

Caracterización química de los sedimentos superficiales de las bahías de Cárdenas y Santa Clara, Archipiélago Sabana-Camagüey, Cuba.

Chemical characterization of the superficial sediments of Cárdenas and Santa Clara Bays, Sabana-Camagüey Archipelago, Cuba.

José Francisco Montalvo

(Dpto de Oceanografía Física y Química, Instituto de Oceanología, Agencia de Medio Ambiente, Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente. Dirección: Ave. 1ra No. 18406 e/ 184 y 186, Reparto Flores, Playa. Ciudad de La Habana, Cuba. CP: 12100. montalvo@oceano.inf.cu)

Resumen

Los sedimentos superficiales de las bahías de Cárdenas y Santa Clara fueron muestreados en mayo de 2002 y julio de 2005, evaluándose los parámetros orgánicos e inorgánicos que tienen mayor peso en los ciclos biogeoquímicos (carbón, nitrógeno, fósforo, carbonatos, sulfuro de hidrógeno y consumo de oxidante químico).

Los sedimentos de las bahías de Cárdenas y Santa Clara, poseen notables contenidos de carbón orgánico y concentraciones de nitrógeno inferiores a 0,2 %, evidenciando que la fuente principal de materia orgánica en estos cuerpos de agua es la vegetación periférica y acuática, rica en carbono y pobre en nitrógeno.

En estas bahías las concentraciones promedio de carbonatos son superiores al 35 %, aunque la mayor riqueza corresponde a la bahía de Santa Clara, sobre todo en los puntos más alejados de la línea de costa.

Los montos de sulfuro de hidrógeno en ambas bahías fueron similares, en el caso de la bahía de Cárdenas tuvo un valor medio de 20,49 mM m⁻² y en la de Santa Clara la concentración promedio fue 20,10 mM m⁻². Los valores superiores se registraron en la etapa de seca y no se correlacionan de forma directa con los contenidos de carbón orgánico y consumo de oxidante químico.

Palabras clave: Sedimento, carbón orgánico, nitrógeno, sulfuro de hidrógeno, bahía

Abstract

The superficial sediments of Cárdenas and Santa Clara Bays were sampled in May 2002 and July 2005, being evaluated the organic and inorganic parameters that have greater importance in biogeochemical cycles (carbon, nitrogen, phosphorous, carbonates, hydrogen sulphides and consumption of chemical oxidant).

The sediments of Cárdenas and Santa Clara Bays possess remarkable contents of organic carbon and nitrogen concentrations lower than 0,2 %, evidencing that the main source of organic matter in these water bodies is the peripheral and aquatic vegetation, rich in carbon and poor in nitrogen.

In these bays, the average concentrations of carbonates are higher than 35%; although the greatest richness corresponds to Santa Clara Bay, mainly in the points farther from the coastline.

The values of hydrogen sulphides were similar in both bays. In the case of Cárdenas Bay, it had a mean value of 20,49 mm m⁻²; and in Santa Clara the average concentration was 20,10 mm m⁻². The higher values registered in the dry season and are not directly correlated with the contents of organic carbon and consumption of chemical oxidant.

Key words: Sediment, organic carbon, nitrogen, hydrogen sulphide, bay.

INTRODUCCIÓN.

Los estudios relacionados con la composición de los sedimentos asociados a los fondos blandos del ecosistema ASC, arrojan que los procesos de sedimentación son eminentemente talasogénicos, mientras que la influencia terrígena es casi inapreciable, dado el poco desarrollo de la red fluvial y las propias características morfológicas de la zona (Guerra, 1997). Arencibia *et al.* (1992) estudiaron la composición química de los sedimentos y el desarrollo de los pastos marinos en la bahía de Cárdenas y zonas adyacentes, observando que en las zonas de mayor contaminación por materia orgánica y metales pesados había un menor desarrollo de los

pastos marinos o ausencia de los mismos. Martínez *et al.* (1998) concluyen que los contenidos metálicos en los sedimentos del ASC son comparables a los de áreas no contaminadas, a excepción del Fe en la bahía de Santa Clara E y el Ni en la de San Juan de los Remedios, Buenavista, Los Perros y Jigüey, y que el acuatorio más afectado es el de San Juan de los Remedios.

Los arrecifes coralinos de esta ecorregión se caracterizan por tener un bajo contenido de carbón y nitrógeno, y un elevado contenido de fósforo biodisponible debido a la capacidad que tienen los sedimentos carbonatados de retener fósforo inorgánico (Montalvo *et al.*, 2003).

En los ecosistemas acuáticos, los sedimentos juegan un importante papel en la degradación de la materia orgánica y el reciclamiento de los nutrientes (Hopkinson *et al.*, 1999). Revhsbech *et al.* (1980) y Mackin y Swider (1989), concluyen que en los sedimentos marinos costeros la penetración de oxígeno y los procesos de descomposición aeróbicos están limitados a unos pocos milímetros de la capa superficial, y por debajo de esta zona óxica la descomposición de la materia orgánica ocurre por medio de una gran variedad de procesos anaeróbicos.

La diagénesis de la materia orgánica en sedimentos superficiales está parcialmente gobernada por las concentraciones de carbón y fósforo (Koch, *et al.*, 2001 y Nilsen y Delaney, 2005).

La finalidad de este trabajo es analizar la composición química de los sedimentos superficiales de las bahías de Cárdenas y Santa Clara, a partir de algunos parámetros tanto inorgánicos y orgánicos, centrando la evaluación en los componentes que tienen mayor peso en los ciclos biogeoquímicos.

MATERIALES Y MÉTODOS.

La toma de muestras de sedimentos superficiales en las bahías de Cárdenas y Santa Clara se realizó en mayo del 2002 y julio del 2005. La red de puntos de muestreo se representa en la Fig. 1. El muestreo se realizó mediante buceo autónomo, empleando un tubo de PVC de capacidad para 30 cm³ y las muestras para sulfuro de hidrógeno por medio de un muestreador de PVC de 5 cm³ de capacidad, preservándose con acetato de zinc al 5 %.

Los sedimentos se depositaron en frascos plásticos, congelándose, hasta ser procesadas en el laboratorio, donde se cuantificó carbón orgánico (C.O.) por oxidación con dicromato de potasio en medio ácido (Walkley y Black, 1934; tomado de FAO (1975), nitrógeno orgánico (N.O.) mediante la modificación del método Kjeldahl por Dowgialo (1984), fósforo inorgánico P.I. a través de la extracción con HCl 1,2 M (Miyajima *et al.* (1998), fósforo total P.T. mediante la digestión con H₂SO₄-HNO₃-HClO₄ (FAO, 1975), consumo de permanganato expresado en términos de DQO por medio del procedimiento usado para agua marina (FAO, 1975), carbonatos según Jackson (1970) y sulfuro de hidrógeno empleando el método del azul de metileno (APHA, 1992).

El fósforo orgánico (P.O.) se estimó por diferencia entre el fósforo total y el inorgánico. Se calcularon las relaciones carbón orgánico-fósforo orgánico (C/P), carbón orgánico-nitrógeno orgánico (C/N) y nitrógeno orgánico-fósforo orgánico (N/P).

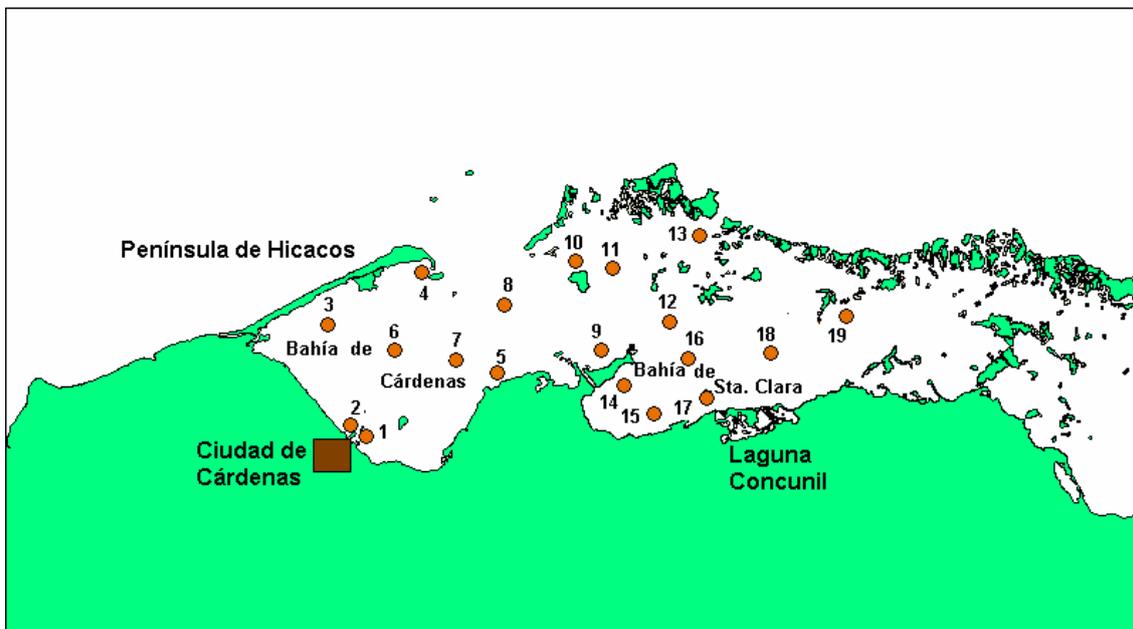


Figura -1 Red de puntos de muestreo en las bahías de Cárdenas y Santa Clara.

RESULTADOS.

Bahía de Cárdenas.

Las concentraciones de carbón orgánico en los sedimentos oscilaron entre 0,91 y 4,73 % (Tabla 1). El máximo puntual se encontró en el punto de muestreo 2, durante el muestreo realizado en mayo del 2002, situado en las proximidades de la ciudad de Cárdenas. La mayor disponibilidad de este tipo de compuestos se encontró en las locaciones cercanas a la línea de costa. En la porción NE los fondos se caracterizaron por tener concentraciones de carbón inferiores a 1,00 %. Los mayores contenidos ocurrieron en mayo de 2002, decreciendo en el muestreo realizado en la etapa de lluvias del 2005 (Fig. 2A), el análisis de varianza entre cruceros arrojó que existen diferencias significativas entre los mismos para $\alpha = 0,05$. Los contenidos de nitrógeno orgánico fueron inferiores a 0,2 % en todos los muestreos, estos compuestos tuvieron una elevada variabilidad, al igual que los restantes parámetros evaluados en los sedimentos de la bahía (Tabla 1). Los fondos de la bahía son pobres este tipo de compuestos. Las concentraciones más bajas se encontraron en el crucero realizado en julio del 2005 (Fig. 2B), aunque no se hallaron diferencias significativas entre cruceros ($F_{cal(3,32)} < F_{tab(3,72)}$, g.l. = 9:7, $\alpha = 0,05$).

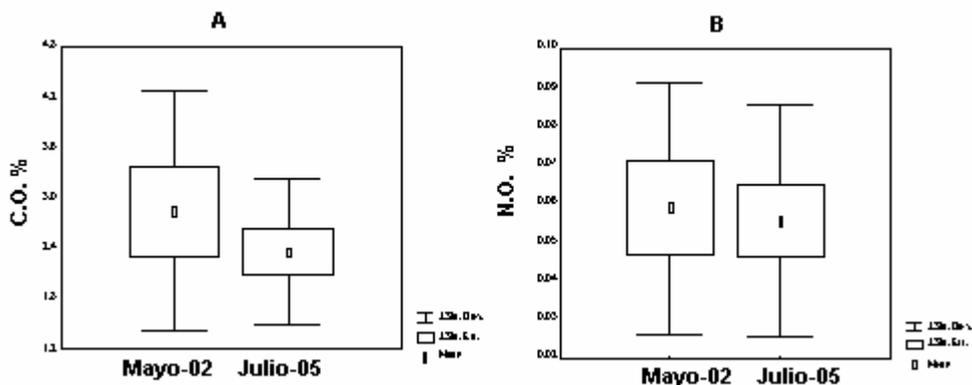


Figura 2 Concentraciones promedio \pm la desviación estándar de carbón orgánico (A) y nitrógeno orgánico (B) en los sedimentos superficiales de la bahía de Cárdenas los muestreos realizados en mayo de 2002 y julio de 2006.

El fósforo inorgánico o biodisponible representó el 51 % del fósforo sedimentado, con concentraciones entre 0,001 y 0,039 %. La mayor abundancia relativa de fósforo inorgánico se encontró en el muestreo realizado en mayo del 2002 (Fig. 3A), el contenido medio en julio del 2005 fue $0,018 \pm 0,013$ %. No existen diferencias significativas entre los cruceros ($F_{\text{cal}(1,47)} < F_{\text{tab}(3,502)}$, g.l. = 7:8, $\alpha = 0,05$).

Tabla 1 Concentraciones promedio, mediana, desviación estándar, mínimos y máximos de carbón orgánico (C.O.), nitrógeno orgánico (N.O.), fósforo inorgánico (P.I.), fósforo orgánico (P.O.), consumo de oxidante químico (DQO), sulfuro de hidrógeno y carbonato en los sedimentos superficiales de la bahía de Cárdenas.

Parámetro	Unidad	Media	Mediana	S	Mínimo	Máximo
C.O.	%	2,56	2,39	1,12	0,91	4,73
N.O.	%	0,0566	0,0540	0,0302	0,0096	0,1240
P.I.	%	0,0218	0,0207	0,0095	0,0098	0,0390
P.O.	%	0,0211	0,0218	0,0109	0,0039	0,0392
DQO	mg/g	4,57	5,33	2,35	1,65	7,73
H ₂ S	mM m ⁻²	20,49	11,80	17,64	5,29	57,97
CO ₃	%	37,9	34,9	8,61	25,2	57,3

Los contenidos de fósforo orgánico más las otras formas menos reactivas variaron desde 0,004 % hasta 0,039 %. En el muestreo hecho en julio del 2005 las concentraciones fueron más bajas que en el primer crucero (Fig. 3B), no obstante el análisis de varianza entre cruceros indica que no existen diferencias significativas entre los mismos ($F_{\text{cal}(2,38)} < F_{\text{tab}(3,72)}$, g.l. = 9:7 $\alpha = 0,05$).

Los valores de la demanda de permanganato expresada en términos de oxígeno variaron entre 1,65 y 7,73 mgO₂/g, los montos superiores correspondieron a julio del 2005 con una media de $6,37 \pm 1,02$ mgO₂/g; y mostró correlaciones inversas con el sulfuro de hidrógeno ($r = -0,77$) y los carbonatos ($r = -0,60$).

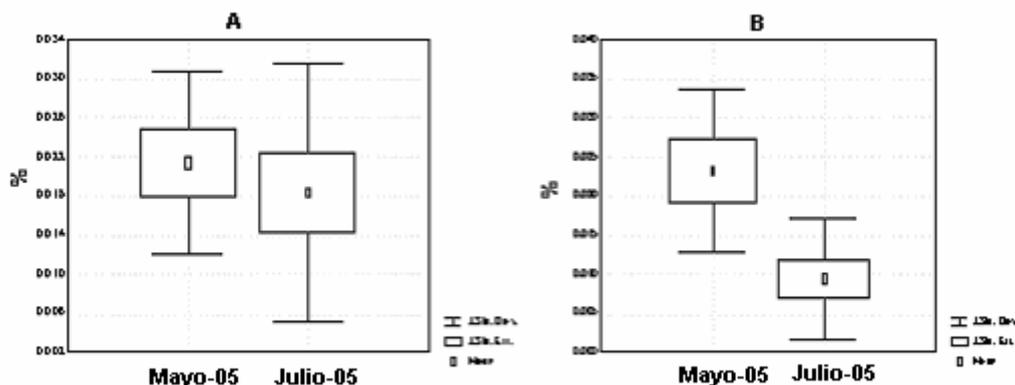


Figura 3 Concentraciones promedio \pm la desviación estándar de fósforo inorgánico (A) y fósforo orgánico (B) en los sedimentos superficiales de la bahía de Cárdenas los muestreos realizados en mayo de 2002 y julio de 2005.

Se detectó sulfuro de hidrógeno libre en todos los puntos acumulando cantidades entre 5,29 y 57,97 mM/m², las concentraciones mayores se registraron en las locaciones cercanas a la ciudad de Cárdenas y la Ensenada de Siguapa (Fig. 4), zonas con fondos enriquecidos en carbón orgánico. El análisis de varianza entre ambos cruceros arrojó diferencias significativas entre ellos ($F_{\text{cal}(36,88)} > F_{\text{tab}(3,72)}$, g.l. = 9:7, $\alpha = 0,05$). Los mayores contenidos se encontraron en el muestreo realizado en mayo de 2002, alcanzando una concentración media de $38,29 \pm 17,77$ mM/m², coincidiendo con la mayor proporción de carbón orgánico en sedimento. Las

concentraciones en el muestreo realizado en julio de 2005 fueron inferiores, los valores más usuales estuvieron entre 7,00 y 12,00 mM/m²

Los contenidos de carbonatos sedimentados fueron desde 25,2 % hasta 57,3 %, los montos menores se encontraron en la parte W de la bahía con una mayor influencia de los materiales aportados por los escurrimientos terrestres y valores superiores al 50 % se hallaron en la porción E de la bahía. La proporción de carbonatos fue superior en el muestreo realizado en mayo de 2002, predominando las concentraciones superiores al 40 %, en el segundo crucero hubo una sensible disminución de los tenores de estos compuestos (Fig. 4), alcanzando una concentración media de 34,04 ± 4,70 %.

La relación C/P fue muy heterogénea, los valores más pequeños se encontraron en el muestreo realizado en mayo de 2002, el mínimo puntual correspondió al punto de muestreo 1, también en este punto se encontró el valor más pequeño de la relación nitrógeno orgánico-fósforo orgánico. En el muestreo realizado en la época de lluvias del 2005 la razón fue casi dos veces superior (Tabla 2), atribuido al decrecimiento del contenido de fósforo en los sedimentos, y el máximo absoluto (40,3), fue en la locación de muestreo 4. Existen diferencias significativas entre los muestreos para un nivel de confianza de 0,05.

La relación carbón orgánico-nitrógeno orgánico en ambos muestreos tuvieron montos similares (Tabla 2), y evidencian que los fondos son pobres en nitrógeno orgánico, no se encontraron diferencias significativas entre los muestreos $F_{(1,03)} < F_{(3,68)}$, g.l. = 7:9, $\alpha = 0,05$). Los puntos 4 y 11, localizados al E del cuerpo de agua, arrojaron los valores mayores de esta relación, aunque en el primer muestreo el punto 1 tuvo un valor notable (110,9).

La carencia en nitrógeno orgánico sedimentado se refleja también a partir de los valores de la relación N/P, aunque en el primer muestreo fue casi más de dos veces inferior a los encontrados en julio de 2005 (Tabla 2), el aumento en el último muestreo se asocia a la disminución de las concentraciones de fósforo orgánico en los fondos de la bahía, el valor extremo superior (70,2) correspondió al punto de muestreo 13, coincidiendo con la mayor disponibilidad de carbonato en sedimento. Estadísticamente existen diferencias significativas entre los muestreos $F_{(5,01)} > F_{(3,68)}$, g.l. = 7:9, $\alpha = 0,05$).

Tabla 2 Valores promedio, mediana, mínimos, máximos, primer cuartil, tercer cuartil y desviación estándar de las relaciones carbón orgánico-fósforo orgánico (C/P), carbón orgánico-nitrógeno orgánico (C/N) y nitrógeno orgánico-fósforo orgánico (N/P) en los sedimentos superficiales de la bahía de Cárdenas en mayo de 2002 y julio de 2005.

	Mayo de 2002			Julio de 2005		
	C/P	C/N	N/P	C/P	C/N	N/P
Promedio	441,3	70,5	8,3	1127,3	67,8	21,5
Mediana	409,2	48,3	5,9	776,8	51,2	18,5
Máximo	1118,5	145,6	27,7	4029,7	144,2	70,2
Mínimo	60,0	23,8	0,5	227,5	15,9	4,5
Cuartil-1	209,2	42,9	3,9	529,6	39,0	6,1
Cuartil-3	541,4	95,1	8,0	1238,3	99,5	26,1
S	359,2	43,9	9,0	1110,5	45,5	20,1

Bahía de Santa Clara

Las concentraciones de carbón orgánico en los sedimentos fueron muy heterogéneas, con valores puntuales entre 0,67 y 5,11 %. Los valores extremos correspondieron a los puntos de muestreos 18 y 15, el primero correspondió al muestreo hecho en julio de 2006 y el máximo se midió en mayo de 2002. En las áreas situadas al NE de la bahía hubo un predominio de contenidos de carbón inferiores a 1,00 %, en la época de lluvias del 2005. Los valores del parámetro en mayo de 2002, casi duplican a los encontrados en julio de 2005, y la variabilidad fue mayor en el primer crucero (Fig. 5A), el análisis de varianza entre los muestreos indica que existen diferencias significativas entre los mismos ($F_{(6,70)} > F_{(4,28)}$, g.l. = 6:6, $\alpha = 0,05$).

Los fondos se caracterizaron por tener bajos contenidos de nitrógeno orgánico, las concentraciones puntuales fueron inferiores a 0,1 % (Tabla 3). Los contenidos superiores se midieron en julio de 2005 (Fig. 5B), no obstante no se existen diferencias significativas para el parámetro entre cruceros ($F_{(1,53)} < F_{(4,28)}$, g.l. = 6:6, $\alpha = 0,05$).

Tabla 3 Concentraciones promedio, mediana, desviación estándar, mínimos y máximos de carbón orgánico (C.O.), nitrógeno orgánico (N.O.), fósforo inorgánico (P.I.), fósforo orgánico (P.O.), consumo de oxidante químico (DQO), sulfuro de hidrógeno y carbonato en los sedimentos superficiales de la bahía de Santa Clara.

Parámetro	Unidad	Media	Mediana	S	S ²	Mínimo	Máximo
C.O.	%	2,32	1,76	1,49	2,22	0,67	5,11
N.O.	%	0,0516	0,0534	0,0148	0,0002	0,0250	0,0760
P.I.	%	0,0175	0,0128	0,0110	0,0001	0,0064	0,0416
P.O.	%	0,0148	0,0163	0,0073	0,0001	0,0010	0,0266
DQO	mg/g	2,99	2,24	1,66	2,76	1,32	5,87
H ₂ S	mM m ⁻²	20,10	16,56	12,33	152,11	4,66	41,72
CO ₃	%	45,6	45,5	5,4	292,6	34,1	53,5

Las concentraciones de fósforo inorgánico y orgánico en los sedimentos fueron poco homogéneas (Tabla 3). La fracción inorgánica constituye el 54 % del fósforo total sedimentado, con concentraciones puntales entre 0,0064 % y 0,0416 %, los contenidos inferiores correspondieron al muestreo realizado en mayo de 2002, con un valor promedio de $0,0123 \pm 0,0033$ %; casi dos veces inferior a la disponibilidad media en julio de 2005 (Fig. 5A), al análisis de varianza entre cruceros arrojó que existen diferencias significativas entre los mismos ($F_{(17,13)} > F_{(4,28)}$, g.l. =6:6, $\alpha = 0,05$). El parámetro mostró una correlación directa con la DQO en sedimento ($r = 0,67$) e inversa con el sulfuro de hidrógeno ($r = -0,61$).

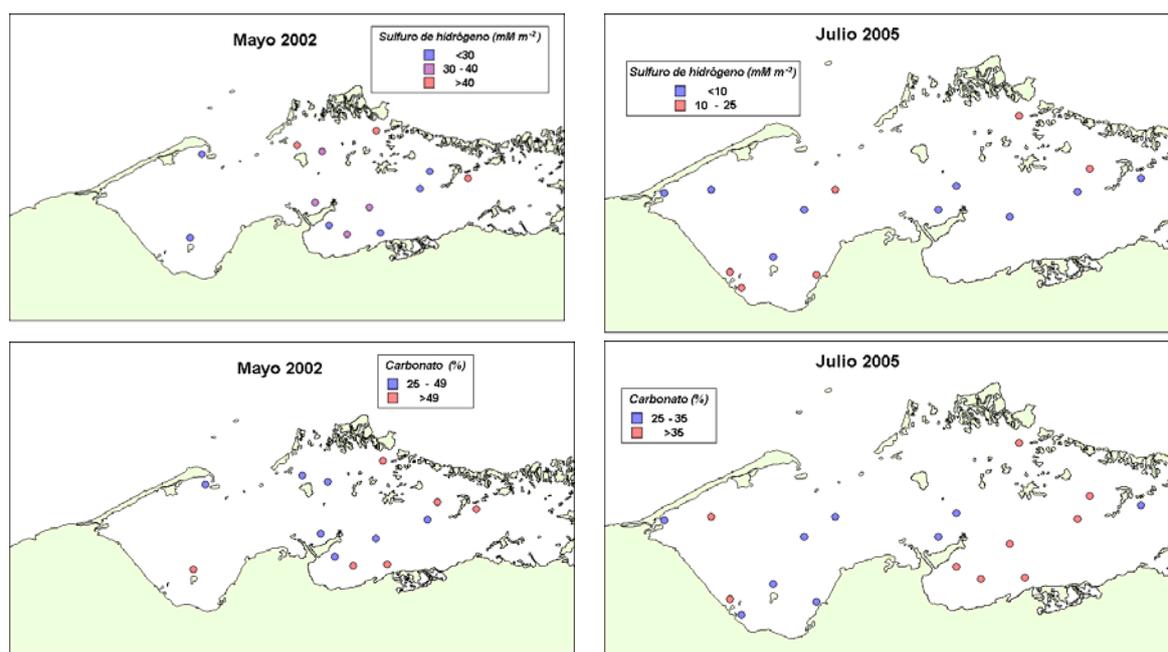


Figura 4 Concentraciones puntuales de sulfuro de hidrógeno libre y carbonatos en sedimentos superficiales de las bahías de Cárdenas y Santa Clara en los muestreos realizados en mayo de 2002 y julio de 2005.

La mayor reserva de fósforo orgánico correspondió al muestreo realizado en mayo de 2002, en julio de 2005 el parámetro tuvo una gran variabilidad (Fig. 5B), alcanzando un valor promedio de $0,0110 \pm 0,0086$ %. Se encontraron diferencias significativas entre los cruceros para un grado de confiabilidad de 95 %. Los sedimentos de esta bahía no son tan ricos en fósforo si se equiparan con los restantes fondos blandos del ecosistema Sabana – Camagüey (Montalvo *et al*, 2006).

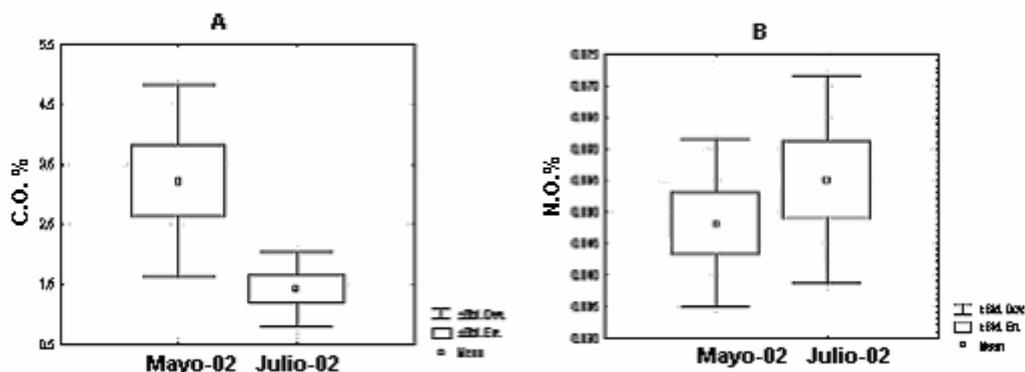


Figura 5 Concentraciones promedio \pm la desviación estándar de carbón orgánico (A) y nitrógeno orgánico (B) en los sedimentos superficiales de la bahía de Santa Clara en los muestreos realizados en mayo de 2002 y julio de 2005.

El consumo de permanganato por los sedimentos, representado por la DQO fluctuó entre 1,32 y 5,87 mgO_2/g . El valor mínimo se encontró en el punto de muestreo 19, en mayo de 2002. La variabilidad del parámetro fue elevada, y los tenores del fueron superiores en el muestreo realizado en julio del 2005, con un valor medio de $4,22 \pm 1,51 \text{ mgO}_2/\text{g}$, además, se encontraron diferencias significativas entre los muestreos ($F_{(13,23)} > F_{(4,28)}$, g.l. =6:6, $\alpha = 0,05$). Entre la DQO y el sulfuro de hidrógeno existe una correlación inversa ($r = -0,74$).

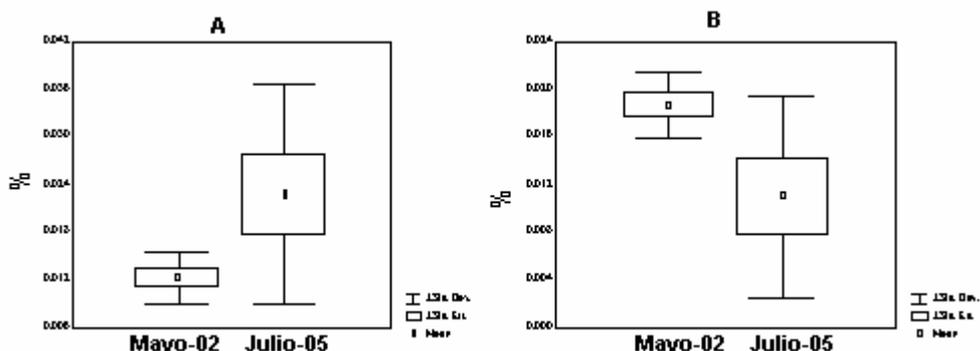


Figura 6 Concentraciones promedio \pm la desviación estándar de fósforo inorgánico (A) y fósforo orgánico (B) en los sedimentos superficiales de la bahía de Santa Clara los muestreos realizados en mayo de 2002 y julio de 2005.

Se determinó la presencia de sulfuro de hidrógeno libre en todos los puntos acumulando cantidades entre 4,66 y 41,72 mM/m^2 , la mayor abundancia de este nocivo compuesto fue en el muestreo realizado en mayo de 2002 y los puntos más cercanos al cordón de cayos que constituyen el límite Noreste de la bahía son los que poseen mayor disponibilidad del gas (Fig. 4). No existe una correspondencia entre los contenidos de este gas y la proporción de carbón orgánico en sedimento, pero se encontró una estrecha relación entre el mismo y las cantidades de carbonato sedimentado ($r = 0,62$).

Los fondos poseen cantidades apreciables de carbonatos, los valores extremos aparecen en la Tabla 3, el valor mínimo se encontró en el punto de muestreo 16 en julio de 2005 y el máximo (53,3%) correspondió al punto 19 en el muestreo hecho en mayo de 2002. Aunque el análisis de varianza indica que no hubo diferencias significativas entre los muestreos ($F_{(1,29)} < F_{(4,28)}$, g.l. =6:6, $\alpha = 0,05$), los contenidos mayores se registraron en mayo de 2002 con una concentración promedio de $48,9 \pm 4,6\%$; en el último muestreo el contenido promedio fue $42,4 \pm 4,1 \%$, este pequeño decrecimiento coincide con la disminución de la proporción de carbón orgánico en sedimento.

Las relaciones entre los componentes orgánicos en los sedimentos de esta bahía tuvieron un comportamiento similar a la bahía de Cárdenas. Los valores superiores de la relación C/P

ocurrieron en julio de 2005 (Tabla 4), en el punto 14 se encontró el valor extremo de esta razón. Otra locación con una elevada relación (1689,8) fue la 18, este punto tuvo en el primer muestreo la relación tuvo un alto monto (674,4), aunque el máximo de 757,8 correspondió a la estación 15.

El déficit de nitrógeno orgánico en los sedimentos de la bahía se evidencia en los valores de la relación C/N, siendo más acentuado en el primer muestreo con un valor promedio más de dos veces superior al de julio de 2005 (Tabla 4), los mínimos por cruceros se encontraron en los puntos de muestreo 18 y 19, y los máximos correspondieron a las locaciones 18 en el primer muestreo y 16 en julio de 2005.

La relación N/P tuvo muy bajos valores en mayo de 2002 y el máximo puntual (109,8) fue en el punto de muestreo 19 en julio del 2005. Como se planteó en párrafos anteriores hubo un decrecimiento de los contenidos de fósforo en los sedimentos de la bahía en julio de 2005, influyendo en el crecimiento de esta relación.

Tabla 4 Valores promedio, mediana, mínimos, máximos, primer cuartil, tercer cuartil y desviación estándar de las relaciones carbón orgánico-fósforo orgánico (C/P), carbón orgánico-nitrógeno orgánico (C/N) y nitrógeno orgánico-fósforo orgánico (N/P) en los sedimentos superficiales de la bahía de Santa Clara en mayo de 2002 y julio de 2005.

	Mayo- 2002			Julio-2005		
	C/P	C/N	N/P	C/P	C/N	N/P
Promedio	444,5	82,6	5,8	713,9	34,8	30,7
Mediana	469,2	71,1	5,8	395,8	29,9	12,8
Máximo	757,8	180,1	9,4	1784,0	79,0	109,8
Mínimo	132,8	26,6	3,6	105,1	15,4	3,6
Cuartil-1	291,8	51,1	4,7	247,4	16,7	7,9
Cuartil-3	584,2	99,0	6,3	1108,8	42,8	36,4
S	224,1	52,0	1,9	712,0	24,0	39,8

DISCUSIÓN.

La materia orgánica existente en los sedimentos de la bahía de Cárdenas se origina a partir de fuentes autóctonas como son el fitoplancton, fitobento y periférica, la de origen terrestre aportada por los ríos y la generada por las actividades antrópicas que se desarrollan en sus márgenes; respecto a la bahía de Santa Clara, la materia orgánica en los fondos es fundamentalmente de origen autóctono. La acumulación de estos compuestos en los sedimento hacen que estos se tornen anóxicos. Las zonas costeras son regiones dinámicas, donde las fuentes principales las carbón nitrógeno y fósforo de son de origen terrestre y marino (Tappin, 2002 y Jia y Peng, 2003).

En ambas bahías los contenidos de carbón, nitrógeno y fósforo orgánico fueron superiores en las zonas cercanas a la línea de costa. Evidenciando que los fondos están más influenciados por el material terrígeno. El bajo potencial de nitrógeno en los sedimentos de la bahía de Santa Clara se asocian al tipo de materia orgánica que reciben, aportada por la vegetación periférica (manglares) y sumergida, y a la intensidad de los procesos de degradación de estos compuestos. Los procesos de degradación anaeróbica de la materia orgánica en sedimentos y en la interfase sedimento-agua muestra diferentes grados, primero las formas más reactivas (Nitrógeno total > Carbón orgánico > Fósforo orgánico) y por último los compuestos refractarios como la lignina, y que bajos valores de la relación C/N indican la presencia de materiales autigénicos en los sedimentos (Louchouart *et al.*, 1997).

Comparando estos sedimentos con los de otros ecosistemas costeros los contenidos de carbón y fósforo orgánico sedimentados son inferiores a los consignados por Holmboe *et al.* (2001) para un Bosque de manglar en Tailandia, Koch *et al.* (2001) en el Noreste de la bahía de la Florida (USA) Cotner *et al.* (2004) en una laguna costera y similares a los registrados por Jennerjahn *et al.* (2004) para un estuario muy influenciado por las actividades.

El potencial considerable de fósforo inorgánico y orgánico en los sedimentos de las bahías objeto de estudio, está en función de los procesos de adsorción, precipitación y liberación desde los sedimentos carbonatados. Otras bahías de Archipiélago Sabana-Camagüey a diferencia de las bahías de Cárdenas y Santa Clara poseen una mayor reserva de fósforo en sedimento, con concentraciones más de dos veces superiores, a pesar de tener similares

contenidos de carbonatos (Montalvo *et al.*, 2006). Otros autores también han obtenido resultados similares como es el caso de Koch *et al.* (2001), quienes indican que los ecosistemas costeros tropicales y subtropicales tienen sedimentos propiamente dominados por carbonato de calcio, a diferencia de los sedimentos de regiones templadas donde predominan el silicato y las arcillas, y las reacciones de mayor peso que controlan las transformaciones del fósforo en los primeros están relacionadas con el equilibrio químico del carbonato y no con los procesos redox.

La mayor presencia de carbonatos en la zona E de ambos cuerpos de agua, muestra que la misma tiene una mayor influencia oceánica, con menores contenidos de carbón y nitrógeno orgánico y más riqueza de fósforo inorgánico en sedimentos que las porciones W. En el caso de la bahía de Cárdenas esta área es la que recibe de forma directa la influencia antropogénica. Los sedimentos de la bahía de Cárdenas se caracterizan por un predominio de la textura arenosa –fangosa y fangosa con un relativo potencial de carbón orgánico y escaso nitrógeno orgánico (Arencibia *et al.*, 1992). Perigó *et al.* (2004) indican que las zonas más contaminadas por materia orgánica son las ensenadas de Siguapa, Siguanea, las aledañas a la ciudad de igual nombre y las que reciben las aguas del canal de San Roque, todas ubicadas en la parte W de la bahía.

No se encontró una clara correspondencia entre el consumo de oxidante químico por los sedimentos y los contenidos de carbón orgánico. Esto pudo deberse a la presencia en los mismos de compuestos de origen lignulítico, que aportan cantidades considerables de carbón orgánico con cierto grado de refractabilidad a las oxidaciones químicas. La entrada de nutrientes y sedimento a la zona costera y los ciclos biogeoquímicos se han visto muy alterados en las últimas décadas a escala global por las modificaciones hechas en la misma como consecuencia de las actividades humanas (Jennerjahn *et al.*, 2004).

La presencia más significativa de sulfuro de hidrógeno libre en los sedimentos fue en las locaciones y en la época de mayor contenido de carbón orgánico y fósforo orgánico, revelando que la producción de sulfuro de hidrógeno está asociada con los procesos de degradación anaeróbica de la materia orgánica sedimentada. En sedimentos costeros el 49 % de la oxidación del carbón orgánico es por medio de los procesos de reducción del sulfato Holmer (1999). El acrecentamiento de la materia orgánica en los sedimentos estimula el incremento de las tasas de reducción de sulfato y el contenido de sulfuro en los sedimentos (Cotner *et al.*, 2004).

Los valores de la relación C/P y C/N son propios de sedimentos que reciben materia orgánica cuyo origen fundamental son las plantas vasculares y la de origen alóctono con bajo contenido de nitrógeno y una alta proporción de celulosa y lignina. Aunque en ambos muestreos la escasez de nitrógeno orgánico es común la relación N/P en la etapa de lluvias de 2005, fue casi dos veces mayor a la encontrada en el período final de la época de seca del 2002, atribuida a una menor adsorción de fósforo por los sedimentos como consecuencia de la disminución de los contenidos de carbonatos. Elevados valores de las relaciones C/P y C/N son típicos de sedimentos marinos que reciben contribuciones sustanciales de materia orgánica cuyo origen son las plantas vasculares y no el fitoplancton (Yamamuro *et al.* 2000). Wafar *et al.* (1997) y Holmboe *et al.* (2001) concluyen que los sedimentos que reciben material detrítico del manglar y pastos marinos se caracterizan por tener un alto contenido de carbón orgánico (aportado por la celulosa) y bajo contenido de nitrógeno, con elevados valores de las relaciones C:N y C:P.

CONCLUSIONES.

Los sedimentos de las bahías de Cárdenas y Santa Clara, se caracterizan por tener contenidos apreciables de carbón orgánico y fósforo, y bajas concentraciones de nitrógeno, evidenciando que la fuente principal de materia orgánica en los mismos es la vegetación periférica y acuática, rica en carbono y pobre en nitrógeno.

En estos ecosistemas los tenores de carbonatos son altos, la mayor riqueza corresponde a la bahía de Santa Clara, sobre todo en los puntos más alejados de la línea de costa.

Los montos de sulfuro de hidrógeno en ambas bahías no difieren mucho, siendo más abundante en la etapa de seca y no se correlaciona de forma directa con los contenidos de carbón orgánico y consumo de oxidante químico.

BIBLIOGRAFÍA.

- APHA, WPCF, AWWA. 1992. *Standard Methods for the examination of waters and wastewaters*. Ed., Washington. 1134 pp.
- Arencibia, G.; C. Carrodegua y T. Romero .1992. Contaminación por metales pesados en los sedimentos de la Bahía de Cárdenas. *Ciencias Marinas*. 18 pp.167-180
- Cotner, J. B., W. Michael, M. W. Suplee, N. W. Chen y D. E. Shormann. 2004. Nutrient, sulfur and carbon dynamics in a hypersaline lagoon. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 59 pp. 639-652
- Dowgialo, A. 1984. Simplified photometric methods of determination of ammonia and Kjeldahl nitrogen in biological material. *Pol. Achh. Hydrobiol.* 31 pp. 317-339
- FAO .1975. Manual of Methods in Aquatic Environmental Research part-1. Methods for detection and monitoring of water pollution. *FAO Fish. Tech. Paper.137.* 237pp.
- Guerra, R. 1997^a. Geoquímica de los carbonatos y del carbono orgánico en los sedimentos recientes del Archipiélago Sabana – Camagüey. IV Congreso de Ciencias del Mar. Marcuba' 97 Palacio de las Convenciones, Ciudad de la Habana, Cuba. 16-19 de septiembre de 1997. pp. 145.
- Holmboe, N., E. Kristensen y F. Ø. Andersen .2001. Anoxic decomposition from a tropical mangrove forest and temperate Wadden Sea: implications of N and addition experiments. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 53. pp.125-140
- Holmer, M. 1999. The effect of oxygen depletion and anaerobic organic matter degradation in marine sediments. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 48. pp. 383-390
- Hopkinson, C. S., A. E. Giblin, J. Tucker y R. H. Garritt. 1999. Benthic metabolism and nutrient cycling along an estuarine salinity gradient. *Estuaries*.22 pp. 863-881
- Jackson, M. L. 1970. *Análisis químico de suelos*. /La Habana/ Editora Revolucionaria, Instituto del Libro. 662 pp.
- Jennerjahn, T. C., V. Ittekkot, S. Klöpffer, S. Adi., S. P.Nugroho, N. Sudiana, A.Yusmal Prihartanto, y B. Gaye-Haake .2004. Biogeochemistry of a tropical river affected by human activities in its catchment: Brantas River estuary and coastal waters of Madura Strait, Java, Indonesia. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 60 pp. 503-514
- Jia, G. D. y P. A., Peng. 2003. Temporal and spatial variations in signatures of sedimented organic matter in Lingding Bay (Pearl estuary), southern China. *Marine Chemistry*. 82 pp. 47-54
- Koch, M. S., R. E. Benz y D. T. Rudnick. 2001. Solid-phase phosphorus pools in highly organic carbonate sediments of northeastern Florida Bay. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 52. pp. 279-291
- Louchouart, P., M. Lucotte, R. Canuel, J. P.Gagné, y L. F. Richard. 1997. Sources and early diagenesis of lignin and bulk organic matter in the sediments of the Lower St. Lawrence Estuary and the Seguenay Fjord. *Marine Chemistry*. 58 pp. 3-26
- Mackin, J. E. y K. T. Swider. 1989. Organic matter decomposition pathways and oxygen consumption in coastal marine sediments. *Journal of Marine Research*. 47 pp. 681-716
- Martínez-Canals, M.; R. Pérez, A. Rodríguez y Y. Lorente. 1998. Nivel de contaminación metálica de los sedimentos de fondo de algunas zonas de la plataforma insular cubana. *Contribución a la educación y la protección ambiental*. pp. 65-69
- Miyajima, T., I. Koike, H. Yamano, y H. Lizumi .1998. Accumulation and transport of seagrass-derived organic matter in reef flat sediment of Green Island, Great Barrier Reef. *Marine Ecology Progress Series*. Vol. 175 pp.251-259
- Montalvo, J. F., I. García, y E. Perigó. 2003. Composición química de los sedimentos asociados a los arrecifes coralinos del Archipiélago Sabana- Camagüey. *Contribución a la Educación y la Protección Ambiental*. 4 pp. 321-330
- Nielsen, E. B. y M. L. Delaney .2005. Factors influencing the biogeochemistry of sedimentary carbon and phosphorus in the Sacramento-San Joaquin Delta. *Estuaries*. 28 pp. 653-663
- Perigó, E., J. F. Montalvo, M. Cano, C.Martínez, A. Niévares, y D. M. Pérez .2004. Principales fuentes contaminantes en la ecorregión norcentral de Cuba (Archipiélago Sabana – Camagüey). Impactos y respuestas. *Contribución a la Educación y la Protección Ambiental*. 5 pp.14- 26.
- Revsbech, N. P., J. Sørensen, T. H. Balckburn, y J. P. Lomholt.1980. Distribution of oxygen in marine sediments measured with microelectrodes. *Limnology and Oceanography*. 2 pp. 403-411
- Tappin, A. D. 2002. An examination of the fluxes of nitrogen and phosphorus in temperate and tropical estuaries: current estimates and uncertainties. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 55 pp. 885-901.

- Wafer, Y. S.; N. F. Y. Tam y C. Y. Lam .1997. Litter fall and energy flux in a mangrove ecosystem. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 44 pp. 111-124
- Yamamuro, M. 2000. Chemical tracers of sediment organic matter origins in two coastal lagoons. *Journal of Marine Systems*. 26 pp.127-134