comportamiento del perfil Cu/Zn, el cual se ha notado que se

raphy of the core (Páez-Osuna and Mandelli, 1985) and the high concentrations of CaCO_3 found in these intervals (Table I).

The strong odour of H_2S and the remains of shells and tracks of burrowing organisms (possibly annelids) in the bottom sections lead us to deduce that the lagoon bottom has evolved from oxic to anoxic conditions. The relatively constant concentration of Zn, Cu, Pb, Co and Cr in the 43-50cm interval of the core (Fig. 3 and 4) must be a consequence of the biological perturbation that occurred in the recent past.

The decreasing tendency of Mn from the bottom of the core to the surface (from 9 to 50cm, Fig. 2) is a phenomenon that has often been observed in the anoxic sediments (Goldberg *et al.*, 1979; Páez-Osuna *et al.*, 1984). The explanation is that the Mn is incorporated to the deposit as a soil, rock and occasionally polluting component, in a tetravalent or heptavalent oxidized chemical form. Later, under anoxic conditions, it is reduced to Mn^{+2} and then transferred by diffusion towards the supra-adjacent waters or precipitating as an oxide in the oxic sections of the sedimentary column. In the Laguna Mitla core, the greatest concentrations of Mn are encountered in the section of biological mixing (43-50cm) and in the superior 8cm. This reveals that in recent years, the bottoms reach redox, less reducing than the ones corresponding to intermediate intervals. Another way of checking the redox changes of the sedimentary column (and of the bottom in the recent past) is the behavior of the profile Cu/Zn, which increases in the sediments when the environment changes its conditions from oxidizing to reducing (Manheim, 1961).

In the particular case of the Mitla core (Fig. 4), the highest values of Cu/Zn (0.55-0.67) occur in the intermediate portions and the lowest on the bottom, followed by the upper 4cm, coinciding this behavior of the redox with the one found for Mn.

The variations in the relation Cu/Zn have been explained the following way: although both elements behave geochemically similarly, in oxic conditions copper tends more

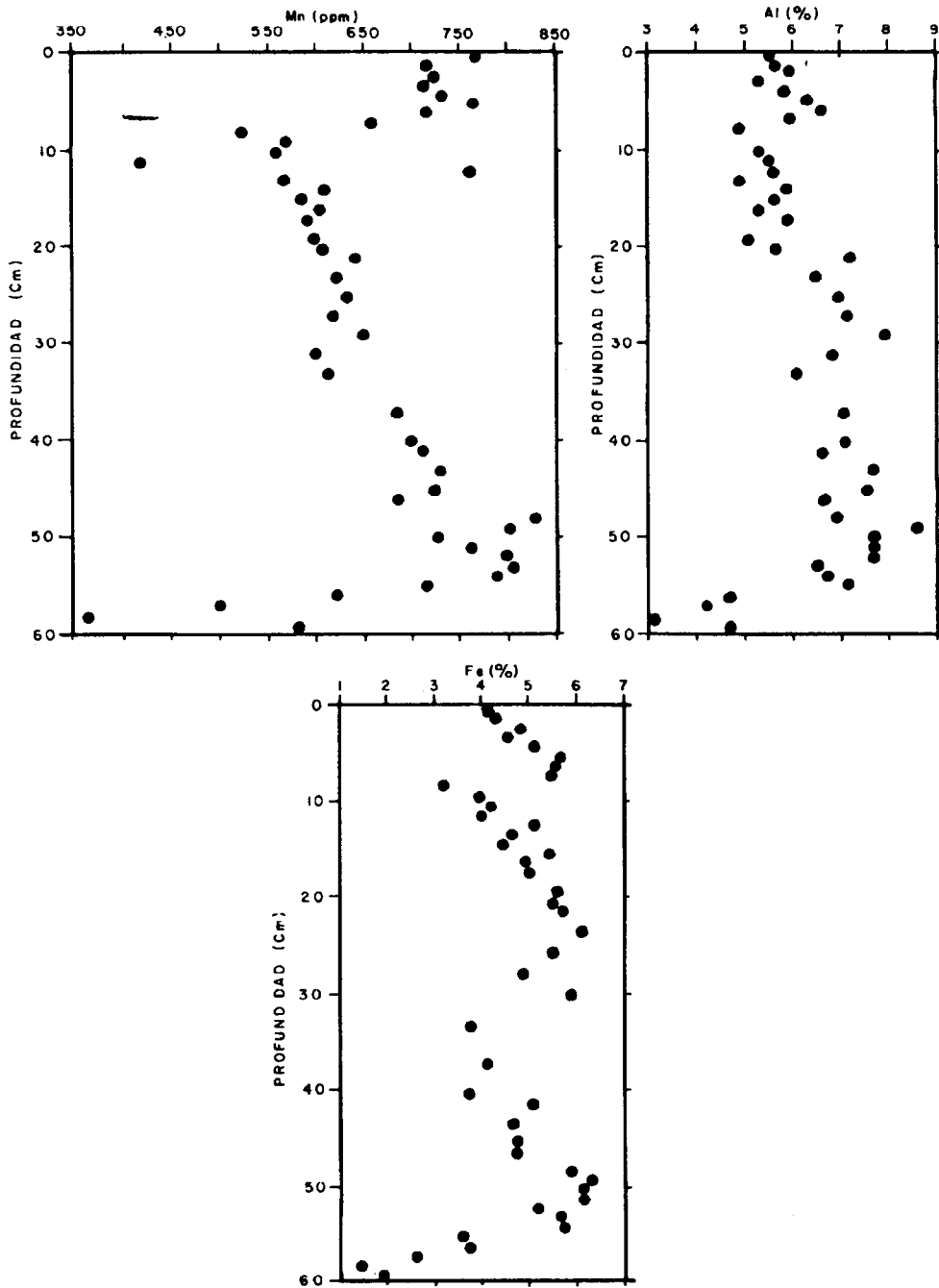


Figura 2. Distribución de Mn, Al y Fe en el núcleo de Laguna Mitla.
Figure 2. Mn, Al and Fe distribution in the core of Laguna Mitla.

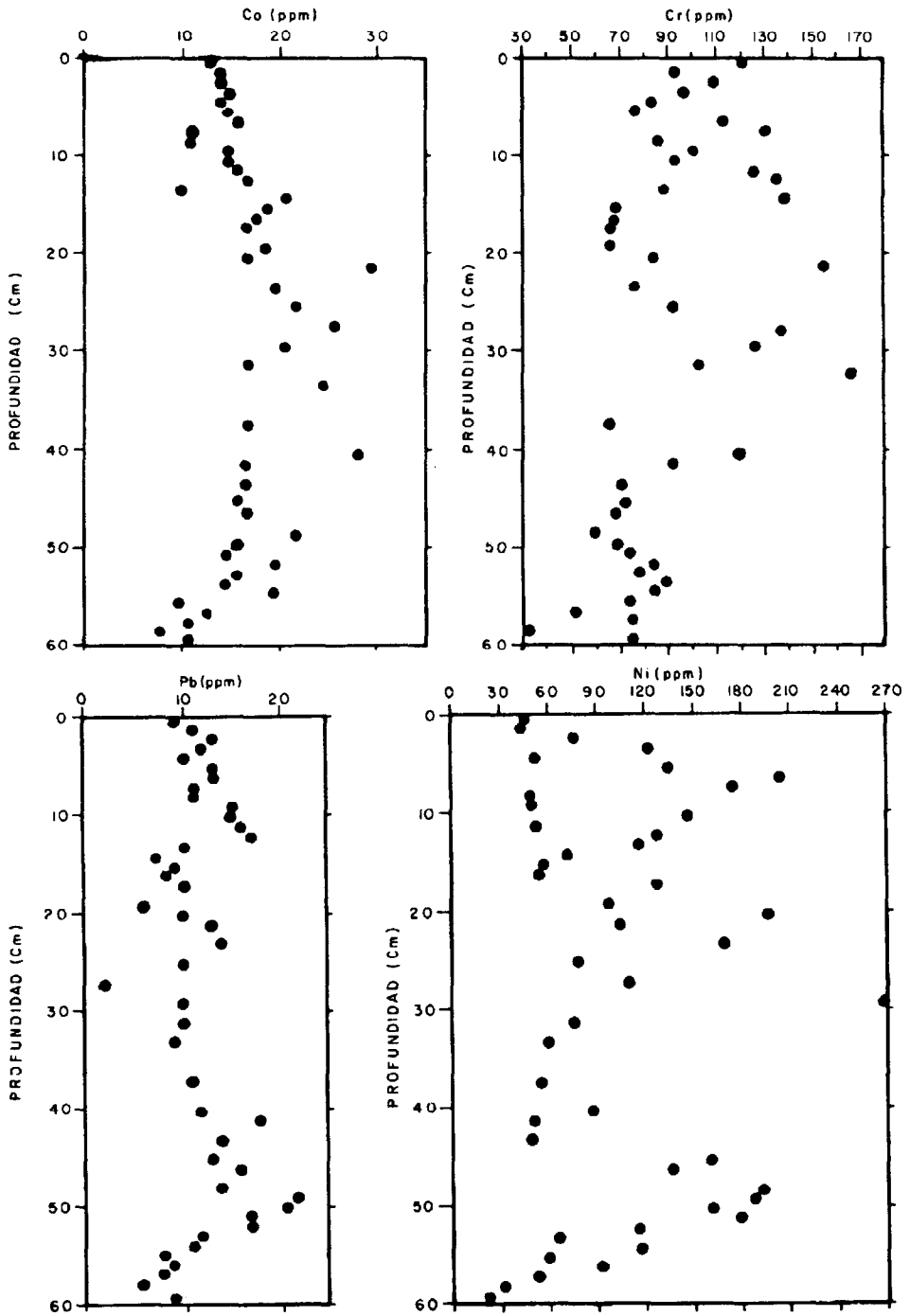


Figura 3. Distribución de Co, Cr, Pb y Ni en el núcleo de Laguna Mitla.
Figure 3. Co, Cr, Pb and Ni distribution in the core of Laguna Mitla.

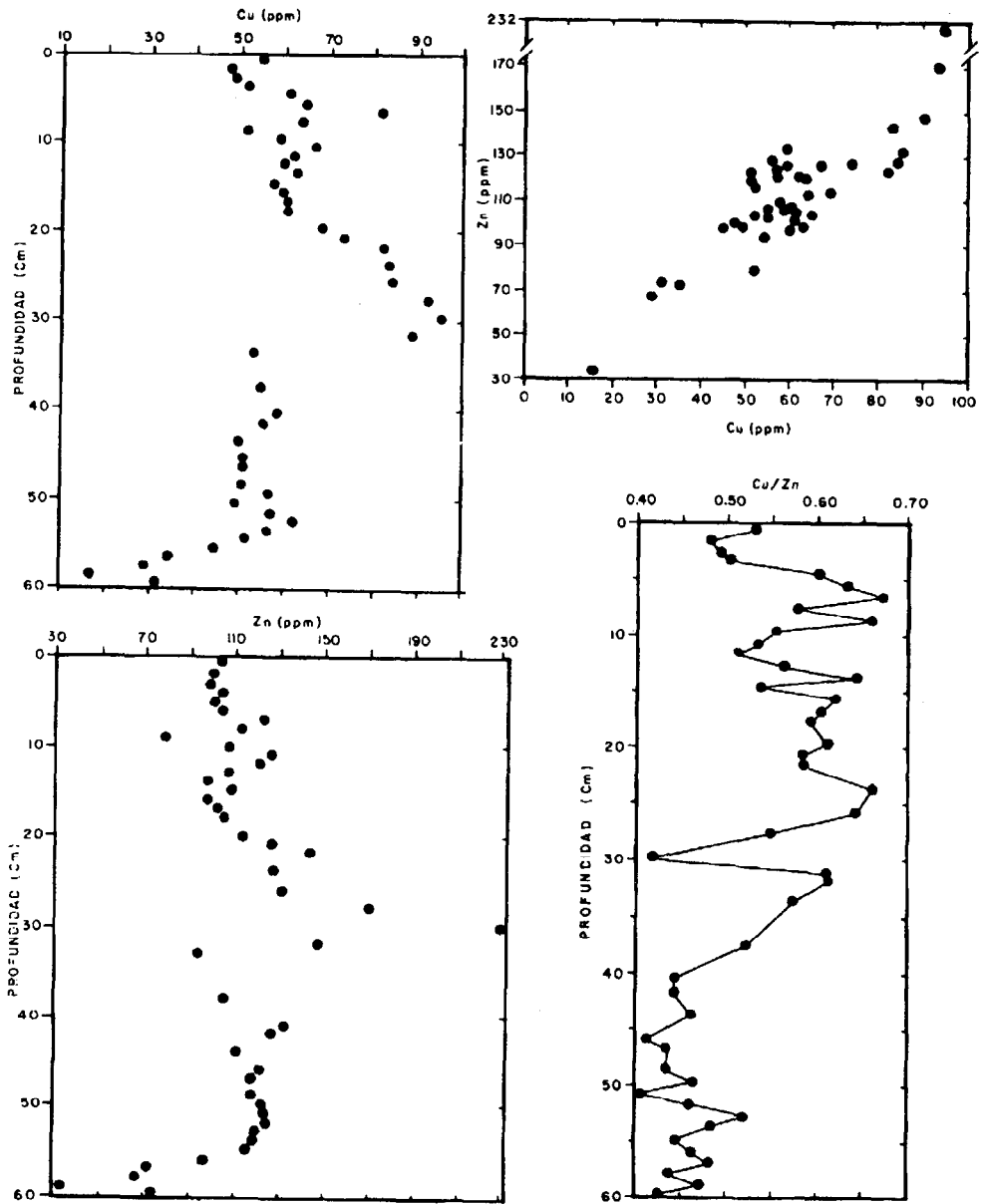


Figura 4. Gráfica de Cu vs. Zn; distribución de Cu, Zn y Cu/Zn en el núcleo de Laguna Mitla.
Figure 4. Cu vs. Zn graph; Cu, Zn and Cu/Zn distribution in the core of Laguna Mitla.

incrementa en los sedimentos cuando el ambiente cambia de condiciones oxidantes a reductoras (Manheim, 1961).

En el caso particular del núcleo de Mitla (Fig. 4), los valores más altos de Cu/Zn (0.55-0.67) se observan en las porciones intermedias y los más bajos en el fondo, seguidos de los 4cm superiores, coincidiendo este comportamiento del redox con el dilucidado para Mn.

Las variaciones en la relación Cu/Zn han sido explicadas con base en que, aún comportándose geoquímicamente de manera similar, ambos elementos en condiciones óxicas el cobre tiene una mayor tendencia a la quelación que el zinc (Hallberg, 1972, 1973); de tal forma que, en condiciones variables de redox, debe de reflejarse un cambio en las proporciones de Cu y Zn en la fase sólida.

La Tabla III se realizó con objeto de estimar la acumulación de los metales en los sedimentos en distintos períodos de deposición reciente. La suposición que se requiere para tales estimaciones es que las concentraciones medidas en cada intervalo correspondan a la época que se les asigna, lo cual sólo es válido cuando se trata de metales que diagenéticamente son inmóviles después de la deposición. En condiciones reductoras, esto se cumple razonablemente para la mayoría de los metales pero no para Mn y Fe.

Los períodos y flujo de sólidos o tasa de acumulación $r(\text{g.cm}^{-2} \cdot \text{año}^{-1})$ fueron establecidos a partir de la geocronología de ^{210}Pb , la cual fue discutida previamente (Pérez-Osuna y Mandelli, 1985). Los cálculos de la acumulación de metales se hicieron a partir de las ecuaciones dadas por Robbins (1978).

En el presente caso, la densidad promedio del sedimento en el núcleo estuvo cercana a uno en todas las secciones, debido seguramente a los elevados niveles de materia orgánica encontrados (Pérez-Osuna y Mandelli, 1985).

En la Tabla III se puede notar que los aportes son variables, y los flujos más bajos se encuentran en los años anteriores a 1900-1915,

to chelation than zinc (Hallberg, 1972, 1973); in variable conditions of redox, a change must occur in the proportions of Cu and Zn during the solid phase.

Table III was elaborated to estimate the metal accumulation in the sediments in different periods of recent deposition. This implies that the concentrations measured in each interval correspond to the time assigned, which is only valid when the metals are diagenetically immobile after the deposition. In reduction conditions, it is reasonably true for most of the metals but not for Mn and Fe.

The periods and solid flux or accumulation ratio $r(\text{g.cm}^{-2} \cdot \text{year}^{-1})$ were established from the geochronology of ^{210}Pb , which has been previously discussed (Pérez-Osuna and Mandelli, 1985). Metal accumulation was calculated from the equations given by Robbins (1978).

In this particular case, the average sediment density in the core was close to one in all the sections, certainly due to the high levels of organic matter found (Pérez-Osuna and Mandelli, 1985).

In Table III, it can be noted that the fluxes are variable and the lowest ones are found in the years previous to 1900-1915, when the bottoms were rich in benthonic organisms and the metal accumulation (except Al) was 46.4% to 72% lower than that of the last thirty years. The greatest depositions seem to have occurred during 1919-1948 and were three to four times higher than the recent ones.

The few inhabitants near the Lagoon state that years ago, the Lagoon used to be connected directly with the ocean during a certain period of the year, but unfortunately, they do not specify the date of the artificial closure, which nowadays isolates it from the littoral. The use of fresh water and communication of the bar with land caused this closure. The drastic change in the deposition ratio, which seems to have occurred in 1919 and 1948, allows to associate it with the Lagoon closure or with the alterations of the run off

Tabla III. Acumulación de metales pesados en Laguna Mitla.
Table III. Heavy metal accumulation in Laguna Mitla.

Sección (cm)	*Tasa de sedimentación (cm.año ⁻¹)	*Tasa de acumulación (gcm ⁻² .año ⁻¹)	Período estimado (años)	(μg.g ⁻¹ .cm ⁻² .año ⁻¹)									
				Co	Ni	Cr	Cu	Pb	Zn	Al	Fe	Mn	
0-13	0.51	0.105	1948-1979	1.5	10.			1.14		57400	4757	69.8	
13-46	1.52	0.314	1919-1948	0	2	11.0	6.27	3.23	11.2	65400	16108	200	
				6.2	32.		21.5						
				2	8	30.7			39.7				
46-54	Mezclado Biológico		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
54-60			<1900-1915	1.0	5.4	5.4		0.71	6.49	4334	2680	50.4	
				2			2.91						

*Pérez-Osuna y Mandelli (1985).

cuando los fondos eran ricos en organismos bentónicos y la acumulación de metales (con excepción de Al) de un 46.4 a 72% menor que la de los últimos treinta años. Las mayores depositaciones parecen haberse dado en el período 1919-1948 y son de tres a cuatro veces mayor que las más recientes.

Los escasos pobladores adyacentes a la laguna señalan que en años atrás esta laguna mantenía comunicación directa temporalmente con el océano, pero desafortunadamente no precisan la fecha del cierre artificial, que en la actualidad la mantiene aislada del litoral. Dicho cierre se hizo por razones del uso de agua dulce y comunicación de la barra con tierra firme. El drástico cambio en la tasa de depositación, que parece haber ocurrido en 1919 y 1948, permite asociar a este último con el cierre del vaso lagunar o bien con las alteraciones de los escurrimientos que alimentan a la laguna. Otra observación importante en los aportes es que la acumulación de sólidos y metales en su mayoría cambia en una proporción similar entre sí (alrededor de tres a uno), lo cual implica que la composición relativa de la fuente de aporte se ha mantenido relativamente constante en el área.

En la Tabla IV se presenta la acumulación de metales pesados en Laguna Mitla y otras regiones. Se puede observar que los flujos de Laguna Mitla son del mismo orden que los reportados en la zona estuarina de Narragansett Bay (Goldberg *et al.*, 1977) y de

waters that feed the Lagoon. Another important observation in the inputs is that the accumulation of solids, mainly metals, changes in a similar proportion for each one (around three to one), which implies that the relative composition of the source of the flux has remained relatively constant in the area.

In Table IV, the heavy metal accumulation in Laguna Mitla and other areas is showed. It can be observed that the Laguna Mitla fluxes are of the same order than those reported in the estuarine zone of Narragansett Bay (Goldberg *et al.*, 1977) and the Erie Lake (Nriagu *et al.*, 1979), while the levels deposited in the Palace Moat of Tokyo (located in an urban area) are particularly high for Cr, Cu, Pb, Zn, Mn and Fe. However, the fluxes estimated for the coastal areas such as the basins of California (Bruland *et al.*, 1974), Guaymas (Donegan and Schrader, 1982) and of the Godavari Delta in the Bengale Bay (Kalesha *et al.*, 1980) are relatively lower than those of this coastal Lagoon.

CONCLUSIONS

In general, most metal concentrations analyzed in the core of the present study are of the same order that those reported in the sediments of equivalent texture of other Lagoons such as Chautengo and Ostión. Even the levels of Mitla are comparable (except Pb) to those of the estuary of the Río Coatzacoalcos.

Tabla IV. Acumulación de metales pesados en Laguna Mitla y otras regiones.
Table IV. Heavy metal accumulation in Laguna Mitla and other regions.

Región	Tasa de sedimentación (mm . año ⁻¹)	(µg . cm ⁻² año ⁻¹)							
		Co	Ni	Cr	Cu	Pb	Zn	Mn	Fe
Laguna Mitla, México	2.6-15.2	5.0	30.7	27.1	18.1	3.3	33.5	195.5	14000
Bahía Narrangansett (a) (Zona estuarina), EUA	1.67-10	2	6	16-235	3.3-263.3	3-171	16-346	-	-
Lago Erie (b), EUA/Canadá	0.2-8.5	-	-	-	0.47-19.8	0.39-16.1	0.68-51	-	-
Fosa del Palacio de Tokio (c), Japón	20	7.7	19	43	130	130	600	320	20000
Delta de Godavari en la Bahía de Bengala (d), India	1.3-1.3	4.2	4.6	5.7	6.9	-	7.0	22	3900
Golfo de California, Cuenca de Guaymas (e), México	1.03-4.32	-	0.38-2.64	-	0.36-2.77	-	0.87-7.34	1.68-15.77	191.3-1515
Cuenca de California (f) EUA	2.7-9	0.53	2.3	8.1	2.9	2.1	7.3	15	1800

(a) Goldberg *et al.*, 1977; (b) Nriagu *et al.*, 1979; (c) Goldberg *et al.*, 1976; (d) Kalesha *et al.*, 1980; (e) Donegan y Schrader, 1982; (f) Bruland *et al.*, 1974.

Erie Lake (Nriagu *et al.*, 1979), mientras que los niveles depositados en la Fosa del Palacio de Tokio (ubicada en un área urbana) son particularmente elevados para Cr, Cu, Pb, Zn, Mn, Fe. En cambio los aportes estimados para zonas costeras como las cuencas de California (Bruland *et al.*, 1974) de Guaymas (Donegan y Schrader, 1982) y del delta de Godavari en la Bahía de Bengala (Kalesha *et al.*, 1980) son relativamente menores que los de esta laguna costera.

CONCLUSIONES

En general, las concentraciones de la mayoría de metales pesados analizados en el núcleo del presente estudio son del mismo orden que las reportadas en los sedimentos de textura equivalente de otras lagunas como Chautengo y Ostión. Incluso los niveles de Mitla son comparables (con excepción de Pb) a los del estuario del Río Coatzacoalcos.

No obstante la gran similitud en el comportamiento de los perfiles de Cu y Zn en el núcleo ($n=45$; $r=0.86$), el perfil de Cu/Zn resulta útil como un indicador de las condiciones redox de los fondos lagunares en el pasado reciente. Los perfiles de Mn, Cu/Zn, y la presencia de fragmentos calcáreos permiten dilucidar dos cambios bruscos en las condiciones redox de la laguna, desde un período de redox oxidante (previo a 1920) evolucionando con fuertes variaciones, a un redox altamente reductor para posteriormente (alrededor de 1948) pasar a un redox menos reductor o ligeramente oxidante.

Los aportes de metales pesados que se depositan en el cuerpo principal de Laguna Mitla son comparables en magnitud a los acumulados en la zona estuarina de Narragansett Bay o de Erie Lake, pero relativamente menores a los encontrados en las cuencas de California o el delta de Godavari en la Bahía de Bengala.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a Edward D. Goldberg de Scripps Institution of Oceanography por haber brindado tan desinteresadamente las facilidades de su laboratorio, a Dong Soo y D.O. Suman por su asistencia técnica y en especial

Despite the great similarity in the behavior of the Cu and Zn profiles in the core ($n=45$; $r=0.86$), the Cu/Zn profile serves as an indicator of redox conditions of the lagoon bottom in the recent past. The Mn, Cu/Zn profiles and the presence of calcareous fragments lead to deduce two sudden changes in the redox conditions of the Lagoon, from a period of oxidizing redox (before 1920) evolving with strong variations to a highly reductive redox and then (around 1948) it gets to a less reductive or slightly oxidizing redox.

The heavy metal fluxes that deposit in the main body of Laguna Mitla are comparable in magnitude to those accumulated in the estuarine area of Narragansett Bay or of Erie Lake, but relatively lower than those found in the basins of California or the Godavari delta in the Bengala Bay.

ACKNOWLEDGMENT

We are grateful to Edward D. Goldberg from the Scripps Institution of Oceanography for offering so generously the facilities of his laboratory, to Dong Soo and D.O. Suman for their technical assistance and particularly to Enrique F. Mandelli for his enthusiasm and academic support. Eventually, we wish to thank the Proyecto Académico de Maestría y Doctorado en Ciencia del Mar de UACPyP of CCH, UNAM and the Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología for their support in this study. Katarzyna Michejda translated this paper into English.

a Enrique F. Mandelli por su entusiasmo y apoyo académico. Finalmente agradecemos al Proyecto Académico de Maestría y Doctorado en Ciencias del Mar de la UACPyP del CCH, UNAM y al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por el apoyo recibido durante la realización del presente trabajo.

LITERATURA CITADA

Berner, R.A. (1971) Principles of Chemical Sedimentology. Mc Graw - Hill, New York, 240 p.

- Bertine, K.K., Walawender S.J. and Koide M. (1978) Chronological Strategies and Metal Fluxes in Semi-arid Lake Sediments. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 42:1559-1571.
- Bruland, K.W., Bertine, K., Koide, M. and Goldberg, E.D. (1974) History of Metal Pollution in Southern California Coastal Zone. *Environ. Sci. Technol.*, 8:425-432.
- Castro, C., Mandelli, E.F., Mee L.D. and Vazquez-Botello, A. (1978) Estudios de los cambios ecológicos de la Laguna Mitla a través de sus sedimentos. VI Congreso Nacional de Oceanografía, Ensenada, México.
- De Groot, A.J., Zschuppe, K.H. and Salomons, W. (1982) Standardization of Methods of Analysis for Heavy Metals in Sediments. *Hydrobiology*, 92:689-695.
- Donegan, D. and Schrader, H. (1982) Biogenic and Abiogenic Components of Laminated Hemipelagic Sediments in the Central Gulf of California. *Mar. Geol.*, 48:215-237.
- Goldberg, E.D., Hodge, V., Koide, M. and Griffin, J.J. (1976) Metal Pollution in Tokyo as Recorded in Sediments of the Palace Moat. *Geochem. J.* 10:165-174.
- Goldberg, E.D., Gamble, E., Griffin, J.J. and Koide, M. (1977) Pollution History of Narragansett Bay as Recorded in its Sediments. *Estuar. Coast. Mar. Sci.*, 5:549-561.
- Goldberg, E.D., Hodge, V., Koide, M., Griffin, J., Gamble, E., Bricker, O.P., Matisoff, G., Holdren, G.R. and Braun R. (1978) A Pollution History of Chesapeake Bay. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 42:1413-1425.
- Goldberg, E.D., Griffin, J.J., Hodge, V., Koide, M. and Windom, H. (1979) Pollution History of the Savannah River Estuary. *Environ. Sci. Technol.*, 13:588-594.
- Hallberg, R.O. (1972) Sedimentary Sulfide Mineral Formation - An energy Circuit System Approach. *Mineral Deposita*, 7:189-201.
- Hallberg, R.O. (1973) The Microbiological C-N-S Cycles in Sediment and Their Effect on the Ecology of the Sediment Water Interface. *Oikos* 15:51-62.
- Kalesha, M., Rao, K.S. and Somayajulu, B.L.K. (1980) Deposition Rates in the Godavari Delta. *Mar. Geol.*, 34:M57-M66.
- Lankford, R.R. (1977) Coastal Lagoons of Mexico, their Origin and Classification. In: M. Wiley (ed.). *Estuarine Processes*. Academic Press, NY Vol. 11,183-215.
- Lu, J.C.S. and Che, K.Y. (1977) Migration of Trace Metals in Interphases of Seawater and Polluted Superficial Sediments. *Environ. Sci. Technol.* 11:174-182.
- Manheim, F.T. (1961) A Geochemical Profile from the Baltic Sea. *Geochim. Cosmochim. Acta*. 25:52-70.
- Mayer, L.M. and Fink, K. (1980) Granulometric Dependence of Chromium Accumulation in Estuarine Sediments in Maine. *Estuar. Coast. Mar. Sci.* 11:491-503.
- Mee, L.D. (1977) The Chemistry and Hydrography of Some Tropical Coastal Lagoons, Pacific Coast of Mexico. Ph.D. Thesis, University of Liverpool. 115 p.
- Nriagu, J.O., Kemp, A.L.W., Wong, H.K.T. and Harper, N. (1979) Sedimentary Record of Heavy Metal Pollution in Lake Erie. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 43:242-258.
- Pérez-Osuna, F., Fernández, H. y Mandelli, E.F. (1983a) Mineralogía de los sedimentos de un núcleo de Laguna Mitla, Gro., México. *An. Inst. Cienc. del Mar y Limnol., UNAM. México*. 10:271-276.
- Pérez-Osuna, F., Osuna-López J.I. and Griffin J. (1983b) Elemental Carbon in a Tropical Coastal Lagoon Sediment Core. *Indian, J. Mar. Sci.*, 12:223-224.
- Pérez-Osuna, F. and Mandelli, E.F. (1985) 210Pb in a Tropical Coastal Lagoon Sediment Core. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 20:367-374.
- Pérez-Osuna, F., Fong-Lee, M.L., Fernández-Pérez, H., Lozano-Santa-Cruz, R. and Villaseñor, G. (1984) Heavy Metals & Mineralogy in Sediment Cores from a Tropical Coastal Lagoon, Mexico. *Indian J. Mar. Sci.* 13:153-158.

Páez-Osuna, F., Osuna-López, J.I.- Acumulación

Páez-Osuna, F., Botello, A.V. and Gutierrez, S. (1986) Heavy Metals in Coatzacoalcos Estuary and Ostión Lagoon, Mexico. *Mar. Poll. Bull.* (In press).

Robbins, J.A. (1978) Geochemical and Geophysical Applications of Radiative Lead. In: Nriagu (ed.). *The Biogeochemistry of Lead in the Environment*. Elsevier North-Holland Biomedical Press, New York.

Williams, S.C., Simpson, H.J., Olsen, C.R. and Bopp, R.F. (1978) Sources of Heavy Metals in Sediments of the Hudson River Estuary. *Mar. Chem.* 6:195-213.