

## CONTAMINACION POR METALES PESADOS EN LOS SEDIMENTOS DE LA BAHIA DE CARDENAS, CUBA

### HEAVY METAL CONTAMINATION IN SEDIMENTS OF CARDENAS BAY, CUBA

Gustavo Arencibia  
Caridad Carrodegua  
Teresita Romero

Centro de Investigaciones Pesqueras  
Sta. Ave. y 248, Santa Fé  
C. Habana  
Cuba

*Recibido en diciembre de 1990; aceptado en abril de 1991*

#### RESUMEN

La bahía de Cárdenas es considerada un importante puerto debido a múltiples actividades económicas que en ella se realizan; sin embargo, cada día, al incrementarse su desarrollo, el estado del ecosistema se degrada, particularmente en sus fondos. En el presente estudio se determinaron Cu, Pb, Zn, Cr, Co, Ni y Mn en sedimento superficial para nueve estaciones ubicadas en la bahía. Las concentraciones promedio fueron: Cu - 34.7  $\mu\text{g/g}$ , Pb - 28.5  $\mu\text{g/g}$ , Zn - 29.0  $\mu\text{g/g}$ , Cr - 172.8  $\mu\text{g/g}$ , Co - 16.9  $\mu\text{g/g}$ , Ni - 35.0  $\mu\text{g/g}$  y Mn - 245.1  $\mu\text{g/g}$ . La técnica de análisis empleada fue la espectrofotometría de absorción atómica; además, mediante los métodos de teledetección se elaboró el mapa de distribución de los biotopos, delimitando con gran exactitud los diferentes tipos de fondos y brindando una información cualitativamente nueva, a partir de la cual las diferentes entidades que estudian la zona puedan realizar valoraciones con miras a preservar el medio ambiente. Se realizó un estudio de caracterización de algunas fuentes contaminadoras que vierten directamente a la bahía con tratamiento previo o sin él. Se estima que sólo para el Cr se tiene una situación de ligera contaminación, mientras que para el resto de los metales la bahía presenta valores normales.

#### ABSTRACT

Cardenas Bay is considered an important port due to the many economic activities carried out in it. However, each day, as its development increases, the state of the ecosystem deteriorates. In the present study, Cu, Pb, Zn, Cr, Co, Ni and Mn were determined in surface sediment at nine stations located in the bay. The average concentrations were: Cu - 34.7  $\mu\text{g/g}$ , Pb - 28.5  $\mu\text{g/g}$ , Zn - 29.0  $\mu\text{g/g}$ , Cr - 172.8  $\mu\text{g/g}$ , Co - 16.9  $\mu\text{g/g}$ , Ni - 35.0  $\mu\text{g/g}$  and Mn - 245.1  $\mu\text{g/g}$ . For the analysis, the atomic absorption spectrophotometry technique was used. Teledetection methods were used to make the map of biotope distribution, delimiting with great accuracy the different types of bottoms and giving new qualitative information, from which different industries that study the zone can carry out evaluations with a view to preserving the environment. A characterization study was carried out of some polluting sources that flow directly into the bay with or without treatment. Only for Cr was a situation of slight contamination found; the other metals had normal values in the bay.

## INTRODUCCION

La bahía de Cárdenas se encuentra situada al norte de la Provincia de Matanzas, entre Punta de Molas y los Cayos de la Manuy. Limita al NO con la Península de Hicacos y al SO y SE con la costa de la isla de Cuba.

Es una bahía poco profunda con un promedio de 4.5 m, oscilando entre 3 y 5 m en la parte central y disminuyendo hacia las costas, las cuales son bajas y cubiertas por manglares.

Los vientos predominantes son del NE y su acción es superficial, por lo que no ocasionan fuertes marejadas en el interior de dicha bahía (la altura media de la pleamar es de 0.5 m), favorecida por su ubicación geográfica al estar protegida por la Península de Hicacos que la cierra al NO, así como la cayería y los arrecifes exteriores que forman una barrera protectora.

Debido al desarrollo e industrialización acelerada de las zonas aledañas a la bahía y características pesqueras, es importante realizar estudios de la contaminación en los sedimentos y de la distribución de los biotopos, lo cual permitirá realizar estimaciones más exactas acerca del estado del ecosistema.

El presente trabajo tuvo por objetivo determinar los biotopos predominantes en la bahía (fango y fango-arenoso) obtenidos a través de los métodos de teledetección, y a partir de este mapa diseñar la red de estaciones, ya que las concentraciones de metales pesados y materia orgánica guardan estrecha relación con el tipo de sedimento. Otro objetivo es exponer las principales fuentes contaminantes de la zona de estudio. Finalmente, mediante la información obtenida, determinar el grado de deterioro en cuanto a contaminación por metales pesados y contaminación orgánica en los sedimentos de la bahía.

## MATERIALES Y METODOS

Se elaboró el mapa de biotopos (Fig. 1), permitiendo diseñar la red de estaciones (Fig. 2). Dicho mapa se obtuvo mediante el empleo de los métodos de teledetección, empleando los siguientes materiales: fotomontaje y base plástica no deformable a escala 1:100,000; fotos aéreas multizona de los experimentos Trópicos II (1978) y III (1980),

## INTRODUCTION

Cardenas Bay is located to the north of the province of Matanzas, between Punta de Molas and the Manuy Keys. It limits to the NW with the Hicacos Peninsula and to the SW and SE with the coast of the Cuban island.

It is a shallow bay with an average of 4.5 m, oscillating between 3 and 5 m in the central part and decreasing towards the coasts, which are low and covered by mangrove.

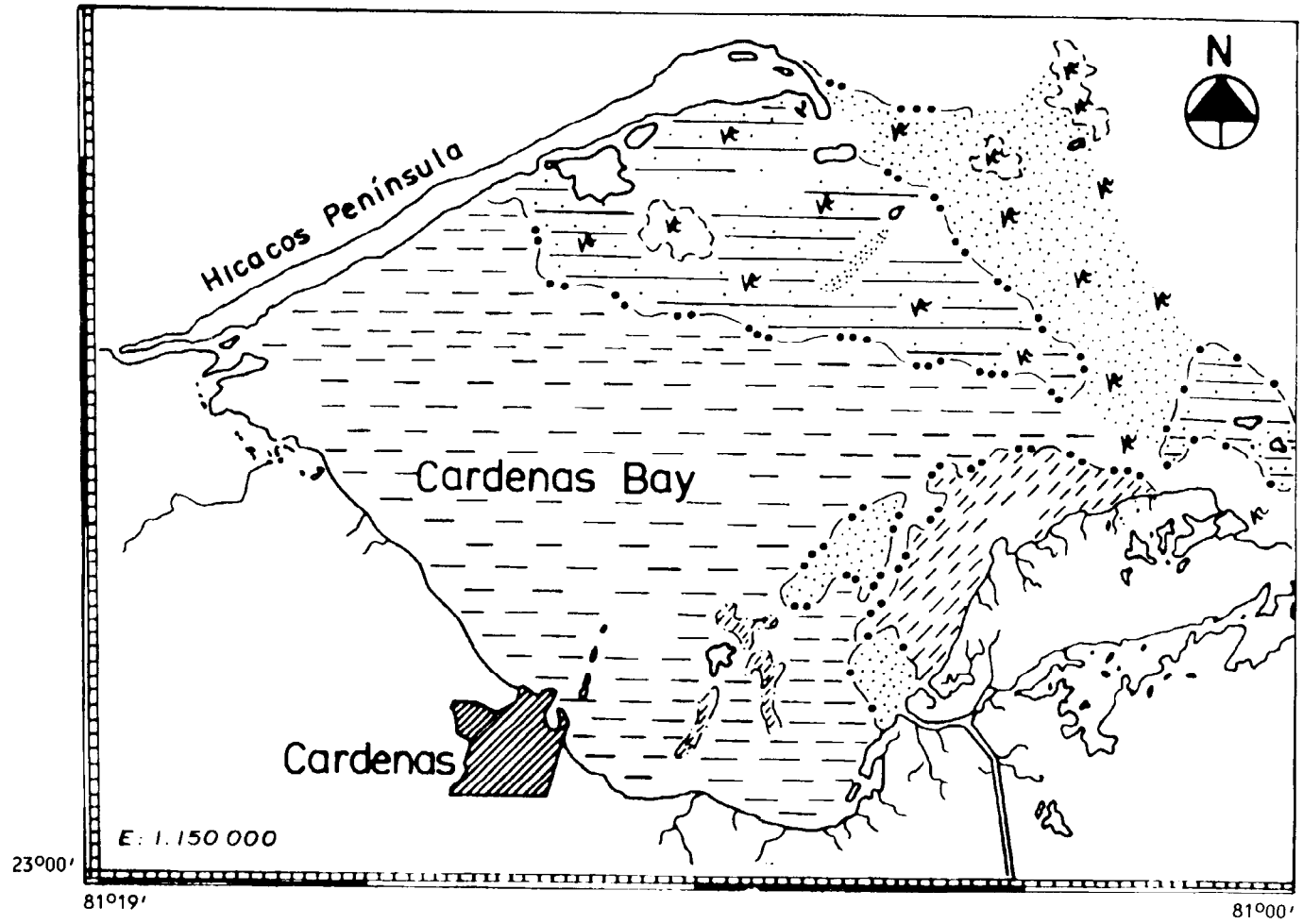
Northeasterly winds predominate. Their action is superficial and thus do not cause strong tides (the mean height of the high tide is 0.5 m) in the bay, which is protected to the NW by the Hicacos Peninsula as well as by the keys and reefs that form a protective barrier.

Due to the development and industrialization of the zones adjacent to the bay and to fishery characteristics, it is important to carry out studies of sediment pollution and the distribution of the biotopes, which will allow more exact estimates of the state of the ecosystem to be made.

The present work shows the predominant biotopes in the bay (mud and sandy-mud), obtained through teledetection methods which contributed to the design of the station network, as the concentration of heavy metals and organic matter have a close relation with the type of sediment. The main sources of pollution of this zone are exposed in this study. Finally, from the information obtained, the degree of deterioration with regard to heavy metal contamination and organic contamination in the sediments of the bay was determined.

## MATERIALS AND METHODS

A map of biotopes was made (Fig. 1) that allowed the station network to be designed (Fig. 2). This map was obtained by means of teledetection methods, using the following materials: photomontage and non-changeable plastic base with a scale of 1:100,000; multizone aerial photographs of experiments Trópicos II (1978) and III (1980), in blue-green (460-520 nm), green-yellow (520-560 nm), yellow-orange (580-620 nm)



**Figura 1.** Distribución de los biotopos en la bahía de Cárdenas, obtenido mediante el uso de los métodos de teledetección.

**Figure 1.** Distribution of the biotopes in Cardenas Bay, obtained by means of teledetection methods.

*Biotopes:* [dots] sandy, [cross-hatch] sandy-mud, [diagonal lines] mud-sandy, [horizontal lines] mud, [asterisks] turtle grass.

*Others:* [wavy line] line of the coast, [asterisk in circle] Torrijos distribution zone, [river symbol] rivers and streams, [ditch symbol] channels and ditch, [lake symbol] lakes, [hatched square] important towns.

*Limit between bottoms:* [solid dots] good photointerpretation, [solid line] regular photointerpretation, [dashed line] bad photointerpretation.

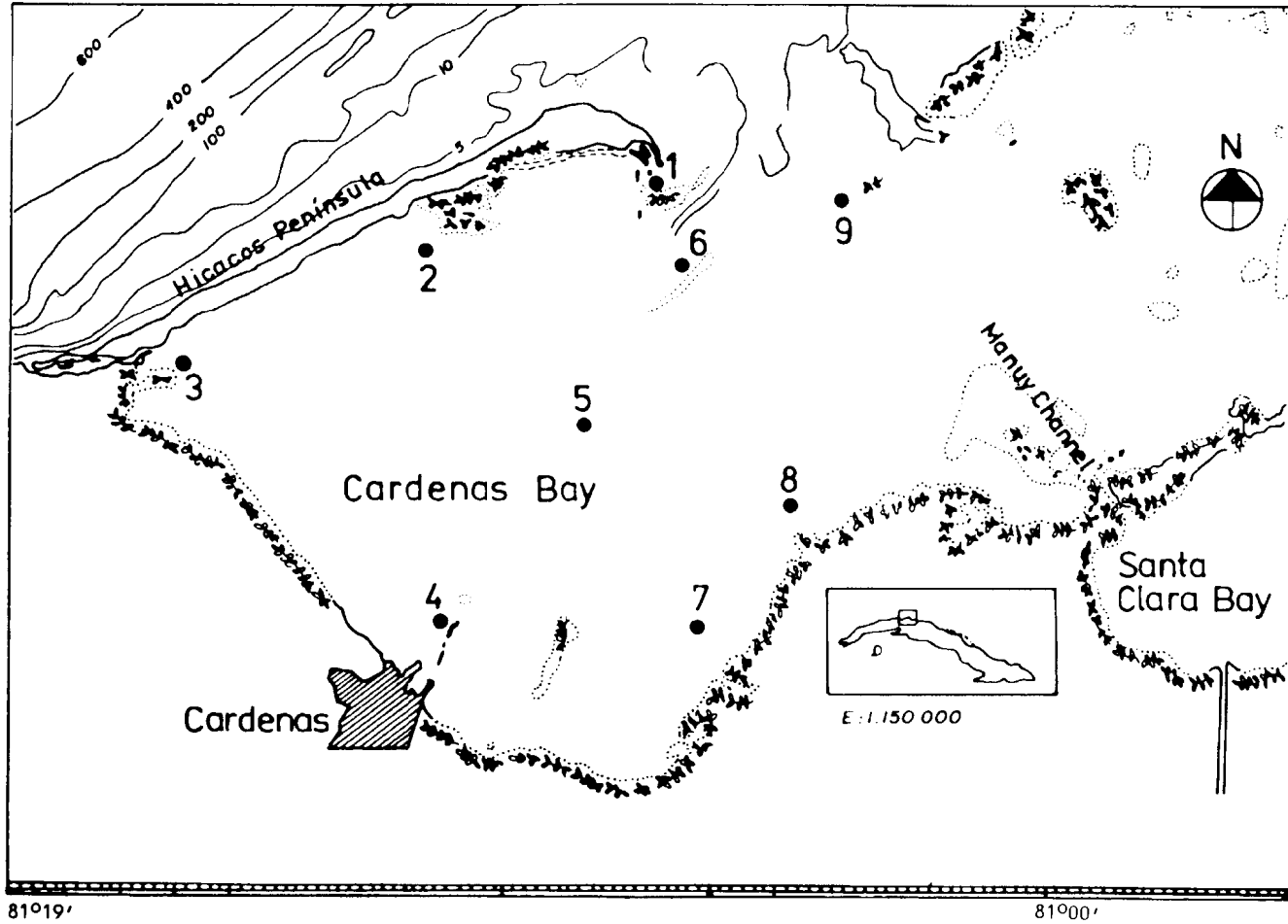


Figura 2. Red de estaciones.  
Figure 2. Station net.

en las bandas azul-verde (460-520 nm), verde-amarillo (520-560 nm), amarillo-naranja (580-620 nm) e infrarrojo cercano (790-890 nm), a escala 1:25,000; fotos panchromáticas de 1976 y 1983 a escala 1:35,000 y de 1956 a escala 1:60,000; cartas náuticas 1505 y 5003 del Instituto Cubano de Hidrografía y mapas topográficos a escala 1:50,000 y 100,000 del Instituto Cubano de Geodesia y Cartografía.

Para los trabajos de fotointerpretación y comprobación de campo se siguió la metodología de González-Day y Carrodegua (1985). La elaboración cartográfica se llevó a cabo según la metodología establecida en el Instituto Cubano de Geodesia y Cartografía.

Las muestras de sedimentos superficiales (noviembre de 1986) se secaron a 105°C durante 48 horas. Una vez secas se pulverizaron y tamizaron a través de una malla plástica para obtener la fracción menor a 63 µm, realizando todas las determinaciones por duplicado.

Los análisis colaterales efectuados a los sedimentos secos fueron: carbón orgánico (Ballinger y McKee, 1971; APHA, 1971), nitrógeno orgánico (FAO, 1975) y materia volátil (APHA, 1971).

Para la determinación de las concentraciones de metales en sedimentos se empleó la técnica de espectrofotometría de absorción atómica en llama con lectura directa, posterior a la mineralización húmeda de las muestras. La mezcla para digestión empleada fue HNO<sub>3</sub>/HCl (1:10), a la que se añadieron 75 ml de agua desionizada. La mezcla con la muestra se calentó a 95°C, hasta reducir el volumen a 10-15 ml (McKown *et al.*, 1978; González, 1984). El análisis de las muestras se efectuó utilizando un equipo Pye Unicam SP-190, sin corrección de deuterio.

Los métodos de teledetección se emplearon para la toma de las muestras de agua procedentes de los efluentes más significativos en cuanto a contaminación orgánica (confirmado por el tono claro de los efluentes).

Otros datos de caracterización se lograron de encuestas y trabajos realizados (Romero *et al.*, 1984) en la industria procesadora de langosta de Cárdenas y los albañales del poblado "13 de Marzo".

Los parámetros indicativos de contaminación orgánica que se destacan en las caracterizaciones son la demanda bioquímica

and near-infrared (790-890 nm) bands, with a scale of 1:25,000; panchromatic photos of 1976 and 1983 with a scale of 1:35,000 and of 1956 with a scale of 1:60,000; nautical charts 1505 and 5003 of the Cuban Institute of Hydrography and topographic maps with a scale of 1:50,000 and 100,000 of the Cuban Institute of Geodesy and Cartography.

For the photographic interpretation and field testing work, the methodology elaborated by González-Day and Carrodegua (1985) was followed. The cartographic elaboration was carried out according to the methodology established at the Cuban Institute of Geodesy and Cartography.

The samples of surface sediments (November 1986) were dried at 105°C during 48 hours. Once dried, they were pulverized and sieved through a plastic mesh to obtain a fraction less than 63 µm. All determinations were made in duplicate.

The collateral analyses carried out on the dried sediments were: organic charcoal (Ballinger and McKee, 1971; APHA, 1971), organic nitrogen (FAO, 1975) and volatile material (APHA, 1971).

To determine the concentrations of metals in the sediments, the spectrophotometric technique was used with atomic absorption and direct reading, after the humid mineralization of the samples. The mixture for digestion used was HNO<sub>3</sub>/HCl (1:10), adding 75 ml of deionized water and heated at 95°C until the volume was reduced to 10-15 ml (McKown *et al.*, 1978; González, 1984). The samples were read using a Pye Unicam SP-190 equipment, without deuterium correction.

Teledetection methods were also employed to take the samples of water from the more significant effluents, in relation to organic pollution (confirmed by the light colour of the effluents).

Other characterization data were obtained from surveys and work carried out at the lobster processing factory of Cardenas and the common sewer of the town "13 de Marzo" (Romero *et al.*, 1984).

The indicative parameters of organic pollution that are evident in the characterizations are the biochemical demand of oxygen (DBO), the chemical demand of oxygen (DQO) and suspending solids (SS) (which were observed in the photographs).

de oxígeno (DBO), la demanda química de oxígeno (DQO) y los sólidos suspendidos (SS) (los cuales se observaron en las fotografías).

## RESULTADOS Y DISCUSION

El mapa (Fig. 1) brinda, de forma general, la distribución de los principales biotopos, los cuales fueron cartografiados de acuerdo a sus características espectrales en función de la reflectancia, facilitando su diferenciación. En orden de predominio se distribuyen de la siguiente forma: (a) fango, ocupa la mayor área de la bahía, identificado con gran exactitud por su textura plana y tonos negros; (b) fango-arenoso, caracterizado por su textura plana y tonos de gris intenso (en este biotopo es donde predominan las mayores concentraciones de metales pesados Cu, Zn, Cr, Ni y Mn) (Tabla 2); (c) areno-fangoso, identificado por su textura plana y tonos grisáceos; (d) arenoso, con textura plana y tonos blanquesinos, el cual fue el de menor representación.

Los ceibales desarrollados sobre fondos areno-fangosos y arenosos compuestos por restos de algas calcáreas (*Halimeda*), bivalvos y esqueletos de equinodermos, distribuidos en la zona exterior de la bahía, dan lugar a un biotopo característico donde predominan *Thalassia testudinum* y, hacia las zonas más próximas a la costa, *Halodule beandettei* y *Siringodium filiforme* (comprobación de campo). La *Thalassia* se identificó con gran nitidez en las fotografías por su textura moteada y fototonos gris oscuro y casi blanco como consecuencia del contraste entre la arena y la vegetación circundante (Carrodeguas *et al.*, 1985).

Los sedimentos de la bahía están distribuidos en forma muy peculiar, pues, según Guilcher (1957), generalmente las partículas de mayor tamaño tienden a ubicarse próximas a la orilla de las costas. En la bahía de Cárdenas esto no se cumple, debido a que los sedimentos finos (fangos) están cerca de la orilla y los de mayor diámetro en la entrada. Esta distribución coincide con los criterios de diferentes autores que han trabajado en la bahía (Lluis-Riera, 1984; Alvarez y Quintana, 1985; Herrera y Espinosa, 1985).

El mapa de la zona generado (Fig. 3) por métodos tradicionales (Herrera y Espinosa, 1985) brinda una fuente de datos muy

## RESULTS AND DISCUSSION

The map (Fig. 1) shows, in a general way, the distribution of the main biotopes, which were charted according to their spectrum characteristics in terms of the reflectancy, thus facilitating their differentiation. In order of predominance, they are distributed as follows: (a) mud, covers most of the bay, identified with great accuracy because of the texture which is flat and of a black colour; (b) mud-sandy, characterized by a flat texture and intense gray colour (the greatest concentrations of heavy metals Cu, Zn, Cr, Ni and Mn are found in this biotope) (Table 2); (c) sandy-mud, identified due to the flat texture and gray colour; (d) sandy, with flat texture and white colour, which is the least one found.

The turtle grass developed on sandy-mud and sandy bottoms composed of residues of calcareous algae (*Halimeda*), bivalves and echinoderm skeletons, distributed in the exterior zone of the bay, gives place to a characteristic biotope where *Thalassia testudinum* predominates and, at the zones next to the coast, *Halodule beandettei* and *Siringodium filiforme* (field testing). The *Thalassia* was clearly identified in the photographs by its speckled texture and its dark gray and almost white photo-colours as a consequence of the contrast between the sand and the surrounding vegetation (Carrodeguas *et al.*, 1985).

The bay's sediments are distributed in a peculiar way. According to Guilcher (1957), particles of a bigger size tend to be located near the coast, but in Cárdenas this is not so since the fine sediments (mud) are found near the shore and the bigger ones at the entrance. This distribution coincides with the criteria of different authors that have worked at the bay (Lluis-Riera, 1984; Alvarez and Quintana, 1985; Herrera and Espinosa, 1985).

The map of the zone (Fig. 3) made by traditional methods (Herrera and Espinosa, 1985), offers a very valuable source of data, as it was elaborated through an accurate sampling from vessels and serious works on granulometric classification. However, it presents a high level of imprecision in the delimitation of the outlines of the biotope borders.

The result of organic charcoal (CO) (Table 1) for the bay is less than the value of 2.3% considered by McKenthum (1969) as a

**Tabla 1.** Resultados de materia orgánica en sedimentos.  
**Table 1.** Results of organic matter in sediments.

Estación	MV %	CO %	NO %	C/N	Biotopo
1	43.2	0.68	0.04	17.8	Ceibal areno-fangoso
2	39.9	0.76	0.19	4.0	Ceibal areno-fangoso
3	40.1	1.70	0.11	15.0	Fangoso
4	33.2	1.46	0.36	4.0	Fangoso
5	36.2	1.87	0.07	18.3	Fangoso
6	40.1	2.13	0.15	14.3	Ceibal areno-fangoso
7	32.5	2.90	0.15	19.0	Arenoso
8	37.1	2.56	0.84	7.5	Fango-arenoso
9	43.5	2.32	0.13	17.3	Ceibal-arenoso
$\bar{X}$	38.4	1.82	0.17	14.1	
S	3.9	76.00	0.11	7.8	
CV%	10.2	41.7	64.7	55.5	
Min.	32.5	0.68	0.04	4.0	
Max.	43.5	2.9	0.36	28.0	

MV: materia volátil.  
 NO: nitrógeno orgánico.

CO: carbón orgánico.  
 C/N: carbón orgánico/nitrógeno orgánico.

valiosa, por ser confeccionado mediante muestreo puntual desde embarcaciones y serios trabajos de clasificación granulométrica, pero presenta un elevado grado de imprecisión en la delimitación de los contornos de las fronteras de los biotopos.

El resultado del carbón orgánico (CO) (Tabla 1) para la bahía es inferior al valor de 2.3% considerado por McKenthum (1969) como límite para sedimentos contaminados, pero se encuentran valores de 2.13, 2.9, 2.9 y 2.3 en las estaciones 6 a la 9 (Fig. 2), que bien pueden estimarse como franca descomposición anaeróbica. Suárez y Cruz (1986) clasificaron a las bahías de Puerto Padre y Chaparra como contaminadas al encontrar los mismos valores medios de 2.3 y 5.3% de CO, respectivamente.

Por otra parte, de acuerdo a la Norma Cubana (NC) (1987) de indicadores para la clasificación y evaluación de la calidad de los cuerpos de agua de uso pesquero, todos los valores medidos en los sedimentos de la zona se consideran por encima de lo aceptable (CO < 4.0).

Excepto para el Pb y Co, se encuentra que la estación 4, correspondiente al biotopo

limit for polluted sediments, but values of 2.13, 2.9, 2.9 and 2.3 are found at stations 6 to 9 (Fig. 2), that may well be estimated as true anaerobic decomposition. Suárez and Cruz (1968) classified Puerto Padre and Chaparra Bay as polluted on finding the same mean values of 2.3 and 5.3% of CO, respectively.

On the other hand, according to the Cuban Standard (CS) of indicators for classification and assessment of the quality of bodies of water for fisheries (Norma Cubana, 1987), all the values measured in the sediments of the zone are considered higher than what is acceptable (CO < 4.0).

Except for Pb and Co, it is evident that station 4, which corresponds to the mud biotope (Fig. 1), presents the maximum value for each metal (Table 2). This coincides with the statements of González and Lera (1987), except for the fact that these authors report a maximum value of 397 µg/g for Pb at the same station, whereas the result discussed here is under the mean value, with a concentration of 24.8 µg/g.

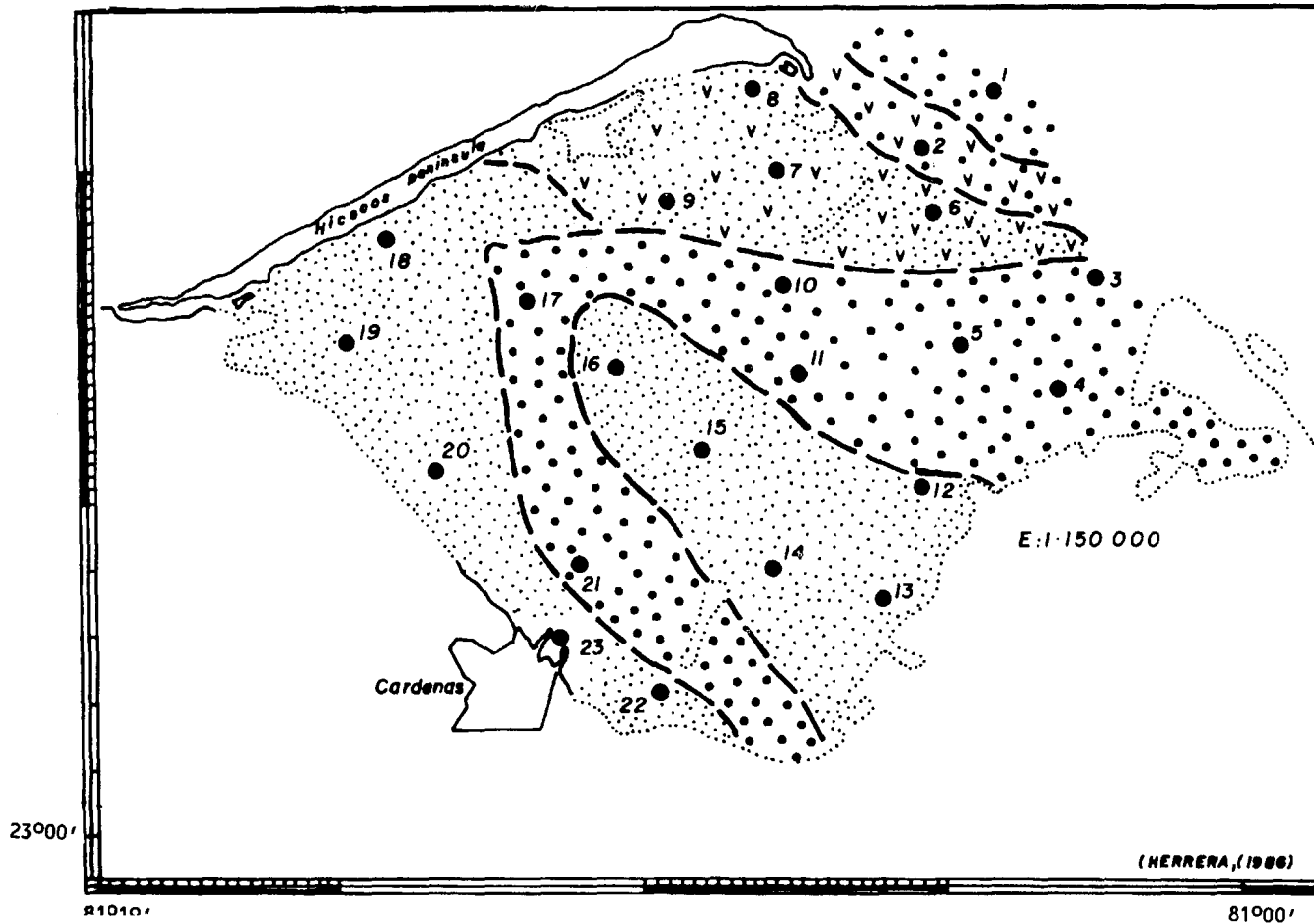
As Al was not determined, even though it has been widely used and is recognized as a conservative element, the volatile material was

**Tabla 2.** Resultados obtenidos en el sedimento ( $\mu\text{g}$ , peso seco) y normalizaciones.  
**Table 2.** Results obtained in the sediment ( $\mu\text{g}$ , dry weight) and standardizations.

Est.	Cu	Pb	Zn	Cr	Co	Ni	Mn	Cu/MV	Pb/MV	Zn/MV	Cr/MV	Co/MV	Ni/MV	Mn/MV
1	15.2	29.5	11.5	49.8	16.4	22.1	95.2	0.3	0.6	0.2	1.1	0.3	0.5	2.2
2	36.8	32.4	39.2	110.1	17.8	38.6	183.3	0.9	0.8	0.9	2.7	0.4	0.9	4.5
3	27.9	32.7	30.2	102.9	18.2	27.0	208.5	0.6	0.8	0.7	2.6	0.4	0.6	5.1
4	50.3	24.8	41.1	348.8	16.2	53.0	331.9	1.5	0.7	1.2	10.5*	0.4	1.5	9.9
5	24.4	28.0	25.6	176.8	16.2	36.6	296.2	0.6	0.7	0.7	4.8	0.4	1.0	8.1
6	31.6	28.6	24.5	144.7	18.8	34.8	211.9	0.7	0.7	0.6	3.6	0.4	0.8	5.2
7	43.4	27.0	29.0	137.4	14.2	30.5	213.3	1.3	0.8	0.8	4.2	0.4	0.9	6.5
8	47.4	24.8	33.2	291.8	17.0	40.0	347.6	1.2	0.6	0.8	7.8	0.4	1.0	9.3
9	35.9	24.9	27.0	188.9	18.0	32.6	318.1	0.8	0.5	0.6	4.3	0.4	0.7	7.3
$\bar{X}$	34.7	28.5	29.0	172.8	16.9	35.0	245.1	0.9	0.7	0.7	5.1	0.4	0.9	7.2
S	11.3	3.0	8.7	94.1	1.4	8.8	83.4							
CV%	32.5	10.5	3.0	54.4	8.2	25.1	34.0							
Min.	15.2	24.8	11.5	49.8	14.2	22.1	95.2							
Max.	50.3	32.7	45.1	348.8	18.8	53.0	347.6							

\*  $> 2x$ .





**Figura 3.** Distribución de los biotopos de la bahía de Cárdenas, obtenido por métodos tradicionales.

**Figure 3.** Distribution of the biotopes in Cardenas Bay, obtained by traditional methods.

- Microaleuritic mud affected by pollution, ■ microaleuritic mud, ■ aleuritic clay mud, ■ biotope of turtle grass of microaleuritic mud, ■ biotope of sandy turtle grass, ■ sandy biotope.

fangoso (Fig. 1), presenta el valor máximo para cada metal (Tabla 2), lo cual coincide con lo planteado por González y Lera (1987), con la excepción de que estos autores reportan al Pb con el valor máximo (397  $\mu\text{g/g}$ ) para la misma estación 4, mientras que el resultado aquí discutido está por debajo del valor medio, con una concentración de 24.8  $\mu\text{g/g}$ .

Por no haberse determinado Al, muy utilizado y reconocido como elemento conservativo, se normalizó contra la materia volátil (Robbe, 1984; González y Lera, 1987; Aren-cibia *et al.*, 1987), lo cual permite obtener una idea del comportamiento de los metales.

En cuanto a los valores de Cr, se observa que en la estación 4 (Tabla 2) existe una concentración alta (348.8  $\mu\text{g/g}$ ) comparada con el intervalo (50.1-343  $\mu\text{g/g}$ ) reportado por González *et al.* (1985) (Tabla 3) para la Bahía de la Habana, la cual se considera contaminada. Esta presencia de Cr se hace sentir hacia las estaciones 5 a la 9 (Fig. 2), mientras que de la 1 a la 3, donde predomina el biotopo areno-fangoso (Fig. 1), los niveles son más bien bajos. Estos resultados coinciden completamente con la estación de mayor presencia de Cr reportado por González y Lera (1987). La de menor concentración se ubica hacia la zona de la bahía que, según los resultados aquí señalados, presenta bajos niveles (estaciones 1, 2 y 3; 49.8, 110.1 y 102.9  $\mu\text{g/g}$ , respectivamente).

Asimismo, las normalizaciones de las concentraciones de los elementos (Tabla 2), considerando como valores relativamente alterados aquellos mayores que dos veces el promedio por metal, señalan que la estación 4 se encuentra afectada.

En la Tabla 3 se compara la bahía de Cárdenas con la de La Habana y la de Chesapeake (EUA), considerada ésta también como contaminada, y se estima que sólo para el Cr se observan magnitudes considerables en la zona ubicada entre las estaciones 4 a la 9 (Fig. 2), o sea desde el puerto de Cárdenas hasta la salida de la bahía, donde predominan los biotopos fangoso y fango-arenoso (Fig. 1), mientras que para el resto de los elementos se refleja en los sedimentos la influencia de la actividad y desarrollo urbano industrial de la región.

La bahía está afectada por diversas descargas contaminantes (Fig. 4), ya que según Herrera y Espinosa (1985), recibe un volumen de descarga continental aproximado de 174,793.6  $\text{m}^3/\text{día}$ , considerando sólo el

standardized (Robbe, 1984; González and Lera, 1987; Aren-cibia *et al.*, 1987), thus giving an idea of the behaviour of the metals.

With respect to Cr values, it can be seen that at station 4 (Table 2) there is a high concentration (348  $\mu\text{g/g}$ ), compared to the range (50.1-343  $\mu\text{g/g}$ ) reported by González *et al.* (1985) (Table 3) for Havana's Bay, considered as polluted. The presence of Cr is evident at stations 5 to 9 (Fig. 2), whereas at stations 1 to 3, where the sandy-mud biotope predominates (Fig. 1), the levels are lower. These results coincide completely with the station with the biggest presence of Cr reported by González and Lera (1987). The one of lowest concentration is towards the zone of the bay that, according to the results mentioned herein, presents the lowest levels (stations 1, 2 and 3; 49.8, 110.1 and 102.9  $\mu\text{g/g}$ , respectively).

At the same time, the concentration standards of elements (Table 2), considering as values relatively altered those that are two times higher than the average per metal, indicate that station 4 is affected.

In Table 3, Cardenas Bay is compared with Havana Bay and Chesapeake Bay (USA), also considered polluted, and it is estimated that considerable magnitudes are only observed for Cr in the zone between stations 4 to 9 (Fig. 2), that is, from the port of Cardenas to the outlet of the bay where the mud and the mud-sandy biotopes predominate (Fig. 1), while for the other elements the sediments show the influence of industrial urban activity.

The bay is affected by several polluting discharges (Fig. 4), receiving, according to Herrera and Espinosa (1985), an approximate volume of 174,793.6  $\text{m}^3/\text{day}$ , considering only the expenditures of some sources. In most cases, these industries do not have systems capable of treating and decreasing the organic load of these sources.

In Table 4, nine of the most representative industries that discharge directly into the bay can be appreciated. Of the common sewer of Varadero, the neighbourhood "13 de Marzo", the paper factory and the sugar company "José S. Comas", the last two communicate with this receiver through the ditch of Siguaú, without the sewage water undergoing practically any purification and carrying a polluted load of approximately 21,971 kg DBO/day.

Except for the sewers of "13 de Marzo", which has a sufficiently efficient oxidation

**Tabla 3.** Comparación con otras bahías contaminadas.  
**Table 3.** Comparison with other polluted bays.

Bahía	Cu	Pb	Zn	Cr	Co	Ni	Mn
Cárdenas	15.2-50.3	24.8-32.7	11.5-41.1	49.8-348	14.2-18.8	22.1-53.0	95.2-347.6
La Habana (González <i>et al.</i> , 1985)	77.0-355	86.0-397	148.0-987	50.1-343	18.1-33.6	50.8-248	253.0-564
Chesapeake, EUA (Sinex <i>et al.</i> , 1980)	59	91	450	75	34	53	1300

**Tabla 4.** Valores de caracterización de algunas entidades que vierten a la bahía.  
**Table 4.** Characterization values of some industries that discharge into the bay.

Entidad	DBO (mg/l)	DQO (mg/l)	DBO/DQO	SS (mg/l)	Q (m <sup>3</sup> /h)
Fábrica de Ron Arechabala	1,798	3,659	0.5	6,283	3,268
Empresa azucarera Smith Comas	1,006	6,066	0.2	604	1,820
Complejo Porcino Alderete	10,000	19,500	0.5	5,000	600
Multiplicador Porcino No. 2	10,088	19,836	0.5	5,942	52
Procesadora de langosta	600	1,000	0.6	700	130
Albañales de Varadero	200	740	0.3	-	127
Albañales reparto "13 de marzo"	200	500	0.4	-	100

gasto de algunas fuentes. En la mayoría de los casos, estas entidades no cuentan con sistemas de tratamientos capaces de disminuir la carga orgánica por esas fuentes.

En la Tabla 4 se aprecian nueve de los focos más representativos que vierten directamente a la bahía. De los albañales de Varadero, el reparto "13 de Marzo", Papelera Técnica Cubana y Central José S. Comas, los dos últimos se comunican con este medio receptor a través de la zanja Siguagua, sin que las aguas negras sufran prácticamente depuración alguna y llevando una carga contaminante de 21,971 kg DBO/día aproximadamente.

Con excepción de los albañales del reparto, que cuenta con un sistema de oxidación lo suficientemente eficiente para que el residual no afecte al ambiente marino, las restantes fuentes poseen concentraciones de

system for the sewage not to affect the marine environment, the other sources had concentrations of DBO and SS very much above the standards indicated by health authorities for the discharge of these wastes.

According to the CS, the DBO of the residual water of different industries should not exceed 20.0 mg/l, so that an adequate dissolution may be produced when clashing with the environment.

The SS. receivers, according to the CS, should not be higher than 100 mg/l for fishery purposes.

According to the values reported in Table 4, these SS concentrations when coming into contact with the water of the bay will be classified as dubious and, in the worst case, as bad. Furthermore, these solids can make the penetration of light rays in the water more difficult, blocking the photosynthetic process

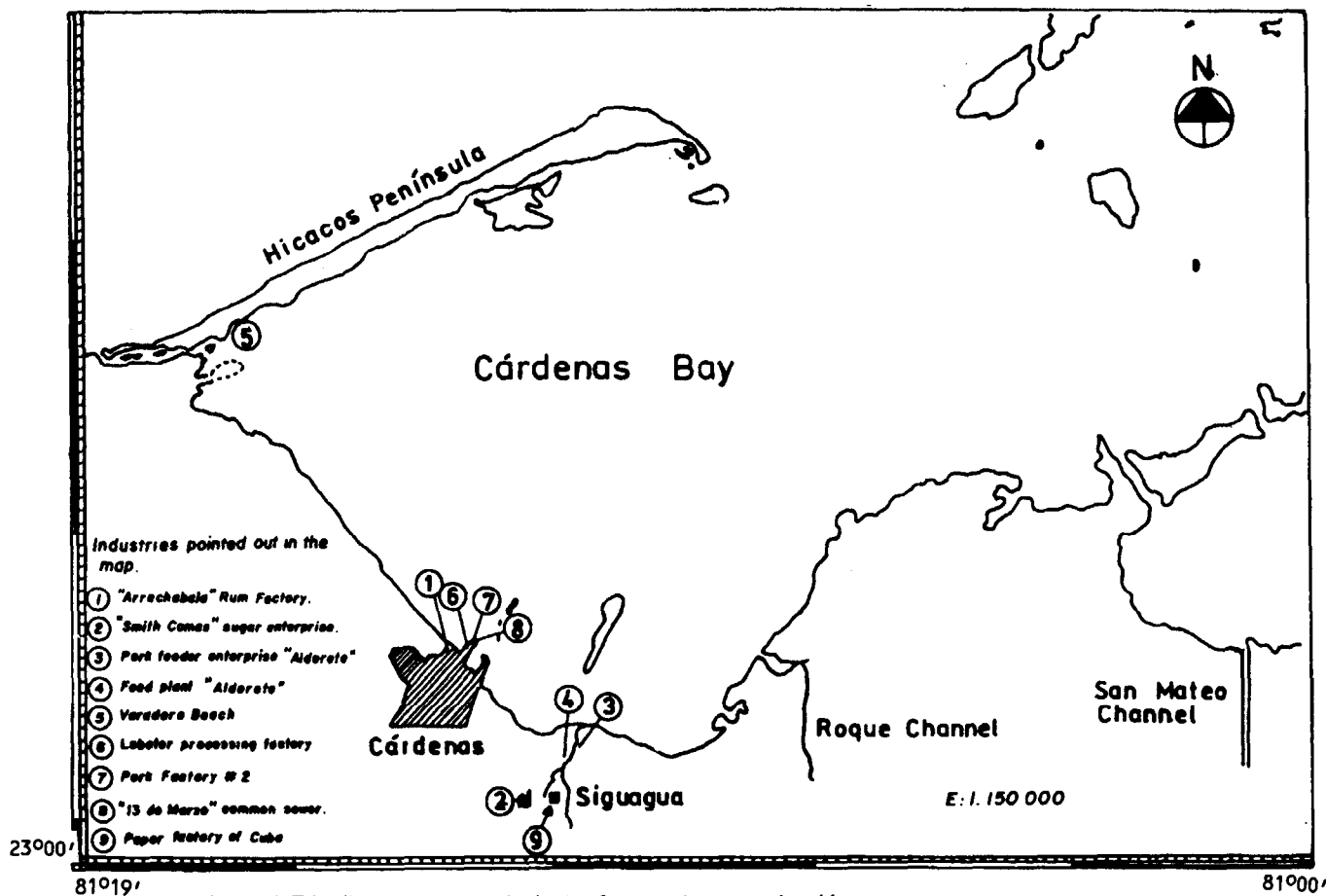


Figura 4. Distribución de las principales fuentes de contaminación.

Figure 4. Distribution of the main polluting sources.

- (1) "Arrechabala" rum factory, (2) "Smith Comas" sugar enterprise, (3) pork feeder enterprise "Alderete", (4) food plant "Alderete", (5) Varadero Beach, (6) lobster processing factory, (7) pork factory No. 2, (8) "13 de Marzo" common sewer, (9) paper factory of Cuba.

DBO y SS muy por encima de las normas de vertimientos indicados por las autoridades sanitarias para la descarga de estos desechos.

Según la NC, la DBO de las aguas de desechos industriales no debe exceder de los 20.0 mg/l para que se produzca una buena dilución al impactar con el medio ambiente.

Los SS de los cuerpos receptores, según la NC, no deben ser mayores a 100 mg/l para fines pesqueros.

De acuerdo a los valores reportados en la Tabla 4, estas concentraciones de SS al entrar en contacto con el agua de la bahía caerán en la clasificación de calidad dudosa y en el peor de los casos, mala. Estos sólidos pueden además dificultar la penetración de los rayos de luz en el agua, obstaculizando el proceso fotosintético de la vegetación submarina. Esto también afectó el proceso de fotointerpretación durante la confección del mapa de biotopos, al formar una pantalla que impide la observación directa de los fondos, por lo cual hubo que consultar gran cantidad de materiales fotográficos de diferentes épocas.

Los estudios realizados mediante el empleo de imágenes multizonales, obtenidos con scanner (MSS) o satélites del tipo Landsat en la banda 2 (0.6 a 0.7  $\mu\text{m}$ ) en zonas del Mississippi para la determinación de las concentraciones de SS (U.S. Department of the Interior Geological Survey, 1987), confirman que el método utilizado es favorable al permitir realizar la toma de muestras en las zonas que previamente se detectan a través del análisis fotográfico.

## CONCLUSIONES

El mapa de distribución de los biotopos de la bahía de Cárdenas sirvió de base para el estudio de la contaminación de metales pesados al brindar una información cualitativamente nueva de los fondos, permitiendo delimitar con gran precisión sus límites. El biotopo predominante de tipo fangoso fue donde se encontraron las mayores concentraciones de metales pesados, (Cu, Zn, Cr, Ni y Mn).

Los métodos de teledetección también sirvieron para detectar las zonas de mayor concentración de sólidos suspendidos, lo cual se comprobó al realizarse los análisis de laboratorio.

La estación 4, correspondiente al biotopo fangoso, reportó los valores máximos para cada metal, excepto para el Pb y el Co.

of submarine vegetation. This also affected the photointerpretation process during the elaboration of the biotope map, forming a screen that does not allow the direct observation of the bottoms. Therefore, it was necessary to consult a lot of photographic material of different seasons.

Studies carried out with scanner (MSS) or Landsat satellites in band 2 (0.6 to 0.7  $\mu\text{m}$ ) in the Mississippi zone, for the determination of the concentration of SS (U.S. Department of the Interior Geological Survey, 1987), confirm that the method used is suitable, allowing samples to be taken in zones previously detected by means of photographic analysis.

## CONCLUSIONS

The biotope distribution map of Cardenas Bay served as a basis for the study of heavy metal contamination as it offered new qualitative information of the bottoms, delimiting with great accuracy its limits. The highest concentrations of heavy metals (Cu, Zn, Cr, Ni and Mn) were found in the predominant mud biotope.

The teledetection methods also helped to detect the zones of greatest concentration of suspended solids; this was confirmed when the laboratory analyses were made.

Station 4, corresponding to the mud biotope, had maximum values for each metal, except for Pb and Co.

At stations 4 to 9, where the mud and mud-sandy biotopes predominate, Cr was the predominant metal, whereas the rest of the metals had normal levels.

English translation by the authors.

---

Para el Cr, se destaca que en las estaciones comprendidas entre la 4 y 9, donde predominan los biotopos fangoso y fangoarenoso, este metal es predominante, mientras que el resto de los metales reflejan niveles normales.

## LITERATURA CITADA

APHA-AWWA-WPCF (1971). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 14th edition.

- Alvarez, M. y Quintana, M. (1985). Caracterización sedimentológica preliminar de la bahía de Cárdenas. V Jornada Científica del IdO. ACC.
- Arencibia, G., Isaac, M. y González, H. (1987). Distribución de metales en sedimentos costeros del Golfo de Guacanayabo. I Congreso de Ciencias del Mar.
- Ballinger, D.E. and McKee, G.P. (1971). Chemical characterization of bottom sediments. *J. Wat. Poll. Cont. Fed.*, 38(6): 1000-1010.
- Carrodegua, C., González Day, M. y Revilla, N. (1985). Informe final del tema 314-12. IGA. ACC. (inédito).
- FAO (1975). Manual of methods in aquatic environment research. Part 1. Methods for detection, measurement and monitoring of water pollution. *FAO Fish. Tech. Pap.*, (137): 238 pp.
- Guilcher, A. (1957). Morfología litoral y submarina. Edic. Omega, Barcelona, 264 pp.
- González, H. (1984). Contaminación de los sedimentos por metales pesados. Cap. 13, Investigación y Control de la Contaminación de la Bahía de La Habana. Vol. 1, II t., pp. 201-206.
- González, H. y Lera, L. (1987). Bahía de Cárdenas: ejemplo de interpretación de resultados en estudios de contaminación de sedimentos por metales pesados. Memorias XII Conferencia de Química, Univ. de Oriente, enero 27-30. Libro IV.
- González Day, M. y Carrodegua, C. (1985). Metodología para la aplicación de los métodos de teledetección en la ecología pesquera. Simposio de Ciencias del Mar y VII Jornada Científica del IdO, 26 pp.
- Lluis-Riera, M. (1984). Estudios hidrológicos de la plataforma oriental de Cuba. Editora de la ACC, 14 pp.
- McKenthum, K.M. (1969). The practice of water pollution biology. U.S. Dept. Int. Fed. Wat. Poll. Cont. Adm. Div. Technical Supp., 281 pp.
- McKown, M.N., Tschinn, C.R. and Lee, P. (1978). Investigation of matrix interferences for AAS trace metal analysis of sediments. *KPA-600/7-78-085*.
- Norma Cubana (1987). Sistema de normas para la protección del medio ambiente. Indicadores para la clasificación y evaluación de la calidad de los cuerpos de agua de uso pesquero, 8 pp.
- Robbe, B. (1984). Lab. Central Fonts et Chusses, Report des Laboratories, Series E0-1.
- Romero, T., Suárez, C. y Tellez, I. (1984). Solución para los residuales de la procesadora de Cárdenas. Parte II. Archivo del CIP.
- Sinex, S.A., Cantillo, A.Y. and Helz, G.R. (1980). Accuracy of acid extraction methods for trace metals in sediments. *Anal. Chem.*, 52(14): 2342-2346.
- Suárez, G. y Cruz, L. (1986). Evaluación de la contaminación orgánica de las bahías de Puerto Padre y Chaparra. Archivo del CIP.
- U.S. Department of the Interior Geological Survey (1987). Notes on Sedimentation Activities, Calendar Year 1986, 229 pp; p. 171.
- Herrera, A. y Espinosa, J. (1985). Características de la fauna de bivalvos en la bahía de Cárdenas. Informe Archivo Técnico IdO. ACC (inédito).