

Calidad química del agua y sedimento en las bahías del archipiélago Sabana-Camagüey

Chemical Quality of Water and Sediment in the Bays of Sabana-Camagüey Archipiélago

MSc. José Francisco Montalvo-Estévez¹, Lic. Ileana de los Ángeles García-Ramil¹, MSc. Eusebio Perigó-Arnaud¹, MSc. Oralís Catalina Alburquerque-Brook¹, MSc. Norma García-García¹¹ 
montalvo@oceano.inf.cu

¹Instituto de Oceanología CITMA, La Habana, Cuba; ¹¹Centro de Estudios Ambientales de Villa Clara, Santa Clara, Cuba

● Resúmen

Se analizó la calidad química del agua y sedimento, en algunas bahías del Archipiélago Sabana-Camagüey (ASC), a partir de la información existente entre los años 1976 y 2011. En las bahías Santa Clara Oeste, Santa Clara Este, Puerto de Sagua y Los Perros, hubo subsaturaciones de oxígeno en la época de lluvias. La naturaleza de la materia orgánica fue poco compleja, prevaleciendo valores de DBO₅ y DQO mayores a 2 mg · L⁻¹. Las concentraciones más comunes de amonio estuvieron entre 2 y 5 μmol · L⁻¹, y el nitrógeno orgánico representó el 90 % del nitrógeno total. El fósforo en agua fue poco abundante, comportándose como nutriente limitante para los productores primarios. Los sedimentos se caracterizaron por tener cantidades apreciables de carbón orgánico y un bajo contenido de nitrógeno orgánico, y la afectación por metales pesados se manifestó en las bahías de Cárdenas, San Juan de los Remedios, Buenavista y Los Perros.

Palabras clave: bahía, materia orgánica, nitrógeno, fósforo y calidad.

● Abstract

The chemical quality of water and sediment was analyzed in some bays of Sabana-Camaguey Archipelago (SCA). This analysis was done using the existing information that covers from 1976 to 2011. In the rainy one there was oxygen sub-saturation in the bays of West Santa Clara, East Santa Clara, Puerto de Sagua and Los Perros. The nature of organic matter was quite complex and BOD₅ and COD values greater than 2 mg · L⁻¹ prevailed. The ammonia concentrations were between 2 and 5 μmol · L⁻¹, and organic nitrogen represented 90 % of total nitrogen. Phosphorus in water was not very abundant, it acted as limiting nutrient for primary producers. Sediments were characterized by significant amounts of organic carbon and low content of organic nitrogen. The bays of Cardenas, San Juan de los Remedios, Buenavista and Los Perros, were impacts of heavy metals.

Keywords: bay, organic matter, nitrogen, phosphorus and quality.

● Introducción

La denominada zona "D" o plataforma marina cubana nororiental, archipiélago Sabana-Camagüey (ASC) es en la actualidad la región de la plataforma marina cubana más estudiada. Las investigaciones abióticas sistemáticas comenzaron en la década del 70 del siglo pasado. Lluís-Riera realizó el primer estudio ordenado de algunos factores físicos y químicos que permitieron caracterizar las bahías de Cárdenas, Puerto de Sagua la Grande y San Juan de los Remedios y el borde exterior de la cayería /1/. Entre los años 1988 y 1990, se estudiaron los cayos Sabinal, Guajaba, Romano, Guillermo, Coco, Paredón Grande, Francés, Cobos, Las Brujas, Ensenachos y Santa María del ASC. Estas investigaciones se nombraron "Estudios de los grupos insulares y zonas litorales del archipiélago cubano con fines turísticos" /2-4/.

Las investigaciones más integrales de esta zona se realizaron dentro de los marcos de los proyectos GEF/PNUD CUB/98/G31 (Protección de la biodiversidad y desarrollo sostenible en el ecosistema

Sabana-Camagüey) y GEF/PNUD CUB/98/G32 (Acciones prioritarias para consolidar la protección de la biodiversidad en el ecosistema Sabana-Camagüey), los resultados de estas investigaciones fueron publicados por /5, 6/. En la actualidad se ejecuta el proyecto GEF/PNUD CUB/98/G32 (Potenciar y sostener la conservación de la biodiversidad en tres sectores productivos).

El objetivo de este trabajo fue analizar las tendencias de calidad química del agua y sedimento, en las bahías del ASC, Cárdenas, Santa Clara Oeste, Santa Clara Este, Puerto de Sagua la Grande, San Juan de los Remedios, Buenavista, Los Perros, Jigüey, La Gloria y Nuevitas, a partir de la información existente entre los años 1976 y 2011.

● Materiales y métodos

Las bahías estudiadas en la etapa comprendida entre 1976 y 2011 fueron Cárdenas, Santa Clara Oeste (SCO), Santa Clara Este (SCE), Puerto de Sagua la Grande (PSG), San Juan de los Remedios (SJR), Buenavista, Los Perros, Jigüey, La Gloria y Nuevitas (figura 1).

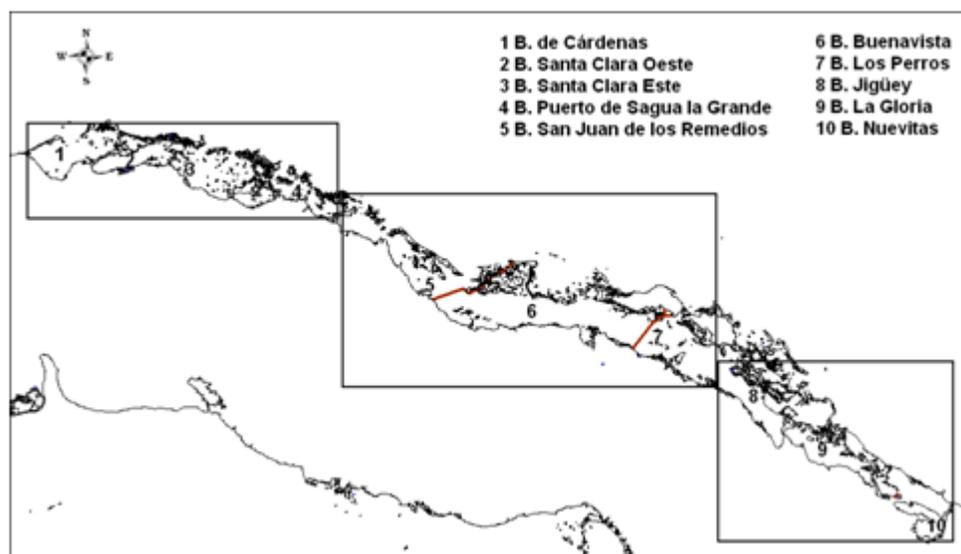


Fig. 1 Bahías de la plataforma marina cubana nororiental (archipiélago Sabana-Camagüey) objeto de estudio entre los años 1976 y 2011.

Para el análisis de las características químicas de las aguas y sedimentos de la zona marino costera cubana se emplearon las bases de datos de las campañas oceanográficas llevadas a cabo por el Instituto de Oceanología y el Centro de Investigaciones Pesqueras entre 1976 y 2011.

Los parámetros evaluados fueron oxígeno disuelto OD, demanda bioquímica de oxígeno DBO_5 , demanda química de oxígeno DQO, nitratos + nitrito NO_x , amonio NH_4 , nitrógeno total NT, fósforo inorgánico PO_4 y fósforo total PT en agua, carbón orgánico CO, nitrógeno orgánico NO y metales pesados en sedimentos. Se calculó la saturación de oxígeno SO y el uso del oxígeno aparente UOA por diferencia entre la concentración de saturación de oxígeno y la concentración de oxígeno medida /7/. Los métodos analíticos empleados se recogen en los informes y publicaciones de /1, 8-13/.

● Resultados y discusión

Las concentraciones promedio de oxígeno disuelto en todos los casos fueron superiores a $5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ (figura 2). El 86 % de las mediciones oscilaron entre

6 y $8 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, los valores inferiores a $5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, constituyeron el 10 % de las observaciones y las concentraciones $> 10 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ fueron poco usuales. Las saturaciones de oxígeno (SO), más comunes, fluctuaron entre 100 y 126 %, aunque en SCE y PSG los valores medios fueron inferiores a 100 % (figura 2), y entre 1991 y 1997 se reportaron subsaturaciones de oxígeno en la mayoría de las bahías del ASC, destacándose en esta etapa Los Perros con 82 % de saturación de oxígeno /8/.

También se encontró un acentuado déficit de oxígeno en la zona cercana al canal San Mateo en la época de lluvias de 1995, debido a la elevada carga orgánica que vierte el canal de San Mateo que conduce a un consumo de gas hasta niveles muy bajos de subsaturación /14/. En las bahías Cárdenas, SCO, PSG y Los Perros, fue notable el uso del oxígeno aparente en la época de lluvias, asociado a los procesos de remineralización de la materia orgánica en agua y sedimento, con valores de $9,23 \pm 11,26 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ en Cárdenas, $12,20 \pm 8,09 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ en SCO, $19,05 \pm 12,36 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ en PSG y $18,25 \pm 19,30 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ en Los Perros.

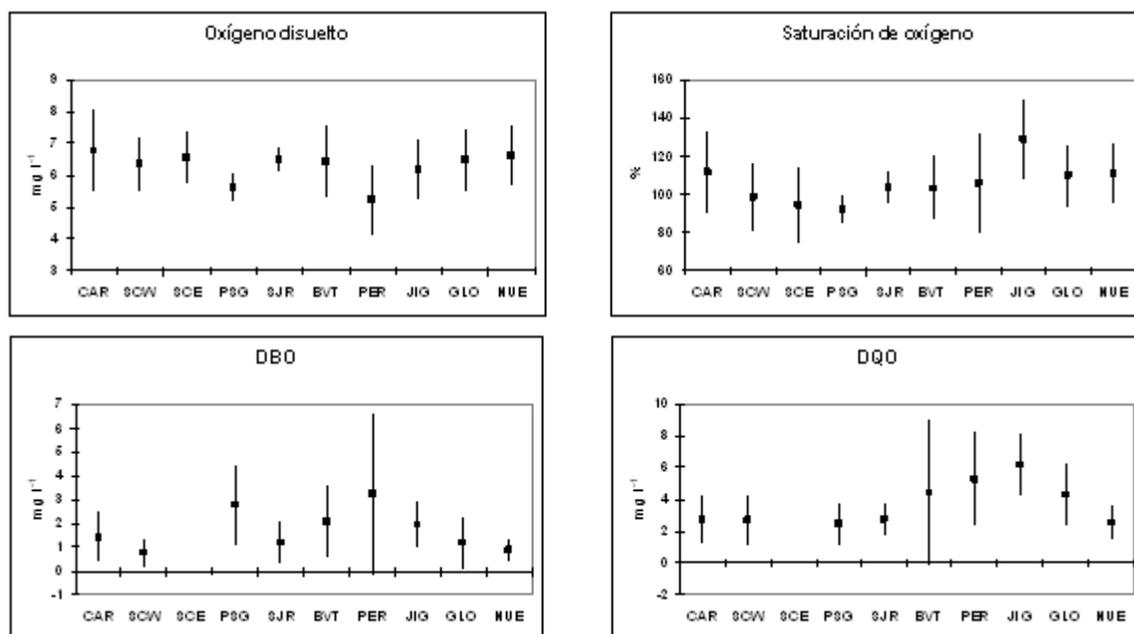


Fig. 2 Valores promedio y promedio \pm desviación estándar de oxígeno disuelto y saturación de oxígeno, demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y demanda química de oxígeno (DQO), en las bahías del archipiélago Sabana-Camagüey, Cárdenas CAR, Santa Clara Oeste SCW, Santa Clara Este SCE, Puerto de Sagua la Grande PSG, San Juan de los Remedios SJR, Buenavista BVT, Los Perros PER, Jigüey JIG, La Gloria GLO y Nuevitas NUE.

La materia orgánica en la columna de agua, de naturaleza fácilmente biodegradable, evaluada por medio de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5), fue más abundante en las bahías PSG, Buenavista y Los Perros, con valores promedio mayores a $2 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ (figura 2). Los aportes antropogénicos en el caso de Los Perros fueron insignificantes, por tanto la misma es de origen autóctono. En la bahía de Cárdenas el máximo puntual ($5,75 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$) se midió en un área poco influenciada por las actividades antropogénicas, lo que evidenció una alta actividad fotosintética.

En general, los tenores de DBO_5 más comunes en las bahías, estuvieron entre $1,0$ y $2,5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ y según los límites establecidos por la norma cubana de calidad de agua marina para uso pesquero /15/, correspondieron a agua marina de dudosa y mala calidad para actividades pesqueras. Sin embargo, en cuerpos de agua de circulación restringida es común encontrar concentraciones de materia orgánica de naturaleza biodegradable superiores a estos valores, sin que pongan en peligro la vida acuática, debido a las altas tensiones de oxígeno disuelto existentes. En lagunas costeras, estuarios y ensenadas de Cuba se han hallado valores de DBO_5 de hasta $10 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, unidos a sobresaturaciones de oxígeno /16-18/.

Hubo un predominio de valores de la demanda química de oxígeno (DQO) cercanos y/o superiores a $3 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, los mayores contenidos se midieron en las bahías Buenavista y Jigüey (figura 2), en la primera los aportes antropogénicos fueron notables en el sector costero, entre la desembocadura del río Guaní y Punta Alegre, con valores de DQO entre 10 y $30 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ /18-19/. De adoptarse el valor ($DQO > 2 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$), establecido por la norma de calidad ambiental para agua marina de Japón /20/, las bahías del ASC estarían contaminadas por materia orgánica, y la realidad indica que la mayoría de las bahías no lo están.

No obstante, en cuerpos de agua marina de circulación restringida, sin y con influencia antropogénica, son usuales altos contenidos de materia orgánica biodegradable y de lenta biodegradabilidad, que tienen como fuentes la producción primaria y la aportada por la vegetación periférica, registrándose valores de DQO superiores a $3 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ /10, 16, 17, 21,

22/. La zona costera cercana a los asentamientos humanos e industrias de las bahías Cárdenas, PSG, SJR, Buenavista y el área cercana a Punta Tarafa en Nuevitas, son receptoras de aguas residuales de variada naturaleza /23-24/, aunque los montos de DQO fueron inferiores a los reportados para estuarios muy contaminados por materia orgánica, como el del río Agabama /17/ y la bahía de La Habana, donde hubo valores de $DQO \geq 100 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ /25/.

Si se tiene en cuenta los grandes volúmenes de estas bahías, la carga orgánica antropogénica que reciben afecta poco la calidad del agua, como consecuencia de la dilución que experimenta. La naturaleza de la materia orgánica en estas bahías fue poco compleja con estimados de la relación DBO_5/DQO entre 1:1 y 1:3. Entre los años 2001 y 2005 el grado de biodegradabilidad de la materia orgánica tuvo un valor promedio de 75 % /11/.

El amonio, fue la forma predominante de nitrógeno inorgánico en todas las bahías. Las concentraciones fueron desde no detectables ($<0,05 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$) hasta $27,75 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$. Si se tiene en cuenta el valor estipulado por /15/, prevalecieron contenidos propios de agua marina de calidad dudosa ($>0,03 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ [$>2,14 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$]) y mala calidad para uso pesquero ($>0,050 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ [$>3,57 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$]), aunque la actividad pesquera en estas bahías es grande. Por tanto, dicha norma no se ajusta a la realidad de estos cuerpos de agua marina, pues en los mismos hay una gran cantidad de materia orgánica nitrogenada susceptible a ser remineralizada.

Hubo una tendencia al incremento de las concentraciones de amonio de oeste a este, concordando con el incremento de la salinidad. Las concentraciones de amonio en las bahías Buenavista, Los Perros, Jigüey y La Gloria (figura 3), superaron el límite fijado por /15/, para agua marina de mala calidad, y fueron mayores a los reportados para Bahía Honda, con un máximo puntual de $4,60 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ /26/, y cercanas a las encontradas en la bahía de Mariel con valores que oscilaron entre $8,80$ y $15,06 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ /27/. No obstante, en ecosistemas hipersalinizados estas resultan normales, debido a que las altas salinidades favorecen los procesos de amonificación sobre los de nitrificación /28/.

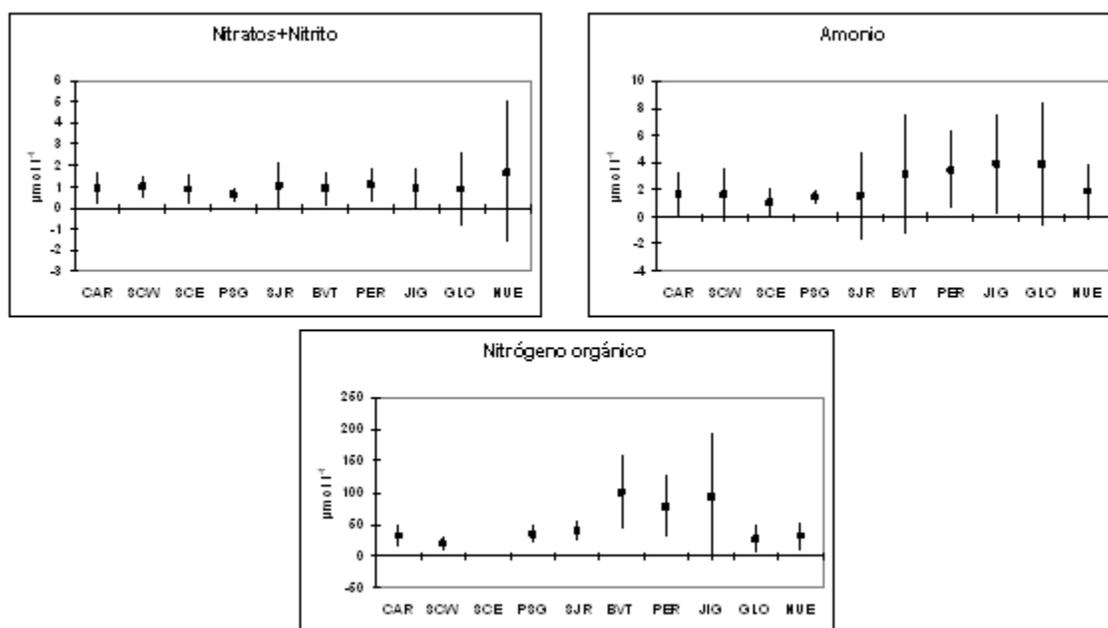


Fig. 3 Concentraciones promedio y promedio \pm desviación estándar de nitratos más nitrito, amonio y nitrógeno orgánico, en las bahías del Archipiélago Sabana-Camagüey, Cárdenas CAR, Santa Clara Oeste SCW, Santa Clara Este SCE, Puerto de Sagua la Grande PSG, San Juan de los Remedios SJR, Buenavista BVT, Los Perros PER, Jigüey JIG, La Gloria GLO y Nuevitas NUE.

En lagunas costeras hipersalinas de Tunas de Zaza las concentraciones medias de amonio fueron superiores a $9 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$, con valores puntuales $> 20 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ /29-30/. Una elevada salinidad, asociada con largos tiempos de la residencia de las aguas, puede aumentar los procesos de reducción de nitratos a amonio, y también llevaría aparejado una disminución de pérdida neta de nitrógeno /31/.

El bajo contenido de las formas oxidadas de nitrógeno inorgánico (nitratos más nitrito), pudo deberse a un alto consumo por el fitoplancton, una baja tasa de nitrificación y marcados procesos de desnitrificación, esto último puede favorecer la proliferación de especies fijadoras de N_2 disuelto. En la bahía Jigüey prevalecieron los procesos de fijación de nitrógeno sobre los de desnitrificación, comportamiento influenciado por las altas salinidades, que favorecieron el desarrollo de organismos fijadores de nitrógeno, capaces de vivir en condiciones ambientales extremas como las cianobacterias /32/.

El nitrógeno orgánico fue la fracción mayoritaria del nitrógeno total en agua, concentraciones típicas de agua marina muy enriquecida en esta forma de

nitrógeno se encontraron en las bahías Buenavista, Los Perros y Jigüey (figura 3). El predominio de la fracción orgánica de nitrógeno sobre la inorgánica, indicó que prevalecieron los procesos de biosíntesis de compuestos organonitrogenados sobre la remineralización de los mismos, los altos contenidos en estas tres bahías, se asocian a una gran autotrofia unida en el caso de Buenavista a los aportes de aguas residuales domésticas e industriales. Las áreas urbanas y agrícolas ubicadas en la zona costera aportan al mar montos considerables de nitrógeno y fósforo, estos se incrementan constantemente y a mediados de siglo contribuirán con el 15 % del nitrógeno antropogénico que llega al mar /33/.

Las concentraciones más comunes de nitrógeno total en los cuerpos de agua estudiados del ASC, se encontraron entre 30 y $60 \mu\text{mol} \cdot \text{l}^{-1}$, valores que corresponden a agua marina contaminada por nitrógeno, de acuerdo a los niveles establecidos por algunos sistemas normativos de calidad de agua marina /34, 35/. Los criterios vertidos por estas normas foráneas no deben ser utilizados en evaluación de cuerpos de aguas costeros de circulación restringida como los del ASC, que se caracterizan por un alto tiempo de residencia de las aguas, elevadas

temperaturas del agua y un acentuado carácter hipersalino, factores que pueden incidir en una gran tasa de biosíntesis y acumulación de materia orgánica. En las lagunas costeras de Tunas de Zaza y en los estuarios de los ríos Alabama y Las Casas se han reportado concentraciones de nitrógeno total cercanas y/o superiores a $100 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ /17, 36, 37/.

El bajo contenido de fósforo inorgánico en la mayoría de las bahías se asoció al escaso desarrollo de la red fluvial en la zona, a un elevado consumo por los productores primarios y a pérdidas por precipitación sobre los sedimentos, como consecuencia de la fotosíntesis. El ciclo del fósforo comienza por los aportes fluviales en áreas costeras que por intercambio mareal pasan al océano, la concentración es controlada por factores biológicos, físicos y químicos, y la principal fuente de fosfato a las zonas costeras proviene de las descargas de los ríos /38-39/. Los sedimentos carbonatados en las zonas tropicales poseen una gran habilidad para adsorber y almacenar fósforo /40, 41/. Las mayores concentraciones de fósforo inorgánico y total, así como la más alta variabilidad se encontraron en la bahía de Buenavista (figura 4). Los tenores más

representativos de fósforo inorgánico estuvieron entre $0,10$ y $0,25 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$. No obstante, estos fueron inferiores a los reportados para estuarios y bahías receptoras de residuales domésticos, agrícolas e industriales, donde se han encontrado valores de fosfato entre $0,5$ y $2 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ /17, 26, 27, 37/. De acuerdo al criterio establecido por la norma /15/, el contenido de fósforo inorgánico debe ser inferior a $0,05 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ($1,61 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$) para agua de mar con buena calidad para uso pesquero, el umbral fijado es muy superior al de los montos más comunes en las bahías del ASC, donde las concentraciones $> 1,5 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$, constituyeron menos del 1 % de las mediciones, por tanto los rangos establecidos por dicha norma no se ajustan a la realidad de esta zona de la plataforma marina cubana.

Los umbrales y máximos para indicadores obligatorios y complementarios en agua decretados por la norma cubana /15/, que permiten clasificar a los cuerpos de agua marina como idóneos para la pesca, no tienen una estrecha relación con los que predominan en nuestros mares, siendo necesaria una revisión de estos para adecuarlos a nuestra realidad /10, 42/.

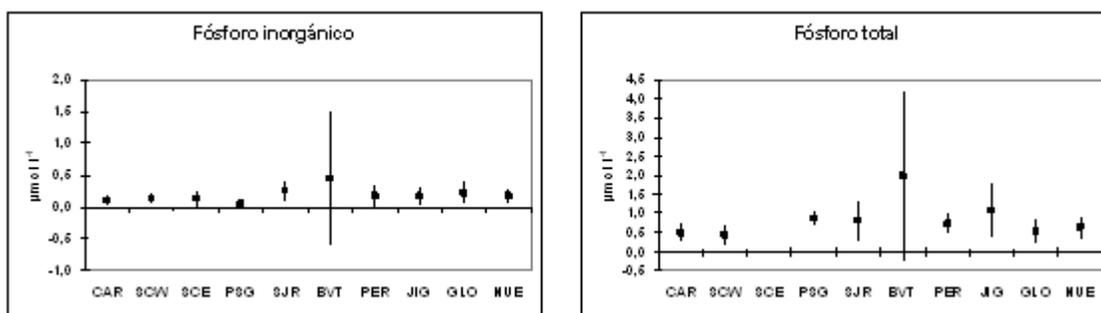


Fig. 4 Concentraciones promedio y promedio \pm desviación estándar de fósforo inorgánico y fósforo total, en las bahías del Archipiélago Sabana-Camagüey, Cárdenas CAR, Santa Clara Oeste SCW, Santa Clara Este SCE, Puerto de Sagua la Grande PSG, San Juan de los Remedios SJR, Buenavista BVT, Los Perros PER, Jigüey JIG, La Gloria GLO y Nuevitás NUE.

Concentraciones típicas de fósforo total superiores a $1 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$, se encontraron en algunos sectores de las bahías Puerto de Sagua la Grande, San Juan de los Remedios (cercanía a Caibarién), Buenavista (porción entre el río Guaní y Punta Alegre), Los Perros y Jigüey; en estas últimas atribuido a la escasa circulación del agua que permite que se acumulen cantidades considerables de compuestos biógenos. Cuando funcionaba la

fábrica de levadura torula en la zona costera de la bahía de Buenavista (Ensenada de Carbó), se encontraron valores de fósforo total del orden de $12 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$, de ahí la gran variabilidad del parámetro en la bahía (figura 4).

El análisis estadístico de las concentraciones de fósforo total en el ASC, arrojó que las más representativas fluctuaron entre $0,50$ y $1,00 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$.

Los contenidos de fósforo total en las bahías fueron inferiores a los reportados para estuarios y bahías sometidas a mayores impactos antropogénicos, como los de los ríos Agabama y Las Casas, y las bahías de Mariel y Bahía Honda, cuerpos de agua donde las concentraciones más comunes fueron cercanas y/o mayores a $2 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ /17, 37, 26, 27/.

En la mayoría de las bahías estudiadas las relaciones N/P y NT/PT fueron superiores a 16:1, lo que indica que el fósforo fue restrictivo para los productores primarios, excepto en la bahía de San Juan de los Remedios. El análisis de estas relaciones

en otras zonas de la plataforma marina cubana y en el ASC hasta el año 2005, arrojó que el fósforo es deficitario en las aguas costeras del país /43, 44/.

Los sedimentos de los cuerpos de agua interiores del ASC, se caracterizaron por tener un considerable potencial de carbón orgánico y bajos contenidos de nitrógeno orgánico. En la figura 5, se muestran los valores promedio y la desviación estándar de carbón orgánico y nitrógeno orgánico en los sedimentos de las bahías, el carbón orgánico tuvo una gran variabilidad en todas las bahías a diferencia del nitrógeno orgánico.

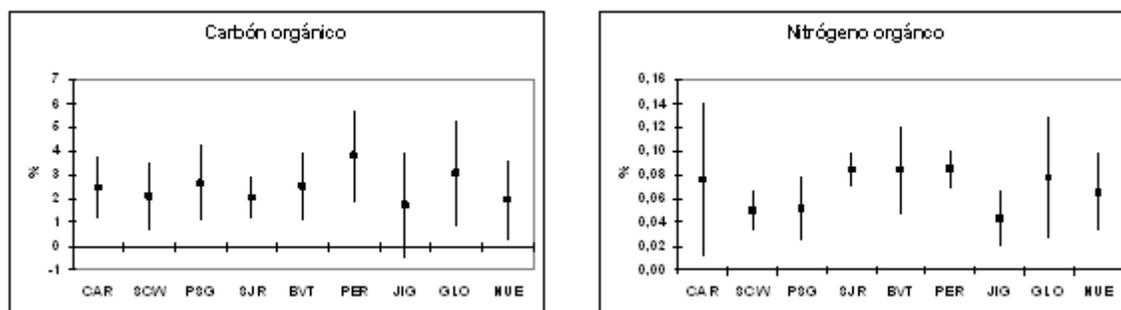


Fig. 5 Concentraciones promedio y promedio \pm desviación estándar de carbón orgánico y nitrógeno orgánico, en las bahías del Archipiélago Sabana-Camagüey, Cárdenas CAR, Santa Clara Oeste SCW, Puerto de Sagua la Grande PSG, San Juan de los Remedios SJR, Buenavista BVT, Los Perros PER, Jigüey JIG, La Gloria GLO y Nuevitas NUE.

Las concentraciones más comunes de carbón orgánico en los sedimentos estuvieron entre 2 y 3 %, estas fueron inferiores al umbral de 4 %, establecido por la norma /15/ para clasificar los sedimentos marinos de buena calidad para uso pesquero, los montos mayores a este límite inferior fueron poco frecuentes y constituyeron el 5 % de las mediciones, encontrándose solo en algunos sectores de las bahías de Cárdenas, Puerto de Sagua la Grande, Buenavista, Jigüey y La Gloria.

Las concentraciones más comunes de nitrógeno orgánico en sedimento estuvieron entre 0,06 y 0,13 %, los sedimentos con mayor riqueza en este tipo de compuestos fueron los de las bahías de San Juan de los Remedios, Buenavista y Los Perros (figura 5), con contenidos medios del orden de 0,08 %. En otras zonas de la plataforma marina de Cuba las concentraciones son superiores, sobre todo en áreas cercanas a la desembocadura de los ríos y esteros,

donde se han encontrado valores $> 0,3 \%$ /10/. Si se tuviera en cuenta los niveles establecidos por /15/, todos caen dentro de la categoría de buena calidad, aunque en algunos sectores de las bahías de Cárdenas, Buenavista y La Gloria la calidad sería dudosa (0,2 a 0,3 %). La fuente principal de materia orgánica en estos cuerpos de agua es la vegetación periférica y sumergida, rica en carbono y pobre en nitrógeno, y los altos valores de la relación C/N, fueron propios de sedimentos que reciben materia orgánica cuyo origen fundamental son las plantas vasculares y las de origen alóctono con bajo contenido de nitrógeno y una alta proporción de celulosa y lignina /45/.

Los índices de calidad metálica en los sedimentos reflejaron la existencia de áreas afectadas en las bahías de San Juan de los Remedios, Buenavista y Los Perros /9, 46/. En la bahía de Cárdenas la contaminación de los sedimentos por metales pesados fue notificada por /47/, y estos autores plantearon que

en las zonas de mayor contaminación por materia orgánica y metales pesados hubo un menor desarrollo de los pastos marinos o ausencia de los mismos.

Los cuerpos de aguas con mayor afectación de la calidad del agua y del sedimento como consecuencia de las acciones antropogénicas fueron las bahías de Buenavista, PSG, SJR, Los Perros y Cárdenas. Aunque en la bahía Los Perros no se observaron síntomas de hipoxia, los valores de DBO_5 , DQO, amonio y fósforo total indicaron que la misma está sometida a un proceso de eutrofización natural, asociado a una alta producción primaria y el poco intercambio entre la bahía con el mar abierto.

Las bahías de SCO, Jigüey y La Gloria no son receptoras de grandes volúmenes de residuales, no obstante sufren un proceso de eutrofización natural con valores de materia orgánica (DBO_5 y DQO) típicos de agua marina enriquecida en compuestos orgánicos y nutrientes de origen autóctono. Estas bahías se caracterizan por tener un escaso intercambio con el mar abierto y altos tiempos de residencia de las aguas /32, 48, 49/.

En la bahía PSG, el área próxima a la desembocadura del río Sagua la Grande posee aguas y sedimentos de muy mala calidad, al ser receptora de la carga contaminante transportada por el río más contaminado del ASC/11, 18, 23, 24/. No obstante, en otros estudios realizados en la bahía los valores de los nutrientes obtenidos fueron comparables con los hallados en otras bahías consideradas no afectadas desde el punto de vista de la eutrofización o al menos con afectaciones locales (bahía de Puerto Padre y Nuevitas) e inferiores a la bahía de La Habana en los últimos años /50/.

En la bahía de Buenavista, la porción costera entre el río Guaní y Punta Alegre fue la más deteriorada, de acuerdo a los elevados valores de materia orgánica en agua y sedimento, y nutrientes /11, 19, 20/. A esta zona llegan residuales industriales, agrícolas y domésticos crudos en la mayoría de los casos, a través de los ríos y canales que desembocan en la bahía o son vertidos de forma directa, antes del cierre de la fábrica de levadura torula que vertía sus residuales en la Ensenada de Carbó, se encontraron condiciones de hipoxia, con montos de oxígeno disuelto

inferiores a $2 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ /19/. La calidad de esta ensenada mejoró al dejar de funcionar la fábrica de levadura torula /11/.



Conclusiones

1. Hubo una tendencia a la sobresaturación de oxígeno en las aguas de las bahías, aunque en zonas cercanas a la isla de Cuba, en las bahías Santa Clara Oeste, Santa Clara Este, Puerto de Sagua la Grande y Los Perros, hubo subsaturaciones de oxígeno en la etapa de lluvias.

2. En las bahías de Santa Clara Oeste, Los Perros, Jigüey y La Gloria, la materia orgánica es fundamentalmente de origen autóctono, en las restantes bahías se agrega la alóctona por ser receptoras de aguas residuales con escaso o ningún tratamiento.

3. El amonio fue la principal fuente de nitrógeno inorgánico y los contenidos de nitrógeno orgánico evidenciaron el predominio de los procesos de biosíntesis. La escasez de fósforo en las bahías se relacionó con el escaso desarrollo de la red fluvial en el ASC, actuando como nutriente limitante para los productores primarios en la mayoría de las bahías.

4. Los sedimentos de las bahías, se caracterizaron por tener contenidos apreciables de carbón orgánico y bajas concentraciones de nitrógeno, lo que evidencia que la fuente principal de materia orgánica en las mismas es la vegetación periférica y sumergida, rica en carbono y pobre en nitrógeno, y hubo afectación por metales pesados en algunas áreas de las bahías de Cárdenas, San Juan de los Remedios, Buenavista y Los Perros.

5. Las bahías con mayor afectación de la calidad del agua y del sedimento como resultado de las actividades antropogénicas fueron Cárdenas, San Juan de los Remedios, Buenavista, Puerto de Sagua la Grande y Los Perros.

6. Los rangos establecidos por la NC-25:1999 para catalogar los cuerpos de agua marina como aptos para la pesca no guardaron ninguna relación con los que predominaron en los cuerpos

de agua interiores del ASC, por esta razón fue necesario realizar una revisión para ajustar los mismos a los valores más frecuentes de esta zona de la plataforma marina cubana.



Bibliografía

1. LLUIS RIERA, M. "Características físico químicas de la plataforma de Cuba y aguas oceánicas adyacentes". *Informacionni Bulletin*. Centro de coordinación del CAME para el problema mundial. Moscú, 1981, 15, p. 29-45.
2. ACC e ICGC (Academia de Ciencias de Cuba e Instituto Cubano de Geodesia y Cartografía). "Estudio de los grupos insulares y zonas litorales del archipiélago cubano con fines turísticos: Cayos Sabinal, Guajaba y Romano". La Habana: Editorial Científico-Técnica, 1990.
3. _____. "Estudio de los grupos insulares y zonas litorales del archipiélago cubano con fines turísticos: Cayos Guillermo, Coco y Paredón Grande". La Habana: Editorial Científico-Técnica, 1990.
4. _____. "Estudio de los grupos insulares y zonas litorales del archipiélago cubano con fines turísticos: Cayos Francés, Cobos, Las Brujas, Ensenachos y Santa María". La Habana: Editorial Científico-Técnica, 1990.
5. *Protección de la biodiversidad y desarrollo sostenible en el Ecosistema Sabana-Camagüey*. Alcolado, P. M.; E. E. García; N. Espinosa (eds.). Proyecto GAEF/PNUD Sabana-Camagüey CUB/92/G31. Madrid: CESYTA S.L, 1999.
6. ALCOLADO, P. M.; E. GARCÍA; D. M. ARELLANO ACOSTA. *Ecosistema Sabana-Camagüey. Estado actual, avances y desafíos en la protección y el uso sostenible de la biodiversidad*. La Habana: Editorial Academia, 2007, p. 7-8.
7. RILEY, J. P.; R. CHESTER. *Introducción a la química marina*. A. G. T. Editor S.A., 1989, 459 p.
8. PENIÉ RODRÍGUEZ, I.; I. A. GARCÍA RAMIL. "Hidroquímica y calidad ambiental del Archipiélago Sabana-Camagüey. Contribución a la Educación y Protección Ambiental". En: *IV Taller de la Cátedra de Medio Ambiente*. Instituto Superior de Ciencias y Tecnología Nucleares, 1998. P. 155-159.
9. MARTÍNEZ CANALS, M.; R. PÉREZ; A. RODRÍGUEZ; Y. LORENTE. "Niveles de contaminación metálica de los sedimentos de fondo de algunas zonas de la plataforma insular cubana. Contribución a la Educación y la Protección Ambiental". En: *IV Taller de la Cátedra de Medio Ambiente*. Instituto Superior de Ciencias y Tecnología Nucleares, 1998. P. 65-69.
10. MONTALVO, J. F.; E. PERIGÓ; M. MARTÍNEZ; R. PÉREZ. "Concentraciones más frecuentes de los parámetros químicos de calidad ambiental en la plataforma cubana". En: *VI Congreso de Ciencias del Mar. Marcuba 2003*, Trabajos completos, 2003
11. MONTALVO, J. F.; I. GARCÍA; S. LOZA; S. C. ESPONDA; M. E. CÉSAR; R. GONZÁLEZ DE ZAYA; L. HERNÁNDEZ. "Oxígeno disuelto y materia orgánica en cuerpos de agua interiores del Archipiélago Sabana-Camagüey, Cuba". *Serie Oceanológica*. 2008, 4, p. 71-84.
12. LOZA, S., y otros. *Informe final del proyecto Diagnóstico de la situación ambiental existente en la bahía de Jigüey (NE de Cuba) en relación con la problemática de intoxicación alimentaria de origen marino*. 2006. 43 p.
13. BETANZOS, A.; G. ARENCIBIA; G. DELGADO; R. NODAR. "Caracterización de la calidad del agua al norte de Villa Clara, Cuba, para definir zonas de cultivo del ostión de mangle (*Crassostrea rhizophorae*, Guilding, 1828)". *Revista de Ecotoxicología y Contaminación Ambiental* [en línea]. 2008, 1, p. 1-9. Disponible en Internet: <www.aae.org.ar>.
14. GUTIÉRREZ DELGADO, A. R.; D. LÓPEZ GARCÍA; L. FERNÁNDEZ VILA; V. GÓMEZ VALLADARES; M. BLANCO CONCEPCIÓN; R. BARBEITO RODRÍGUEZ. "Bahía de Santa Clara: características hidrológicas, hidroquímicas y calidad de las aguas. Contribución a la Educación y Protección Ambiental". En: *IV Taller de la Cátedra de Medio Ambiente*. Instituto Superior de Ciencias y Tecnología Nucleares, 1998. P. 170-174.
15. NORMA CUBANA, NC-25. *Hidrosfera. Especificaciones y procedimientos para la evaluación de los objetivos hídricos para uso pesquero*. 1999.
16. MONTALVO, J. F.; E. PERIGÓ. "Niveles de oxígeno disuelto y materia orgánica en lagunas costeras de las regiones central y oriental de Cuba. Contribución a la Educación y Protección Ambiental". En: *V Taller de la Cátedra de Medio Ambiente*. Instituto Superior de Ciencias y Tecnología Nucleares, 1999. P. 126-129.
17. PERIGÓ, E.; J. F. MONTALVO; I. A. GARCÍA. "Impacto ambiental en ecosistemas litorales del sur de la provincia de Sancti Spíritus (Cuba). Contribución a la Educación y Protección Ambiental". En: *V Taller de la Cátedra de Medio Ambiente*. Instituto Superior de Ciencias y Tecnología Nucleares, 1999. P. 130-135.
18. MONTALVO, J. F.; I. HERNÁNDEZ; E. PERIGÓ; M. CANO. "Calidad química de las aguas del sector sur central de la bahía de Buenavista, Sancti Spíritus, Cuba". *Revista Cubana de Investigaciones Pesqueras*. Edición especial, 2004, no. 1.
19. GARCÍA, N.; O. PUENTES; J. F. MONTALVO. "Contaminación orgánica en el sector de la bahía de Buenavista cercano a la desembocadura del río Guaní, Villa Clara, Cuba". *Revista Cubana de Química*. 2008, no. 20, p. 39-45.
20. *EQS. Environmental Quality Standards for Water Pollution* [en línea]. 2002. Disponible en Internet: <www.env.go.jp/en/lar/regulation/wp.html >.
21. MONTALVO, J. F.; E. PERIGÓ; J. ESPINOSA; I. A. GARCÍA. "Prospección de variables hidroquímicas de calidad ambiental en la zona litoral entre el río Hatiguanico y Majana, costa sur occidental de Cuba. Contribución a la Educación y Protección Ambiental". En: *VI Taller de la Cátedra de Medio Ambiente*. Instituto Superior de Ciencias y Tecnología Nucleares, 1, 2000. P. 130-135.
22. PERIGÓ, E. "Calidad Ambiental de un Estuario y Áreas Costeras Adyacentes del litoral sur de la provincia de Sancti

- Spiritus". Trabajo en Opción al grado de Master en Ciencias del Agua, 1997
23. MONTALVO, J. F.; M. MARTÍNEZ CANALS; E. PERIGÓ; O. PUENTE; N. GARCÍA GARCÍA. "Fuentes de contaminación de la zona costera de la provincia de Villa Clara, Cuba. Contribución a la Educación y Protección Ambiental". 2008, 8, p. 154-161.
 24. MONTALVO ESTÉVEZ, J. F.; E. PERIGÓ ARNAUD; M. MARTÍNEZ CANALS. *La contaminación marina. Ecosistema Sabana-Camagüey. Estado actual, avances y desafíos en la protección y el uso sostenible de la biodiversidad*. P. M. Alcolado, E. E. García y M. Arellano-Acosta (eds.). La Habana: Editorial Acaia, 2007, p. 79-83. ISBN: 978-959-270-093-2.
 25. GÓMEZ QUINTERO, M. J.; L. SHAVALINA; R. MEDEROS; E. PERIGÓ. *Oceanografía Química. Investigación y control de la contaminación marina en la Bahía de la Habana*. Proyecto CUB/80/001, PNUD-PNUMA-UNESCO, 1985, Vol. II Resultados.
 26. ESTRADA SANABRIA, V.; J. GANDARILLA; G. ROJAS CABREJA; D. MONROY POZO. "Bahía Honda: su contaminación por fuentes antrópicas y naturales. Contribución a la Educación y Protección Ambiental". En: *VII Taller de la Cátedra de Medio Ambiente*. Instituto Superior de Ciencias y Tecnología Nucleares, 2001. ISSN 959-7136-09-0.
 27. MANCEBO, H.; A. MARTÍN; R. REGADERA; J. BELTRÁN; M. RAMÍREZ; F. RUIZ; I. TORRES. "Calidad ambiental del ecosistema marino bahía de Mariel". En: *VI Congreso de Ciencias del Mar. Marcuba 2003*, Trabajos completos, 2003.
 28. COTNER, J. B.; M. W. SUPLEEA; N. W. CHENA; D. E. SHORMANNB. "Nutrient, Sulfur and Carbon Dynamics in a Hypersaline Lagoon". *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 2004, 59, p. 639-652.
 29. MONTALVO, J. F. "Caracterización química de los sedimentos superficiales de las bahías de Cárdenas y Santa Clara, Archipiélago Sabana-Camagüey, Cuba". *Serie Oceanológica*. 2006, 2, p. 23-33.
 30. MONTALVO, J. F.; E. PERIGÓ. "Compuestos de nitrógeno y fósforo y grado de eutrofización en lagunas costeras de Tunas de Zaza, Cuba. Contribución a la Educación y Protección Ambiental". En: *VI Taller de la Cátedra de Medio Ambiente*. Instituto Superior de Ciencias y Tecnología Nucleares, 2000.
 31. SOUZA, M. F. L.; B. KJERFVE; B. KNOPPERS; W. F. LANDIM DE SOUZA; R. N. DAMASCENO. "Nutrient Budgets and Trophic State in a Hypersaline Coastal Lagoon: Lagoa de Araruama, Brazil". *Estuarine Coastal and Shelf Science*. 2003, 57, p. 843-858.
 32. MONTALVO, J. F.; S. LOZA. "Flujos de materiales conservativos y no conservativos en la Bahía de Jigüey (Archipiélago Sabana-Camagüey, Cuba) y el océano". *Serie Oceanológica*. 2006, no. 2, p. 1-10.
 33. JANSSON, A.; J. COLDING. "Tradeoffs Between Environmental Goals and Urban Development: The Case of Nitrogen Load from the Stockholm County to the Baltic Sea". *Ambio*. 2007, 36, p. 650-656.
 34. SWEDISH EPA Environmental Quality Criteria. *Coast and Sea. Swdih Enviromental Protection Acy Report 5052*. Stockolm, Sweden: 2000. 138 p.
 35. USEPA. *Nutrient Criteria Technical Guidance Manual Estuarine and Coastal Marine Waters*. Washington. DC: Office of Water, Office of Science and Technology, 2001.
 36. MONTALVO, J. F.; E. PERIGÓ. "Compuestos de nitrógeno y fósforo y grado de eutrofización en lagunas costeras de Tunas de Zaza, Cuba. Contribución a la Educación y la Protección Ambiental". En: *VI Taller de la Cátedra de Medio Ambiente*, 2000, 1. P. 60 -64.
 37. PERIGÓ, E., y otros. "Flujos de compuestos de C, N y P entre el estuario del río Las Casas y el mar adyacente a su desembocadura. Contribución a la Educación y Protección Ambiental". En: *VII Taller de la Cátedra de Medio Ambiente*. Instituto Superior de Ciencias y Tecnología Nucleares, 2001.
 38. TAPPIN, A. D. "An Examination of the Fluxes of Nitrogen and Phosphorus in Temperate and Tropical Estuaries: Current Estimates and Uncertainties". *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 2002, 55, p. 885-901.
 39. LUDWING, W. *River Inputs to Southern European seas: Major Drivers for Ecosystem Changes During past and Future Decades*. 38th CIESM Congress Proceedings, 2007, no. 38, 29 p.
 40. CORREDOR, J. F.; R. W. HOWARTH; R. R. TWILLEY; J. M. MORELL. "Nitrogen Cycling and Anthropogenic Impact in the Tropical Interamerican Seas". *Biogeochemistry*. 1999, 46, p. 163-178.
 41. FRANKOWSKIA, L.; J. BOLAEKB; A. SZOSTEK. "Phosphorus in Bottom Sediments of Pomeranian Bay (Southern Baltic—Poland)". *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 2002, 54, p. 1027-1038.
 42. PERIGÓ, E.; J. F. MONTALVO; D. M. PÉREZ. "Valores más frecuentes y extremos de los parámetros químicos de calidad ambiental en ecosistemas costeros y aguas de la plataforma marina cubana. Contribución a la Educación y la Protección Ambiental". En: *IX Taller de la Cátedra de Medio Ambiente*. 2003, 4, p. 445-455.
 43. MONTALVO, J. F., y otros. "Compuestos de nitrógeno y fósforo en las aguas superficiales de tres zonas de la plataforma marina cubana". *Serie Oceanológica*. 2010, 7, p. 27-36.
 44. MONTALVO, J. F.; I. GARCÍA; S. LOZA; E. PERIGÓ; S. ESPONDA. "Compuestos de nitrógeno y fósforo en agua de algunas bahías del Archipiélago Sabana-Camagüey, Cuba" [en línea]. 2010. Disponible en Internet: <hol.handle.net/1834/3593>.
 45. MONTALVO, J. F. "Caracterización química de los sedimentos superficiales de las bahías de Cárdenas y Santa Clara, Archipiélago Sabana-Camagüey, Cuba". *Serie Oceanológica*. 2006, 2, p. 23-33. ISSN 2072-800.
 46. MARTÍNEZ CANALS, M., y otros. *Calidad ambiental de zonas marino-costeras de Cuba. Contribución a la Educación y Protección Ambiental*. 2008, 8, p. 269-285.
 47. ARENCIBIA, G.; C. CARRODEGUAS; T. ROMERO. "Contaminación por metales pesados en los sedimentos de la Bahía de Cárdenas". *Ciencias Marinas*. 1992, 18, p. 167-180.

48. MONTALVO, J. F.; I. GARCÍA; M. ALMEIDA; S. ESPONDA. "Flujos de agua, sal y materiales no conservativos en tres bahías (Cárdenas, Santa Clara Oeste y La Gloria) del Archipiélago Sabana-Camagüey y el mar abierto". *Serie oceanológica*. 2011, no. 9, p. 30-41.
49. CARMENATE, M., y otros. "Calidad ambiental de la bahía de Jigüey (NE de Cuba) y su relación con intoxicaciones alimentarias de origen marino". *Serie Oceanológica*. 2011, no. 9, p. 42-53.
50. GARCÍA FUENTES, O.; F. POTRILLÉ TITO; M. ROSABAL MARTÍNEZ. "Evaluación y control de la contaminación marina de bahía de Sagua la Grande. XIII Congreso Latinoamericano de Ciencias del Mar". En: *VIII Congreso de Ciencias del Mar. MarCuba*, Extensos, 2009.