

## DISTRIBUCION DE LA CONTAMINACION ORGANICA EN LA BAHIA DE NIPE, CUBA

## DISTRIBUTION OF THE ORGANIC CONTAMINATION IN BAHIA DE NIPE, CUBA

Teresita Romero-López<sup>1</sup>  
Gerardo Suárez-Alvarez<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Centro de Investigaciones Pesqueras (MIP)  
Calle 1a. Barlovento  
Jaimanitas, Playa  
Ciudad Habana, Cuba

<sup>2</sup> Dirección de Regulaciones Pesqueras  
5ta. Ave. Barlovento  
Santa Fe, Playa  
Ciudad Habana, Cuba

*Recibido en octubre de 1991; aceptado en julio de 1993*

### RESUMEN

La Bahía de Nipe, en el NE de la región oriental de Cuba (75°40' longitud O y 20°50' latitud N), con un volumen aproximado de 1,700 millones de metros cúbicos y siete metros de profundidad media, fue objeto de una investigación referente a la calidad del agua. Se estableció una red de 37 estaciones, y se efectuaron siete cruceros que abarcaron épocas de zafra y de receso de esta actividad. Después de analizar los parámetros usuales de calidad de agua: oxígeno disuelto, demanda bioquímica de oxígeno, nitrito, nitrato, amonio y sólidos suspendidos totales, se llegó a la conclusión de que el área colindante con los vertimientos de Central, Torula y Matadero, del complejo agroindustrial Guatemala, es la de mayor contaminación orgánica, lo que se demostró además con un análisis de clasificación jerárquica. Según las concentraciones registradas, se corroboró que el empeoramiento de la bahía ocurre en épocas de zafra, por la elevada carga hidráulica y contaminante que aportan los efluentes de los órganos contaminadores. Por ello, se concluye que dicho complejo agroindustrial es el causante principal del deterioro ambiental de la zona, y se recomienda controlar la contaminación orgánica, en apoyo de las actividades pesqueras y de la salud ambiental de la bahía.

### ABSTRACT

A study was carried out on the water quality in Bahía de Nipe, with an approximate volume of 1,700 million cubic metres and average depth of 7 m, located NE of the eastern region of Cuba (75°40' W, 20°50' N). A network of 37 stations was established and seven cruises were conducted during and at the end of the sugar cane harvest season. The usual parameters of water quality, such as dissolved oxygen, biochemical oxygen demand, nitrite, nitrate, ammonium and total suspended solids, were analysed and it was found that the area with greater organic contamination was the one adjoining the effluents of the Guatemala agro-industrial complex (Central, Torula and Matadero). This was also corroborated by cluster analysis. The concentrations recorded confirmed that the condition of the bay deteriorates during the sugar cane harvest season, because of the high hydraulic and contaminant load contributed by the effluent sources. It is concluded that the Guatemala agro-industrial complex is mainly responsible for the environmental deterioration of the area and that the organic contamination must be controlled, in support of the fisheries and environmental health of the bay.

## INTRODUCCION

La Bahía de Nipe, con una superficie de 220 km<sup>2</sup>, 7 m de profundidad media y volumen aproximado de 1,700 millones de metros cúbicos, se encuentra situada en el NE de la región oriental de Cuba, a los 75°40' de longitud O y 20°50' de latitud N (ICGC, 1978) (Fig. 1).

La velocidad del viento es inferior a 10 m/s, con predominio, al igual que en la circulación del agua, de la dirección E-NE.

Se estudió la calidad del agua de esta bahía por las características que presenta al ser una de las mayores de la costa norte de Cuba y existir proyectos gubernamentales para desarrollar en ella una pesquería abundante de diferentes especies comerciales, como el patao (*Eugeris brasilianus*), la sardina (*Harengula humeralis*), la curvina (*Micropogonias furnieri*) y el ostión (*Crassostrea rhyzofora*), entre otras. Se determinaron así las zonas de mayor afectación orgánica por incidencia de los efluentes del complejo agroindustrial Guatemala, al que pertenecen las industrias que aportan mayor carga contaminante a la zona (Romero y Suárez, 1983).

Mediante esta evaluación, se pretende también precisar en qué época del año se produce la contaminación orgánica más acentuada en la bahía en relación con el periodo de zafra, cuando mayormente fluyen los efluentes de residuos provenientes de Central y Torula Guatemala, y como señalaron Suárez (1982), y Romero y Suárez (1983), las pérdidas económicas por concepto de contaminación han sido cuantiosas. Por tanto, en este estudio se brindarán sugerencias sobre las medidas que hay que tomar para mejorar la calidad del agua y, por consiguiente, desarrollar exitosamente las pesquerías de especies comerciales.

## MATERIALES Y METODOS

Para su estudio, la Bahía de Nipe fue objeto de siete cruceros de investigación en el transcurso de tres años consecutivos: 1986, en febrero, abril y diciembre; 1987, en marzo y diciembre, y 1988, en mayo y noviembre.

Se estableció una red de 37 estaciones (Fig. 2), aunque para el primero y segundo muestreo se planearon 35 y 36 estaciones respectivamente, siguiendo el criterio descrito por Basu (1974), cuya red correspondió a un sistema combinado de enrejillado con ejes

## INTRODUCTION

Bahía de Nipe (75°40' W, 20°50' N), with a surface of 220 km<sup>2</sup>, average depth of 7 m and approximate volume of 1,700 million cubic metres, is located NE of the eastern region of Cuba (ICGC, 1978) (Fig. 1).

Wind speed is less than 10 m/s, and the predominant direction, like that of water circulation, is E-NE.

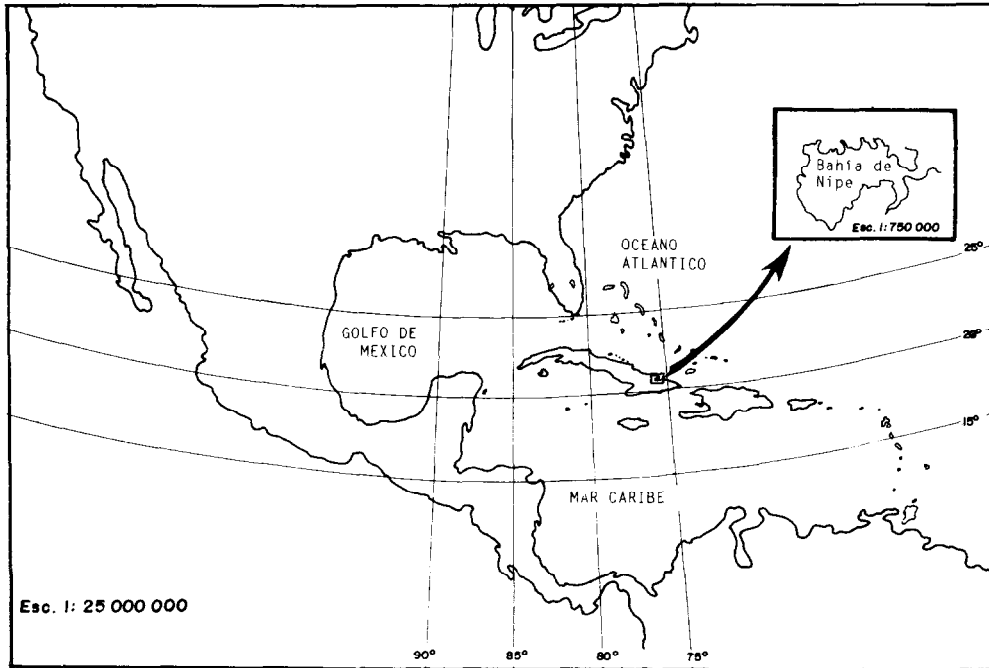
This bay is one of the largest on the northern coast of Cuba, and the government has plans to develop an abundant fishery of several commercial species, such as the patao (*Eugeris brasilianus*), the sardine (*Harengula humeralis*), the white croaker (*Micropogonias furnieri*) and the oyster (*Crassostrea rhyzofora*), among others. For this reason, the quality of its water was studied and the areas most affected by the effluents of the Guatemala agro-industrial complex were determined. This complex is considered to be responsible for most of the contamination in the area (Romero and Suárez, 1983).

This study also aims to establish the time of year when the organic contamination in the bay is greater, in relation to the sugar cane harvest season. During this period, the amount of waste water discharged by Central and Torula Guatemala increases and, as indicated by Suárez (1982) and Romero and Suárez (1983), the financial losses as a result of contamination have been substantial. Recommendations are made regarding the measures that must be taken to improve the water quality and, therefore, successfully develop the fisheries of commercial species.

## MATERIALS AND METHODS

Seven cruises were conducted in Bahía de Nipe during three consecutive years: 1986, in February, April and December; 1987, in March and December; 1988, in May and November.

A network of 37 stations was established (Fig. 2), though 35 and 36 stations were planned for the first and second cruises, respectively. The criterion described by Basu (1974) was followed, whose network consisted of a grating with radial axes oriented according to the circulation pattern of the bay and the effluent sources, which in this case belong to the Guatemala agro-industrial complex (Central, Torula and Matadero).



**Figura 1.** Ubicación geográfica de Bahía de Nipe.  
**Figure 1.** Geographical location of Bahía de Nipe.

radiales, orientados de acuerdo con el patrón de circulación de la bahía y las fuentes de vertimiento de desechos contaminantes, que en este caso pertenecen al complejo agroindustrial Guatemala (Central, fábrica Torula y Matadero).

Se recolectaron muestras de agua en superficie y fondo con una botella Van Dorn, para determinar: oxígeno disuelto (OD), utilizando un oxímetro portátil con electrodo polarográfico, con aproximación hasta centésimas; demanda bioquímica de oxígeno (DBO) por diferenciación de oxígeno entre el primero y quinto día de incubada la muestra o por el método de las diluciones descrito en el APHA (1963), aplicado a aguas con indicios de elevado contenido de materia orgánica; nitrito ( $\text{NO}_2$ ), con el método colorimétrico de la reacción de Griess's; nitrato ( $\text{NO}_3$ ), con el método colorimétrico de reducción de Cd-Cu; amonio ( $\text{NH}_4$ ), con el método colorimétrico directo del azul de indofenol y según los métodos descritos por Strickland y Parsons (1972); sólidos suspendidos totales (SST) mediante filtración de la muestra a través de

Samples of surface and bottom water were collected with Van Dorn bottles, to determine: dissolved oxygen (DO), using a portable oximeter with polarographic electrode and accuracy of a hundredth; biochemical oxygen demand (BOD), by differentiation of oxygen between the first and fifth day of incubation of the sample or by the method of dilutions described in APHA (1963), applied to waters with high content of organic matter; nitrite ( $\text{NO}_2$ ) with the colorimetric method of Griess's reaction, nitrate ( $\text{NO}_3$ ) with the colorimetric method of Cd-Cu reduction and ammonium ( $\text{NH}_4$ ) with the indophenol blue direct colorimetric method, according to the methods described by Strickland and Parsons (1972); total suspended solids (TSS), by filtering the sample through a standard glass filter, according to APHA (1963); salinity ( $^{\circ}/_{\infty}$ ), using a Malk-III induction salinometer, with accuracy of a thousandth. At the bottom, DO, BOD and salinity were determined.

To group the different areas of the bay in relation to the concentration of BOD, both

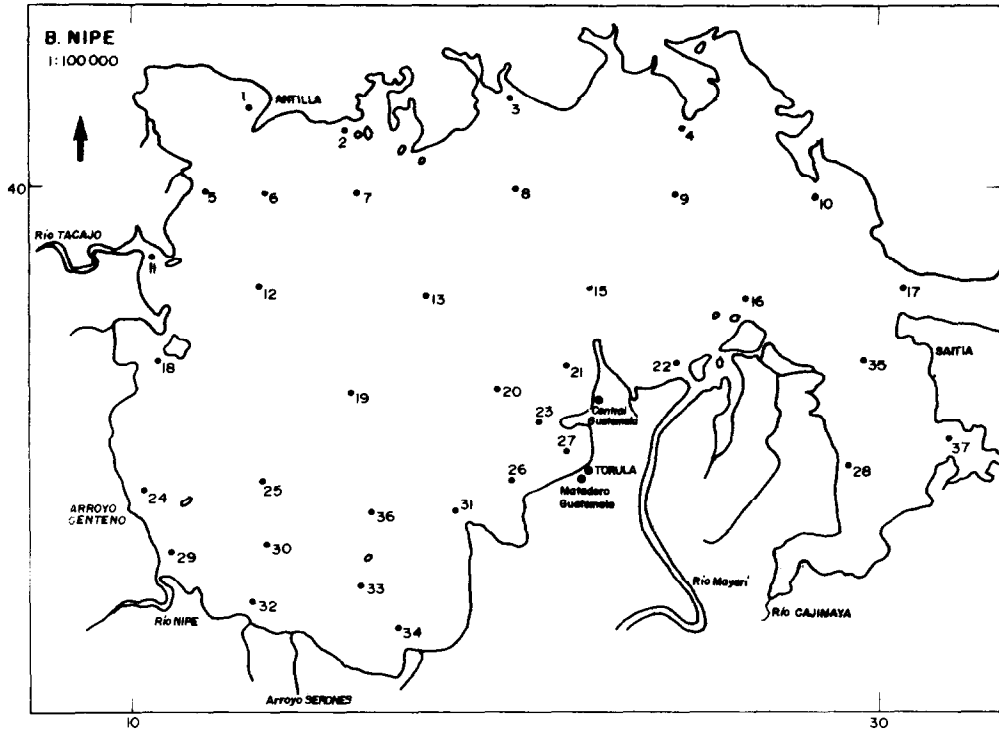


Figura 2. Red de estaciones en la Bahía de Nipe.  
 Figure 2. Network of stations in Bahía de Nipe.

un filtro de vidrio estándar, con el método del APHA (1963), y salinidad (‰), con un salinómetro de inducción marca Malk-III, con aproximación hasta milésimas. En el nivel del fondo se realizaron determinaciones de OD, DBO y salinidad.

Para agrupar las diferentes áreas de la bahía en relación con la concentración de la DBO, tanto en superficie como en fondo y obtener una aproximación de la calidad de la zona vista en un periodo global de tres años, se efectuaron sendos análisis de clasificación jerárquica mediante dendogramas, aplicando el método de Anderberg (1973) y utilizando la estrategia de la distancia euclidiana para construir la matriz de similitud. La distancia entre los índices de las estaciones se obtuvo siguiendo el promedio entre grupos, el cual, según Boesch (1977), es uno de los más empleados y ofrece clasificaciones ajustadas a la realidad.

Las áreas obtenidas con los dendogramas se compararon por medio de pruebas *U* no paramétricas, de Mann-Whitney (Siegel, 1970), con una confiabilidad del 95%. Estos

at the surface and bottom, and obtain an approximation of the quality of the area for an overall period of three years, cluster analyses were made using dendograms, with the method of Anderberg (1973), and using the strategy of the Euclidean distance to construct the similarity matrix. The distance between the indices of the stations was obtained following the average among groups which, according to Boesch (1977), is one of the most widely used and yields classifications close to reality.

The areas obtained with the dendograms were compared using the non-parametric *U* tests of Mann-Whitney (Siegel, 1970), with 95% confidence level. Only BOD data were used for these dendograms, because this parameter is considered an ideal indicator of organic contamination. Previously, a similarity index was determined for all the surface and bottom BOD data from the seven cruises, applying the formula:

$$IS = X_1^2 + X_2^2 + \dots + X_n^2$$

dendogramas se efectuaron solamente con los datos de DBO, por considerarse este parámetro un indicador idóneo de contaminación orgánica. Para su aplicación, se determinó primeramente un índice de similitud, para todos los datos de DBO en superficie y fondo de los siete cruceros realizados, utilizando la fórmula

$$IS = x_1^2 + x_2^2 + \dots + x_n^2$$

donde  $IS$  es índice de similitud;  $x_1^2$ , cuadrado del primer valor de DBO;  $x_2^2$ , cuadrado del segundo valor de DBO;  $x_n^2$ , cuadrado del valor enésimo de DBO.

Para ambos niveles, se determinó el número de estaciones con valores de oxígeno críticos (menores de 1 mg/l), normales o con tendencia a la saturación (mayores de o iguales a 5 mg/l) e intermedios (entre 1 y 5 mg/l), con sus desviaciones estándar y el porcentaje de ocurrencia, lo que permite interpretar el estado de la bahía en cuanto al contenido de este elemento esencial para la vida, así como compararlo con las Normas Cubanas (NC, 1987) para calidad de agua de uso pesquero. Esto mismo se realizó con los valores de DBO, siguiendo también el patrón de concentraciones que establecen dichas normas, que consideran los valores menores de 1 mg/l idóneos para desarrollar una pesquería buena y los valores superiores a 2 mg/l como de aguas impropias para estos fines. Los valores intermedios, es decir, entre 1 y 2 mg/l, representan las aguas medianamente contaminadas, donde solamente pueden desarrollarse determinadas especies.

En forma general, los criterios de calidad de agua utilizados en este trabajo corresponden a los establecidos en las NC (1987), comparados con otras normas internacionales conocidas como GOST (1977).

Los análisis estadísticos que se efectuaron para comparar el comportamiento de la bahía en superficie y fondo fueron pruebas  $T$  de comparación de medias para los siete viajes, con una significación del 95%. Las variables en cuestión fueron OD, DBO y salinidad.

Con las concentraciones de  $\text{NO}_3$  y  $\text{NH}_4$  de todos los cruceros, se realizaron correlaciones con los valores de oxígeno en cada estación, para establecer la relación de este elemento con los nutrientes antes mencionados, con una significación del 95%.

where  $IS$  is the similarity index,  $x_1^2$  the square of the first BOD value,  $x_2^2$  the square of the second BOD value and  $x_n^2$  the square of the  $n$ th BOD value.

For both levels, the number of stations with critical oxygen values (<1 mg/l), normal or with a tendency to saturation ( $\geq$  5 mg/l) and intermediate values (between 1 and 5 mg/l) was determined, with their standard deviations and the percentage of occurrence. In this way it is possible to interpret the condition of the bay with regard to content of this element essential to life and compare it to the Cuban standards (*Normas Cubanas*, 1987) for the quality of water for fishery use. The same was done for the BOD values, also following the pattern of concentrations established in *Normas Cubanas* (NC). Values below 1 mg/l are considered ideal for the development of a good fishery and values above 2 mg/l, unsuitable. The intermediate values (i.e., between 1 and 2 mg/l) represent moderately contaminated waters, where only certain species can develop.

In general, the criteria for water quality used in this study correspond to those established by NC (1987), compared to other international standards known as GOST (1977).

The statistical analyses made to compare the behaviour of the bay at the surface and bottom were  $T$  tests of comparison of means for the seven cruises, with 95% significance. The variables in question were DO, BOD and salinity.

With the  $\text{NO}_3$  and  $\text{NH}_4$  concentrations from all the cruises, correlations were made with the oxygen values from each station in order to establish the relation of this element to the aforementioned nutrients, with 95% significance.

The residual liquids from Central, Torula (yeast factory) and Matadero (slaughterhouse) were periodically sampled to determine temperature ( $^{\circ}\text{C}$ ), pH, DO, BOD, TSS and chemical oxygen demand (COD), the last one by means of the method of digestion with potassium dichromate described in APHA (1963). The hydraulic load ( $Q$ ) corresponding to each installation was also measured, using a flowmeter.

## RESULTS AND DISCUSSION

In all the cruises, the mean concentrations of DO ranged from 5.13 to 6.8 mg/l

Se hicieron muestreos periódicos de los líquidos residuales de Central, la fábrica de levadura y el matadero, para determinar temperatura (°C), pH, OD, DBO, SST, así como demanda química de oxígeno (DQO), esta última mediante el método de digestión con dicromato de potasio descrito en el APHA (1963). Se midió además la carga hidráulica (Q) correspondiente a cada instalación, con el auxilio de un molinete hidráulico.

## RESULTADOS Y DISCUSION

En todos los cruceros realizados, el oxígeno disuelto presentó contenidos medios entre 5.13 y 6.8 mg/l (tabla 1), es decir, dentro de los límites adecuados para el desarrollo normal de la vida. Estos coinciden con las concentraciones señaladas para este elemento en las NC (1987) y lo considerado por McKentchum (1969) como límite para aguas tropicales.

No obstante estas concentraciones medias, con base en los resultados de los análisis expuestos en la tabla 2, es evidente que el área en su totalidad no se comporta de la misma forma, y existen zonas con déficit de oxígeno hasta de 0.1 mg/l, correspondientes al primero y segundo cruceros. Entre superficie y fondo no se apreciaron diferencias estadísticas significativas, lo cual fue verificado con pruebas *T*, con 95% de confiabilidad.

La disminución más notable se observó en la región aledaña a los vertimientos de Central Guatemala, la fábrica de levadura Torula y Matadero Guatemala, que informan de una carga contaminante de 338, 45 y 1.2 t DBO/día, respectivamente (tabla 3).

El análisis de superficie y fondo de las estaciones muestreadas, según el criterio de contaminación de la DBO establecido por las NC (1987), registró, con excepción de los dos últimos viajes, un porcentaje alto (35 a 95% de las estaciones) de tendencia a la contaminación, con niveles superiores a los 2 mg/l (tabla 4), y señala la situación crítica, del orden de los 40 mg/l, que caracteriza el área de elevado deterioro ambiental correspondiente a las estaciones que reciben los vertimientos del complejo agroindustrial. Los dos muestreos últimos coincidieron con el receso de la zafra, lo que responsabiliza directamente a este complejo de ser el causante principal de la contaminación orgánica de la zona.

(table 1), that is, within suitable limits for normal development of life. These concentrations coincide with those reported for this element in NC (1987) and by McKentchum (1969) as the limit for tropical waters.

Despite these mean concentrations, based on the results of the analysis shown in table 2, it is evident that the area as a whole does not behave in the same way and there are areas with an oxygen deficit of up to 0.1 mg/l, corresponding to the first and second cruises. There were no significant statistical differences between the surface and bottom, which was verified with *T* tests, at 95% confidence level.

The most notable decrease was observed in the region adjoining the effluents of Central, Torula and Matadero Guatemala, with a polluting load of 338, 45 and 1.2 t BOD/day, respectively (table 3).

The surface and bottom analysis of the stations sampled, according to the criterion of BOD contamination established by NC (1987), showed, except for the last two cruises, a high percentage (35-95%) of the stations with a tendency to contamination, with levels above 2 mg/l (table 4). It also indicated the critical level, of the order of 40 mg/l, that characterizes the area of high environmental deterioration corresponding to the stations that receive the discharges of the agro-industrial complex. The fact that the last two cruises coincided with the end of the sugar cane harvest season indicates that this complex is the main source of organic contamination in the area.

According to the *T* test of comparison of means, no significant statistical differences were found between the BOD values, at 95% confidence level, for the two levels studied.

As a result of the dendrograms with concentrations of BOD both at the surface and bottom (Figs. 3, 4), previously subjected to a *U* test with 95% confidence level indicating the significance of the analysis, and from the information obtained during the seven cruises, three well-defined groups were determined: the first (A), with unsuitable characteristics for the development of normal life, primarily includes the stations adjoining the Guatemala agro-industrial complex; the second (B), with doubtful characteristics or slight contamination, represents the area bordering the stations that receive the discharges of the complex, as well as the area that includes the mouth of the Nipe River and

**Tabla 1.** Valores medios (mg/l), desviación estándar y error de la media para las concentraciones de oxígeno registradas.  
**Table 1.** Mean values (mg/l), standard deviation and error of the mean for the concentrations of oxygen recorded.

Viaje	Superficie			Fondo			Bahía		
	X	DE	E	X	DE	E	X	DE	E
I	5.82	2.78	0.30	5.79	2.45	0.41	5.81	2.62	0.31
II	5.21	2.07	0.34	5.14	2.03	0.33	5.13	2.09	0.24
III	6.73	1.10	0.18	6.66	1.19	0.19	6.70	1.15	0.13
IV	6.84	1.53	0.25	6.65	1.24	0.20	6.75	1.39	0.16
V	6.74	1.41	0.23	6.42	1.37	0.22	6.58	1.39	0.16
VI	6.37	0.36	0.06	6.34	0.38	0.06	6.36	0.37	0.04
VII	5.36	0.40	0.06	5.32	0.37	0.06	5.34	0.39	0.04

**Tabla 2.** Concentraciones medias de OD, según la clasificación de los resultados, con base en las Normas Cubanas (1987), para los siete viajes efectuados.

**Table 2.** Mean concentrations of DO, according to the classification of the results, based on *Normas Cubanas* (1987), for the seven cruises conducted.

Conc. Oxig. (mg/l)	I				II				III				IV				V				VI				VII							
	No. est.	Med.	DE	Oc. (%)	No. est.	Med.	DE	Oc. (%)	No. est.	Med.	DE	Oc. (%)	No. est.	Med.	DE	Oc. (%)	No. est.	Med.	DE	Oc. (%)	No. est.	Med.	DE	Oc. (%)	No. est.	Med.	DE	Oc. (%)				
Superficie																																
< 1	4	0.1	0.1	11	3	0.3	0.5	8	0	-	-	-	0	-	-	-	0	-	-	-	0	-	-	-	0	-	-	-	0	-	-	-
1 - 5	2	2.1	1.2	7	8	3.5	1.4	22	1	-	-	3	3	2.1	1.4	8	6	4.5	0.3	16	0	-	-	-	35	4.3	0.4	95				
> 5	29	7.1	1	82	25	6.4	0.6	70	36	6.9	0.3	97	34	7.3	0.5	92	31	7.2	1.1	84	37	6.4	0.3	100	2	5.2	0.1	5				
Fondo																																
< 1	4	0.1	0.2	11	3	0.4	0.4	8	1	-	-	3	0	-	-	-	0	-	-	-	0	-	-	-	0	-	-	-	0	-	-	-
1 - 5	4	3.8	1.7	11	7	3.4	1.6	19	0	-	-	-	3	3.1	1.6	8	7	4.4	0.7	19	0	-	-	-	36	4.3	0.3	97				
> 5	27	6.9	0.8	78	26	6.2	0.7	73	36	6.9	0.4	97	34	6.9	0.5	92	30	6.9	1	81	37	6.4	0.4	100	1	5.4	1	3				

No. es. = número de estaciones.  
 Med. = medio.  
 DE = desviación estándar.  
 Oc. = ocurrencia.

**Tabla 3.** Factores fisicoquímicos del agua de las industrias que vierten a la bahía.  
**Table 3.** Physicochemical factors of the waste water discharged into the bay by the industries.

Parámetro	Central	Torula	Matadero
T (°C)	48	40	38
pH	7,4	4,7	6,5
OD (mg/l)	0,0	0,0	0,0
DBO (mg/l)	2 920	9 190	1 200
DQO (mg/l)	4 635	10 050	2 122
DBO:DQO	0,6	0,9	0,6
SS (mg/l)	100	1 310	-
Q (m <sup>3</sup> /h)	4 816	204	100
t DBO/día	338	45	1,2

Según la prueba *T* de comparación de medias, no se determinaron diferencias estadísticas significativas entre los valores de DBO, con 95% de certeza, para los dos niveles estudiados.

Como resultado de los dendogramas realizados con concentraciones de DBO tanto en superficie como en fondo (Figs. 3, 4), previamente sometidos a una prueba *U* con 95% de certeza que indicó lo significativo del análisis, y atendiendo a la información recopilada durante los siete muestreos, se localizaron tres grupos bien definidos: el primero (A), con características impropias para el desarrollo normal de la vida, incluye las estaciones aledañas al complejo agroindustrial Guatemala fundamentalmente; el segundo (B), con características dudosas o de ligera contaminación, representa el área colindante con las estaciones que reciben los efluentes del mencionado complejo y, además, el área que incluye la desembocadura del río Nipe y los arroyos Serones y Centeno, aunque este fenómeno se reportó solamente en el nivel del fondo; y el tercer grupo (C), con características propias de aguas limpias, corresponde a las restantes estaciones de la bahía. Esta distribución por zonas de la calidad del agua de la bahía en superficie y fondo se puede apreciar en las Figs. 5 y 6.

Independientemente de las fluctuaciones que presentan las concentraciones de DBO en cada estación, para los distintos cruceros, y el estado general de la bahía según la época del año, se estima que la distribución obtenida con el análisis de clasificación jerárquica es repre-

Serones and Centeno streams, even though this phenomenon was only found in the bottom layer; the third group (C), with suitable characteristics of clean water, corresponds to the remaining stations. This distribution by areas of the quality of the surface and bottom water of the bay is shown in Figs. 5 and 6.

Regardless of the fluctuations of the BOD concentrations at each station for the different cruises and the general state of the bay depending on the time of year, it is estimated that the distribution obtained after applying cluster analysis is representative of the prevailing conditions in the bay, and defines in a general way the areas most affected during the period studied, which could directly or indirectly affect the fisheries and the evolutionary mechanism of the ecosystem in general.

The mean concentrations of BOD, in both levels at the 37 stations, for the seven cruises are shown in table 5. In the first five the mean BOD remained above 2 mg/l, whereas in the sixth and seventh, when there was a general recovery of the water quality, BOD contents were between 1 and 2 mg/l on average. These two cruises coincided with the end of the sugar cane harvest season, when there is a respite in the activities of the industries associated to the system of sugar cane production and, consequently, in the amount of waste water discharged. This general panorama is presented in Fig. 7.

There was a marked fluctuation of nitrate, with values ranging from 10 to 57 µg/l.



**Tabla 4.** Concentraciones medias de DBO, según la clasificación de los resultados, con base en las Normas Cubanas (1987), para los siete viajes efectuados.

**Table 4.** Mean concentrations of BOD, according to the classification of the results, based on *Normas Cubanas* (1987), for the seven cruises conducted.

Conc. DBO (mg/l)	I				II				III				IV				V				VI				VII			
	No. est.	Med.	DE	Oc. (%)	No. est.	Med.	DE	Oc. (%)	No. est.	Med.	DE	Oc. (%)	No. est.	Med.	DE	Oc. (%)	No. est.	Med.	DE	Oc. (%)	No. est.	Med.	DE	Oc. (%)	No. est.	Med.	DE	Oc. (%)
Superficie																												
< 1	15	0.3	0.3	43	11	0.6	0.3	30	1	-	-	3	0	-	-	-	0	-	-	-	8	0.7	0.2	22	24	0.7	0.8	65
1 - 2	5	1.2	0.2	14	11	1.4	0.2	31	23	1.6	0.3	62	2	1.8	0.3	5	1	-	-	3	26	1.5	0.2	70	12	1.3	0.2	32
> 2	15	7.5	7	43	14	7.9	7.5	39	13	3.9	3.9	35	35	5.1	5.3	95	36	4.6	1.2	97	3	3.1	0.8	8	1	-	-	3
Fondo																												
< 1	13	0.2	0.3	37	7	0.4	0.4	19	3	0.8	0.2	8	4	0.9	0.1	11	0	-	-	-	12	0.7	0.3	32	20	1.2	2.3	54
1 - 2	9	1.4	0.2	26	15	1.5	0.3	42	21	1.5	0.2	57	20	1.6	0.3	54	2	1.6	0.1	5	23	1.3	0.4	63	15	1.4	0.3	41
> 2	13	7.7	7.1	37	14	8.9	8.2	39	13	4.1	5.1	35	13	6.6	6.8	35	35	4.4	1.4	95	2	4.9	0.4	5	2	7.6	0.4	5

No. es. = número de estaciones.  
 Med. = medio.  
 DE = desviación estándar.  
 Oc. = ocurrencia.

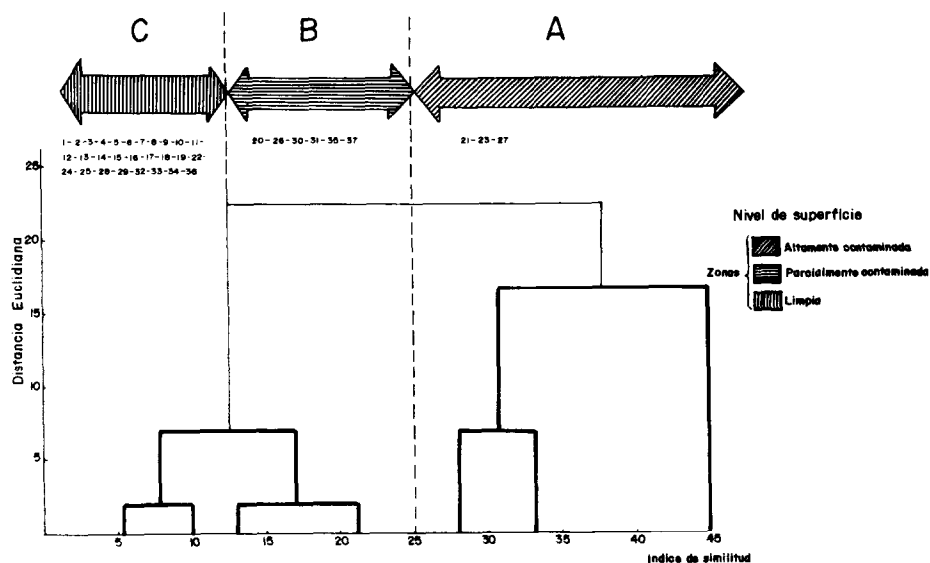


Figura 3. Clasificación de zonas mediante dendrogramas, a nivel superficial, realizados con los valores de DBO.

Figure 3. Classification of areas by means of dendrograms at surface level, using BOD values.

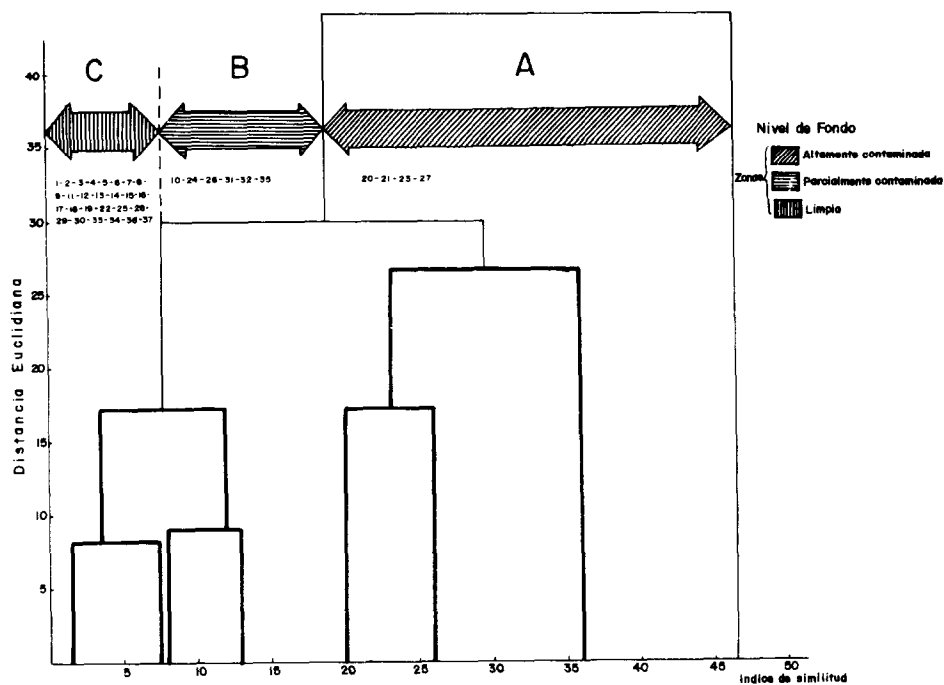
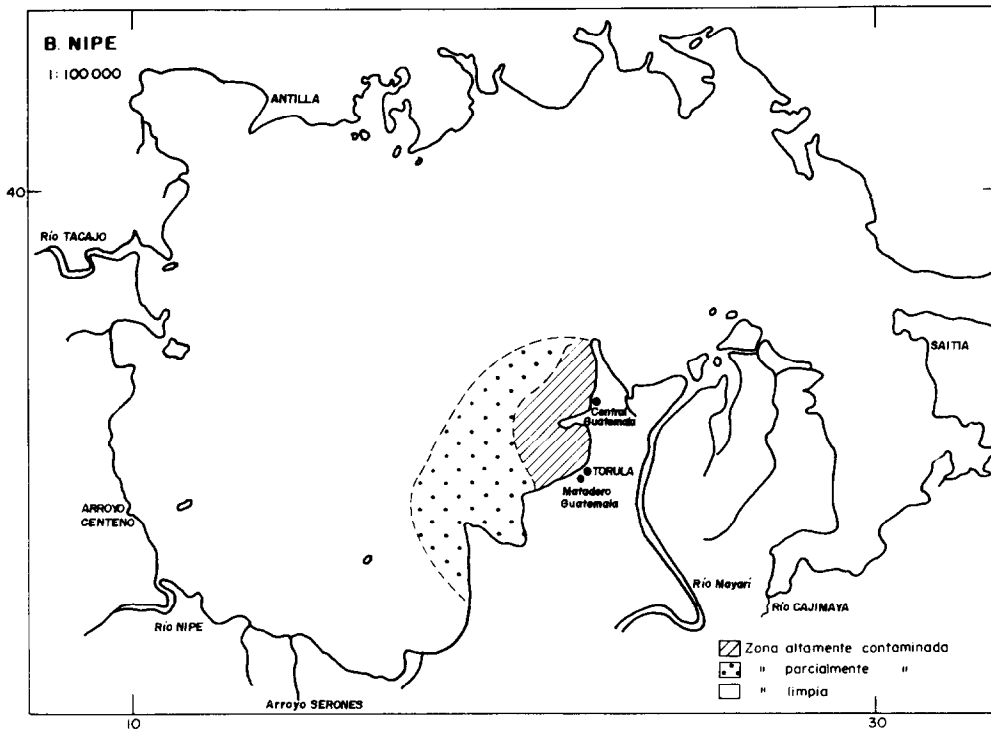


Figura 4. Clasificación de zonas mediante dendrogramas, a nivel del fondo, realizados con los valores de DBO.

Figure 4. Classification of areas by means of dendrograms at bottom level, using BOD values.



**Figura 5.** Estado de la bahía a nivel superficial, en cuanto al contenido de DBO.  
**Figure 5.** Condition of the bay at the surface with regard to BOD content.

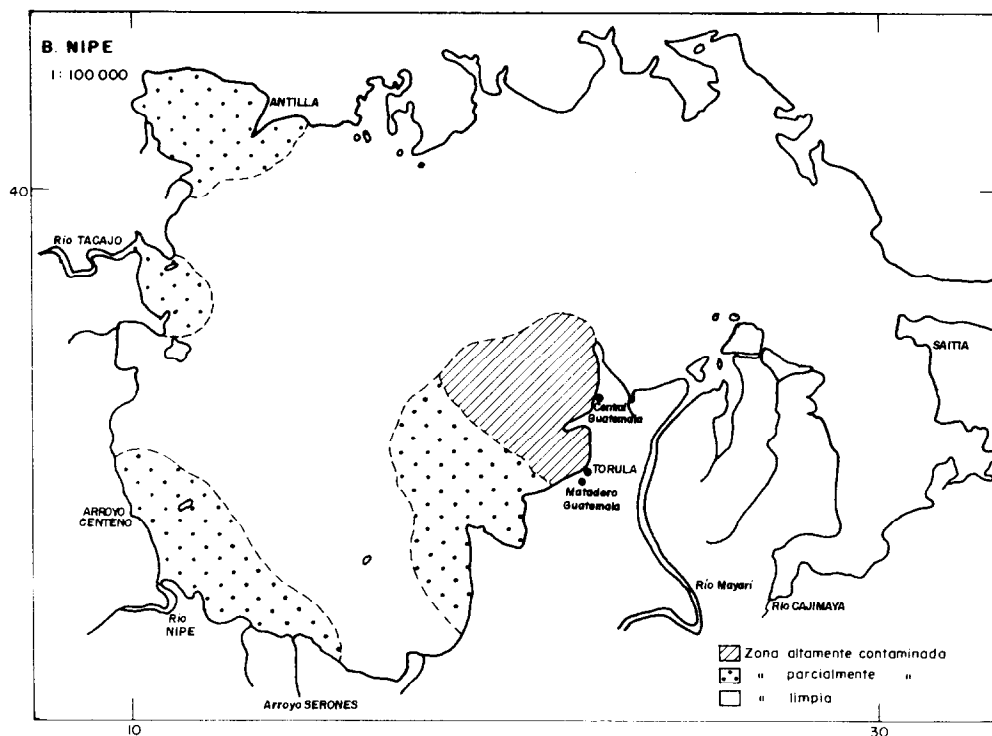
sentativa de las condiciones imperantes en la bahía, y define de forma general las zonas de mayor afectación en el periodo evaluado, las cuales podrían repercutir directa o indirectamente en las pesquerías y en el mecanismo evolutivo del ecosistema en general.

En la tabla 5, se muestran los contenidos medios de caracterización de la DBO de las 37 estaciones para los siete cruces realizados en ambos niveles. En los cinco primeros, la DBO media se mantuvo por encima de 2 mg/l, no así en el sexto y séptimo muestreos, donde se produjo un restablecimiento general de la calidad del agua, con contenidos de DBO entre 1 y 2 mg/l como promedio. Este panorama general se presenta en la Fig. 7. Los muestreos coincidieron con la culminación de la zafra, cuando están en receso las actividades de las industrias asociadas al sistema de producción de caña de azúcar y, por tanto, la afluencia de residuos de esta naturaleza.

The mean concentrations and their standard deviations are shown in table 6. The contents of this element and those of DO for all the bay showed a positive correlation, with a coefficient  $r$  of 0.94, significant for a 95% probability. This indicated the nitrification in the aquatic environment. The mean concentrations of the remaining components of the nitrogen cycle (ammonium and nitrite) are also given in table 6.

Nitrite, ranging from 10 to 27  $\mu\text{g/l}$ , was low in some spots, such as the mouth of the bay, with 0.001 mg/l. The lowest concentrations were consistently recorded during the sixth and seventh cruises.

During the first five cruises, ammonia showed levels higher than 0.05 mg/l, which indicated that the environment is unsuitable for fishery use. However, during the last two cruises its concentration decreased, and an average of 0.01 mg/l was recorded. This value



**Figura 6.** Estado de la bahía a nivel del fondo, en cuanto al contenido de DBO.  
**Figure 6.** Condition of the bay at the bottom with regard to BOD content.

La fluctuación del nitrato fue muy marcada, con un intervalo entre 10 y 57  $\mu\text{g/l}$ . En la tabla 6, se muestran sus concentraciones medias por muestreo y sus desviaciones estándar. Los contenidos de este elemento y los de oxígeno disuelto para toda la bahía demostraron una correlación positiva con un coeficiente  $r$  de 0.94, significativo para un 95% de probabilidad, lo que señaló la nitrificación en el medio acuático. En esta misma tabla, se presentan las concentraciones medias de los restantes componentes del ciclo del nitrógeno (amonio y nitrito).

El nitrito, con un intervalo entre 10 y 27  $\mu\text{g/l}$ , se registró bajo en algunos puntos, como la boca de la bahía con 0.001 mg/l. Los contenidos más bajos fueron consistentemente detectados en el sexto y séptimo cruceros.

El nitrógeno amoniacal para los cinco primeros cruceros, presentó niveles superiores a 0.05 mg/l, que clasifican al ambiente como no apto para uso pesquero. Sin embargo, para los dos últimos muestreos disminuyó

is representative of good quality for marine bodies of water for fishery purposes.

For all the concentrations of ammonium and DO found during the cruises, a negative correlation was found, with a coefficient  $r$  of 0.84, significant for a 95% confidence level.

The concentration of suspended solids varied throughout the bay. The maxima recorded were of the order of 650 mg/l, which delimit an oligotrophic zone, according to the classification of the state standards of the USSR (GOST, 1977), corresponding to the area of station 6, specifically in the fifth cruise conducted. This may be the result of suspended matter of inorganic origin, which forms as a product of turbulence created by the effect of the currents. The mean concentrations for the different cruises are shown in table 6.

This phenomenon was not observed at other stations, except in the area that receives the discharges of Central, Torula and Matajero. The highest concentrations of suspended matter averaged 300 mg/l in the fourth cruise

**Tabla 5.** Concentraciones medias, desviación estándar y error de la media para DBO5 (mg/l)  
**Table 5.** Mean concentrations, standard deviation and error of the mean for BOD5 (mg/l).

Viajes	Superficie			Fondo			Bahía		
	X	DE	E	X	DE	E	X	DE	E
I	3.51	5.82	0.98	3.41	5.46	0.96	3.47	5.76	0.68
II	3.78	5.79	0.96	4.21	6.44	1.07	4.01	6.06	0.71
III	2.38	2.59	0.42	2.45	3.91	0.64	2.42	3.25	0.37
IV	4.93	5.17	0.85	3.30	4.66	0.76	4.12	4.92	0.57
V	4.56	1.36	0.22	4.33	1.33	0.26	4.42	1.42	0.16
VI	1.48	0.63	0.10	1.34	0.91	0.14	1.34	0.78	0.09
VII	0.98	0.66	0.10	1.11	0.56	0.09	1.59	0.95	0.10

**Tabla 6.** Contenidos medios de calidad del agua de la Bahía de Nipe, para los siete cruces efectuados.  
**Table 6.** Mean contents of the water quality of Bahía de Nipe, for the seven cruises.

Viajes	I		II		III		IV		V		VI		VII	
	X	DE	X	DE	X	DE	X	DE	X	DE	X	DE	X	DE
NO <sub>2</sub> (µg/l)	27.5	31.0	21.88	5.2	23.1	12.9	27.5	41.4	25.7	27.9	11.0	6.1	10.0	0.07
NO <sub>3</sub> (µg/l)	-	-	-	-	54.8	67.9	57.2	105.4	11.10	14.1	9.90	6.80	-	-
NH <sub>4</sub> (mg/l)	0.05	0.7	0.06	0.4	0.09	0.10	0.07	0.90	0.07	0.20	0.01	0.02	0.01	0.02
MS (mg/l)	-	-	-	-	38.7	37.6	19.90	24.7	40.0	15.2	112.5	187.6	79.0	155.7
Sal.(‰) S	-	-	37.2	0.4	34.6	0.70	32.9	0.73	32.9	1.17	34.8	0.60	34.7	0.90
Sal.(‰) F	-	-	37.3	0.3	34.6	0.90	33.4	2.20	33.4	1.60	34.9	0.40	34.9	0.80

S = superficie.  
 F = fondo.

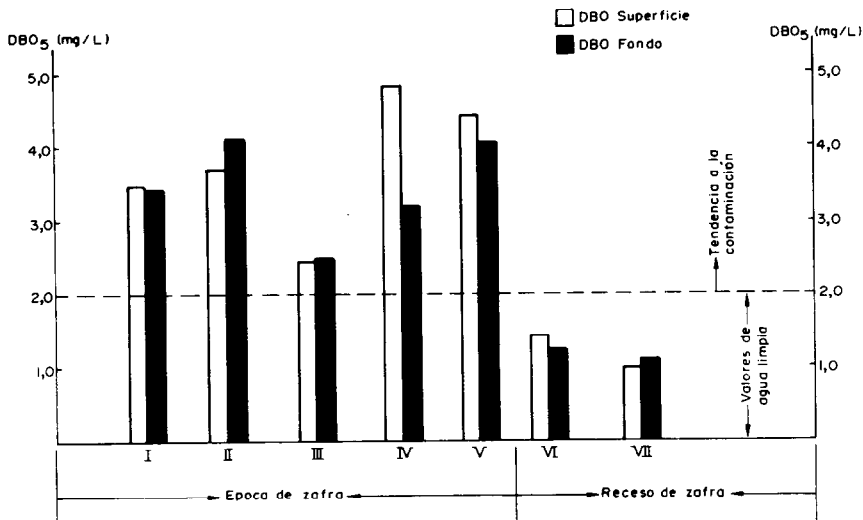


Figura 7. Comportamiento de la DBO para los siete muestreos a la Bahía de Nipe, en superficie y fondo.

Figure 7. Behaviour of BOD for the seven cruises in Bahía de Nipe, at the surface and bottom.

su concentración, que registró en promedio 0.01 mg/l, valor representativo de calidad buena para cuerpos de aguas marinas con fines pesqueros.

Para todas las concentraciones de amonio y oxígeno disuelto halladas en el transcurso de los muestreos, se encontró una correlación negativa, con un coeficiente  $r$  de 0.84, significativo para un nivel de certeza del 95%.

Los sólidos en suspensión variaron su concentración a través de toda la bahía. Los máximos registrados fueron del orden de 650 mg/l, que enmarcan una zona oligotrófica, según la clasificación de trofosaprobidad de las normas estatales de la URSS (GOST, 1977), que correspondió al área de la estación 6, específicamente en el quinto crucero efectuado. Esto puede ser resultado de la materia en suspensión de origen inorgánico, que se forma como producto de la turbulencia provocada por el efecto de las corrientes, que en su movimiento impulsan partículas del fondo hasta la superficie. En la tabla 6, se aprecian los contenidos medios para los distintos cruceros realizados.

En otras estaciones no se observó este fenómeno, a excepción del área que recibe los efluentes de Central, Torula y Matadero, cuyas concentraciones mayores de materia en

and 360 mg/l in the fifth. According to NC (1987), this content of suspended matter is unsuitable for the fisheries since it can intervene in the development of the fishes, affecting the gills and food filtering organs, and it can also contribute to the reduction in the penetration of light in the water (Bishop, 1983), which negatively affects the primary productivity of the environment.

Salinity remained practically constant throughout the three years of study, with minima of 35‰ and little variability between the surface and bottom. No significant statistical differences were found between both levels at a 5% probability error, indicating vertical homogeneity in the water column.

## CONCLUSIONS

The mean concentration of DO for the seven cruises ranged from 5.13 to 6.8 mg/l, except in the areas affected by the effluents of the Guatemala agro-industrial complex, where anaerobiosis or low contents of 0.1 mg/l were recorded. This indicates that the complex is responsible for the partial deterioration of this region in regard to organic contamination.

The levels of BOD at the surface and bottom were higher than 2 mg/l in 35 to 95%

suspensión, tuvieron promedios de 300 mg/l en el cuarto muestreo y de 360 mg/l en el quinto. Según las normas propuestas para Cuba (1987), este contenido de materia en suspensión es impropio para las pesquerías, ya que puede intervenir en el desarrollo de los peces, afectando las agallas y los órganos filtrantes de alimentación, además de contribuir también a la reducción de la penetración de luz en el agua (Bishop, 1983), lo cual repercute negativamente sobre la producción primaria del ambiente.

Con relación a la salinidad, se destaca que la misma se mantuvo prácticamente invariable en el transcurso de los tres años de trabajo, con mínimos de 35‰, y poca variabilidad entre superficie y fondo. No se encontraron diferencias estadísticas significativas entre ambos niveles con un 5% de probabilidad de error, lo que hace evidente la homogeneidad vertical existente en la columna de agua.

## CONCLUSIONES

La concentración media del OD para los siete muestreos realizados fue entre 5.13 y 6.8 mg/l, a excepción de las zonas afectadas por los efluentes del complejo agroindustrial Guatemala, donde se registró anaerobiosis o contenidos bajos hasta de 0.1 mg/l, lo que responsabiliza a dichas instalaciones del deterioro parcial de esta región, en cuanto a la contaminación orgánica.

La DBO presentó niveles superiores a 2 mg/l en 35 a 95% de las estaciones, en superficie y fondo, lo que caracteriza el área como impropia para las pesquerías, por su carácter contaminante, con las mayores concentraciones en la zona aledaña al complejo agroindustrial Guatemala, responsable fundamental de ese deterioro ambiental, salvo en los dos últimos cruceros, cuando se registró una mejoría de las aguas de la bahía debida al receso de la zafra.

Los dendogramas realizados, señalaron una distribución de la contaminación según la DBO, en superficie y fondo, con tres zonas bien definidas por sus respectivas características: de agua limpia, de mediana contaminación y de elevada eutroficación.

El nitrato fluctuó en un intervalo entre 10 y 57  $\mu\text{g/l}$  para todos los muestreos, con una correlación positiva entre los valores de los siete cruceros y el oxígeno del agua.

of the stations, which characterizes the area as unsuitable for the fisheries. The highest concentrations were recorded in the area adjoining the Guatemala agro-industrial complex, except during the last two cruises conducted at the end of the sugar cane harvest season, when there was an improvement in the water quality of the bay.

The dendograms indicated a distribution of the contamination according to BOD at the surface and bottom, with three well-defined areas: one with characteristics of clean water, another with characteristics of moderate contamination and a third with characteristics of high eutrophication.

Nitrate ranged from 10 to 57  $\mu\text{g/l}$  in all the samplings, with a positive correlation between the values of the seven cruises and the oxygen of the water.

Nitrite ranged from 10 to 27  $\mu\text{g/l}$ , with low concentrations in the mouth of the bay, of the order of 0.001 mg/l. This shows the slight eutrophic nature of this region.

The levels of ammonia were higher than 0.05 mg/l during the first five cruises and of 0.01 mg/l during the last two, indicating a negative correlation with the oxygen values for all the bay.

The variation of the concentration of suspended solids was considerable, and the maxima were recorded in the areas affected by the effluents of the Guatemala complex.

Salinity remained practically constant during the study period, with an average of 35‰. No significant statistical differences were found between the surface and bottom, showing vertical homogeneity in the water column in regard to this parameter.

## RECOMMENDATIONS

The distribution of the organic contamination in Bahía de Nipe and the period of highest contamination must be taken into account, in support of the fisheries. Based on the present results, the Guatemala agro-industrial complex is the main source of contamination in the area, and appropriate treatments for the effluents must be established in order to prevent the bay from becoming a large receptacle of toxic substances.

English translation by Christine Harris.

El nitrito fluctuó en un intervalo entre 10 y 27  $\mu\text{g/l}$ , y registró concentraciones bajas en la boca de la bahía, del orden de 0.001 mg/l, que hacen evidente el carácter poco eutrófico de esta región.

El nitrógeno amoniacal para los cinco primeros cruceros presentó contenidos superiores a 0.05 mg/l, y para los dos últimos de 0.01 mg/l, lo que indica una correlación negativa con los valores de oxígeno de toda la bahía.

La variación de la concentración de sólidos suspendidos fue considerable, y se registraron los máximos en las áreas afectadas por los residuos del complejo Guatemala.

La salinidad se mantuvo prácticamente invariable en el periodo de muestreo, con un promedio de 35‰, sin diferencias estadísticas significativas entre superficie y fondo, demostrando la homogeneidad vertical existente en la columna de agua en cuanto a este parámetro.

## RECOMENDACIONES

Se debe tomar en cuenta la distribución de la contaminación orgánica en la Bahía de Nipe, como apoyo de las actividades pesqueras, así como el periodo de mayor afectación, producto de los vertimientos directos de los residuos del complejo agroindustrial Guatemala, con el fin de establecer los tratamientos adecuados para los efluentes de dichas entidades contaminadoras, con base en los resultados de las caracterizaciones fisicoquímicas realizadas. Así, podrá evitarse que la bahía se convierta en un gran receptor de sustancias nocivas para la salud ambiental.

## REFERENCIAS

- Anderberg, M.R. (1973). **Cluster analysis for applications**. Academic Press, New York, 359 pp.
- APHA (1963). **Métodos estándar para el examen de aguas y aguas de desecho**. 11a. Ed., Edición Interamericana, 609 pp.
- Basu, A.K. (1974). Estudio sobre algunos aspectos de contaminación costera (de aguas marinas y salobres) alrededor de Cuba. INP/CIP., Proyecto Desarrollo Pesquero, PNUD/FAO/CUB/504, Inf. Téc. Final, No. 4, 22 pp.
- Bishop, L.P. (1983). **Marine pollution and its control**. McGraw Hill, 357 pp.
- Boesch, D.F. (1977). Application of numerical classification in ecological investigations of water pollution. **Ecol. Res. Ser.**, EPA-600/3-77-033, pp. 1-115.
- GOST (1977). Hidrosfera. Índice del estado y reglas de evaluación de los objetos hídricos para la pesca. 17.1.2.04.77.
- ICGC (1978). Atlas de Cuba. **Instituto Cubano de Geodesia y Cartografía**, Cuba, 168 pp.
- McKenthum, K.M. (1969). The practice of water pollution biology. **U.S. Dept. Int., Fed. Water Control Adm., Div. Tech. Support**, 281 pp.
- Normas Cubanas (1987). **Sistema de normas para la protección del medio ambiente. Hidrosfera**. Rep. de Cuba, 93-01-105, 9 pp.
- Romero, L.T. y Suárez, A.G. (1983). Calidad ambiental en la Bahía de Nipe. Proyecto Cub/80/001. PNUD-PNUMA-UNESCO, IIT, 21 pp.
- Siegel, S. (1970). **Diseño experimental no paramétrico aplicado a las ciencias de la conducta**. Ed. Revolucionaria, Instituto Cubano del Libro, La Habana, 346 pp.
- Strickland, J.D. and Parsons, T.R. (1972). A practical handbook of seawater analysis, 2nd Ed. **Bull. Fish. Res. Bd. Canada**, No. 167, 312 pp.
- Suárez, A.G. (1982). Informe sobre el estado de la contaminación en la Bahía de Nipe. Informe técnico de reclamación, 7 pp.