



Evaluación del estado trófico de seis bahías interiores del Archipiélago Sabana-Camagüey, Cuba, mediante el empleo de clorofila-a como bioindicador

Assessment of the trophic state of six inner bays in Sabana-Camagüey Archipelago, Cuba, using chlorophyll-a as biomarker

Beatriz Álamo*, Sandra Loza*, Magalys Sánchez*, José F. Montalvo*, Ileana García*, Tania Reyes*, Mayelín Carmenate*

* Instituto de Oceanología. Ave. 1ra. # 18406 e/184 y 186. Rpto Flores. Playa. La Habana. Cuba.
e-mail: balamo@oceano.inf.cu

RESUMEN

El Archipiélago Sabana-Camagüey (ASC), ubicado en la región norcentral de Cuba, posee una gran importancia socioeconómica para la nación, debido a que constituye un reservorio de elevada diversidad biológica. Sin embargo, es un área sometida a una continua explotación antrópica que ha traído consigo, entre otras consecuencias, un creciente deterioro de los sistemas acuáticos de esta región. Es por ello que resulta necesario conocer el estado de conservación de estos ecosistemas, mediante la evaluación de la calidad ambiental de estas aguas. Se establecieron como objetivos la evaluación del estado trófico de seis bahías interiores del ecosistema Sabana-Camagüey mediante el empleo de la clorofila-a como bioindicador y demostrar la efectividad del índice multi-paramétrico TRIX. En general, las aguas de estas bahías presentaron en su mayoría un nivel trófico medio, siendo la bahía de Jigüey la de peores condiciones tróficas, con las mayores concentraciones de clorofila-a ($1556,814 \pm 930,718 \text{ cel.mL}^{-1}$) y nutrientes, comportamiento que responde a un proceso de eutrofización natural y al alto período de residencia de sus aguas. Las bahías menos comprometidas en cuanto a su estado trófico fueron las de San Juan de Los Remedios ($0,27 \pm 0,23 \text{ cel.mL}^{-1}$) y de Buenavista ($0,26 \pm 0,24 \text{ cel.mL}^{-1}$). Se recomienda el monitoreo sistemático de la calidad de las aguas del ASC que permita la detección de alertas tempranas y el establecimiento de medidas que contribuyan a prevenir y/o paliar el deterioro de las mismas y para favorecer su conservación.

ABSTRACT

Sabana- Camagüey Archipelago (SCA), located in the north central region of Cuba, has great economic and social importance for the nation, since it constitutes a reservoir of high biodiversity. However, it is an area subject to continuous anthropogenic exploitation that has brought about, among other consequences, a growing deterioration of aquatic systems in the region. Therefore, it is necessary to know the conservation state of these ecosystems, through the assessment of the environmental quality of their waters. The objectives of this work were to assess the trophic status of six inner bays in Sabana-Camagüey ecosystem using chlorophyll-a as biomarker, and to demonstrate the effectiveness of the multi-parametric TRIX index. In general, the waters of these bays mostly had a mean trophic level. Jigüey Bay showed the worst trophic conditions, with the highest concentrations of chlorophyll-a ($1556.814 \pm 930.718 \text{ cel.mL}^{-1}$) and nutrients. This behavior reflects a natural eutrophication process and responds to the high residence time of its water. The less compromised bays, as regards their trophic status, were San Juan de Los Remedios ($0.27 \pm 0.23 \text{ cel.mL}^{-1}$) and Buenavista ($0.26 \pm 0.24 \text{ cel.mL}^{-1}$). It is recommended a systematic water quality monitoring in SCA that enables the detection of early warnings and the establishment of measures to help prevent and / or mitigate the deterioration of this ecosystem, and to encourage its preservation.

Palabras claves: Archipiélago Sabana-Camagüey, clorofila-a, bioindicador, estado trófico, bahías.

Keywords: Sabana-Camagüey Archipelago, chlorophyll-a, biomarker, trophic state, bays.

INTRODUCCIÓN

La zona costera de la isla de Cuba y en particular el Archipiélago Sabana-Camagüey (ASC) tienen una gran importancia en los procesos biogeográficos relacionados con la diversidad biológica en el Gran Caribe septentrional y, por lo tanto, en las acciones de conservación y uso sostenible de los recursos naturales regionales (Alcolado *et al.*, 2007). Por otra parte, es un área sometida y amenazada a un proceso de desarrollo que incluye la pesca, el turismo, además de otras actividades económicas en las cuencas hidrográficas asociadas (Alcolado *et al.*, 2007).

Entre los múltiples indicadores biológicos que se emplean para desarrollar escalas que permitan clasificar los diferentes cuerpos de agua y determinar el estado trófico de los ecosistemas marinos y costeros, resultan particularmente útiles los análisis del fitoplancton, debido a la rapidez y magnitud de su respuesta a las variaciones ambientales (Regadera, 2006, Gómez *et al.*, 2001, Moreira *et al.*, 2007) y la clorofila-a por constituir el primer receptor de la energía disponible para ser transferida a través de la trama trófica de los ecosistemas (Sakshaug, 1980).

En el ASC, la información referida a los pigmentos fotosintéticos de la comunidad fitoplanctónica es escasa, y se concentran en las zonas de Caibarién, Puerto Jobabo, Cayo de la Enfermería, Cárdenas y La Isabela (Kabánova & López-Baluja, 1973; Castro, 1974; Borrero *et al.*, 1981). En la bahía de Jigüey se encuentran los estudios realizados por Popowski, *et al.* (1985), Loza *et al.* (2006) y por Carmenate *et al.* (2011), los que presentan un enfoque más abarcador sin llegar a profundizar en el análisis de la clorofila-a como bioindicador del estado trófico de este ecosistema. Sin embargo, en las restantes bahías interiores del archipiélago (Nuevitas, La Gloria, Los Perros, Buenavista y San Juan de los Remedios) no existen estudios relacionados con este tema.

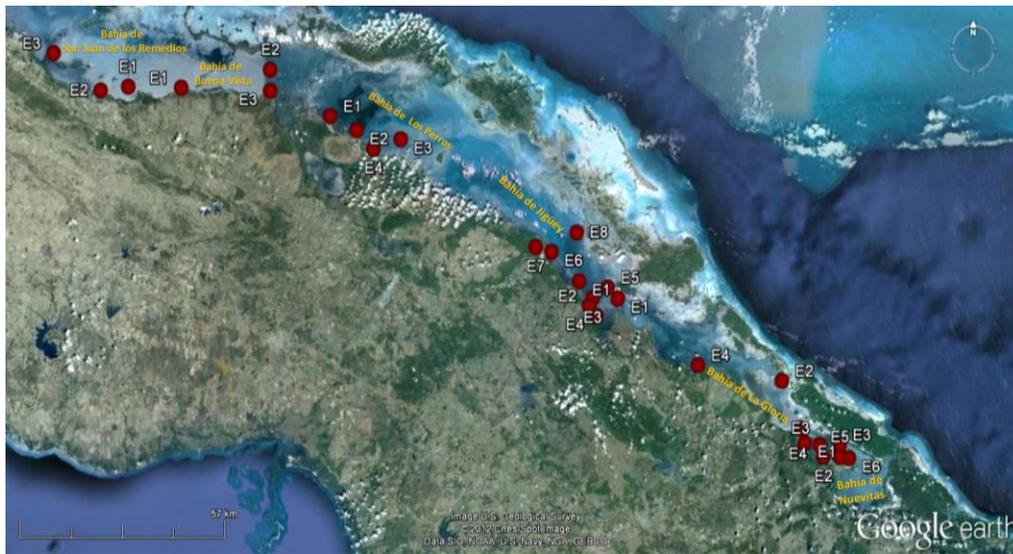
El presente trabajo tiene como objetivos evaluar el estado trófico de seis bahías interiores del ecosistema Sabana-Camagüey mediante el empleo de la clorofila-a como bioindicador y demostrar la efectividad del índice multi-paramétrico TRIX.

MATERIALES Y MÉTODOS

El Archipiélago Sabana – Camagüey está ubicado en la parte norcentral de Cuba, entre Punta de Hicacos (al oeste) y la Bahía de Nuevitas (al este), con una extensión de aproximadamente 465 km y abarca cinco provincias, Matanzas, Villa Clara, Sancti Spíritus, Ciego de Ávila y Camagüey (Alcolado *et al.*, 2007). En este archipiélago se encuentran las bahías interiores de Cárdenas, Santa Clara, Carahatas, San Juan de los Remedios, Buenavista, Los Perros, Jigüey, La Gloria y Nuevitas.

El muestreo se realizó en seis bahías interiores del ASC (San Juan de los Remedios, Buenavista, Los Perros, Jigüey, La Gloria y Nuevitas) (Fig. 1), con diferentes características geomorfológicas e hidrográficas, algunas de las cuales presentan estructuras ingenieriles que han producido cambios importantes en su régimen hidrológico (Alcolado *et al.*, 1999). El periodo de muestreo abarca los meses de septiembre y octubre del 2011, ambos pertenecientes al periodo lluvioso, temporada que favorece el incremento de las concentraciones de fitoplancton.

Se muestrearon un total de 27 estaciones distribuidas en las diferentes bahías (Fig. 1) teniendo en cuenta las características hidrográficas, las zonas con posible vulnerabilidad de aportes de nutrientes y/o contaminantes, así como la existencia de barreras físicas que puedan afectar la hidrodinámica natural de estos acuatorios.



*(Fuente: Data SIO, NOAA, U.S. Navy, NGA, GEBCO)

Figura 1. Archipiélago Sabana – Camagüey situado en la región norcentral de Cuba. Localidades de Muestreo.

Figure 1. Sabana-Camagüey Archipelago located in the north central region of Cuba. Sampling Locations.

Para la cuantificación de la clorofila-a y los feopigmentos se tomaron muestras de un litro de agua a nivel sub-superficial y la filtración se realizó según la metodología propuesta por Miravet *et al.* (2009). La extracción de los pigmentos se realizó por maceración de los filtros con acetona al 90% dejándose luego en reposo, en refrigeración y a la oscuridad, por 24 horas, según APHA (1998). Posteriormente, los extractos se centrifugaron y las lecturas de la absorbancia se realizaron en un espectrofotómetro, a las longitudes de onda establecidas por SCOR-UNESCO (1980). Para el cálculo de la concentración de clorofila-a y de la feofitina se emplearon las ecuaciones propuestas en dicho método.

La estructura de la comunidad fitoplanctónica se determinó mediante los análisis cualitativo y cuantitativo de la comunidad. Para esta evaluación se emplearon muestras de fitoplancton de red y de botella. Las muestras se colectaron en el nivel subsuperficial, mediante arrastres con una red de 50 cm de diámetro y 125 μm de abertura de malla, las que se fijaron con formol al 4 % y con botellas de 1 L de capacidad, fijadas con lugol ácido. En el laboratorio las muestras de red y de botella fueron procesadas según la metodología propuesta por Miravet *et al.* (2009).

Se determinaron los siguientes parámetros físico-químicos: Oxígeno Disuelto (OD), Nitrógeno Total (NT) y Fósforo Total (PT), los cuales fueron procesados por el laboratorio de análisis químico del Instituto de Oceanología y evaluados mediante la metodología establecida en FAO (1975), IOC-UNESCO (1993) y APHA (1992).

Para evaluar el estado trófico de las aguas se emplearon diferentes índices para fortalecer el criterio de la evaluación. Se empleó la escala establecida por Contreras *et al.* (1994) que utiliza las concentraciones de clorofila-a y el Índice de Estado Trófico (TRIX) de Vollenweider *et al.* (1998), donde se tiene en cuenta, además de las concentraciones de clorofila-a, varios parámetros abióticos tales como: Oxígeno Disuelto (OD) y los nutrientes, Nitrógeno Total (NT) y Fósforo Total (PT). Para la clasificación del estado del agua se empleó el criterio de Penna *et al.* (2004)

Se aplicó un análisis de clasificación numérica (clusters) a las bahías, empleando las concentraciones de las principales variables hidroquímicas (Demanda Química de Oxígeno (DQO), Oxígeno Disuelto (OD), Nitrógeno Total (NT), Fósforo Total (PT), Fósforo (PO_4), Amonio (NH_4), Nitrógeno Inorgánico (NO_2+NO_3), PH, Temperatura, Salinidad y Feofitina) junto a la clorofila-a, usando como criterio de similitud la Distancia Euclidiana y el promedio de grupo no ponderado (UPGMA) como método de agrupamiento y se efectuó un análisis de componentes principales (PCA), con los datos de las diferentes variables físicos químicas y las concentraciones de clorofila-a. En todos los casos se empleó el programa Statistica 7.0 (STATSOFT, Inc., 2004).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los valores de clorofila-a presentaron diferencias aunque no significativas entre de las seis bahías analizadas (Fig. 2). La bahía de Jigüey presentó las mayores concentraciones de clorofila-a ($10,93 \pm 14,83 \text{ mg.m}^{-3}$) mientras que las bahías de San Juan de Los Remedios ($0,27 \pm 0,23 \text{ cel.mL}^{-1}$) y de Buenavista ($0,26 \pm 0,24 \text{ cel.mL}^{-1}$) presentaron los menores valores. Los elevados valores de clorofila-a determinados en la bahía de Jigüey se corresponden con las elevadas concentraciones de fitoplancton encontradas en esta bahía ($1556,814 \pm 930,718 \times 10^3 \text{ cel.mL}^{-1}$) (Fig. 3), resultados que se corresponden con lo planteado por Carmenate *et al.* (2011) acerca de que esta bahía presenta condiciones eutróficas de acuerdo a la concentración fitoplanctónica. Sin embargo, se debe resaltar que la bahía que destaca en cuanto a la densidad fitoplanctónica es la de Los Perros.

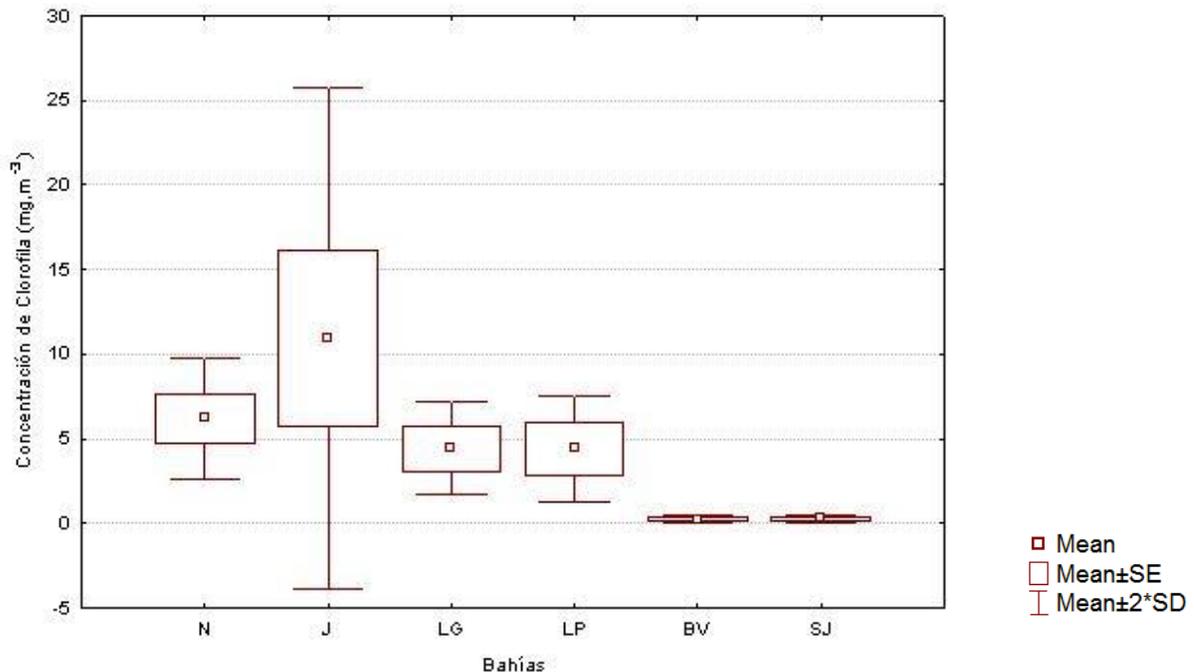


Figura 2. Concentración media de clorofila-a por bahías. N: Bahía de Nuevitas, J: Bahía de Jigüey, LG: Bahía de La Gloria, LP: Bahía de Los Perros, BV: Bahía de Buenavista, SJ: Bahía de San Juan de Los Remedios (F: 1,09, $\alpha < 0.0001^{***}$).

Figure 2. Average chlorophyll-a concentration per bay. N: Nuevitas Bay, J: Jigüey Bay, LG: La Gloria Bay, LP: Los Perros Bay, BV: Buenavista Bay, SJ: San Juan de Los Remedios Bay (F: 1, 09, $\alpha < 0.0001^{***}$).

Estos valores de densidad fitoplanctónica encontrados en la bahía de Jigüey resultan similares a los encontrados en bahías como la de La Habana (Regadera *et al.*, 2006) y Santiago de Cuba (Gómez *et al.*, 2007), caracterizadas como las más contaminadas del país y resultan superiores a los encontrados en las bahías de Matanzas, Cárdenas, Mariel y Puerto Padre, por Reyes (2008); así como a los mostrados por Seisdedo *et al.* (2010) en la bahía de Cienfuegos.

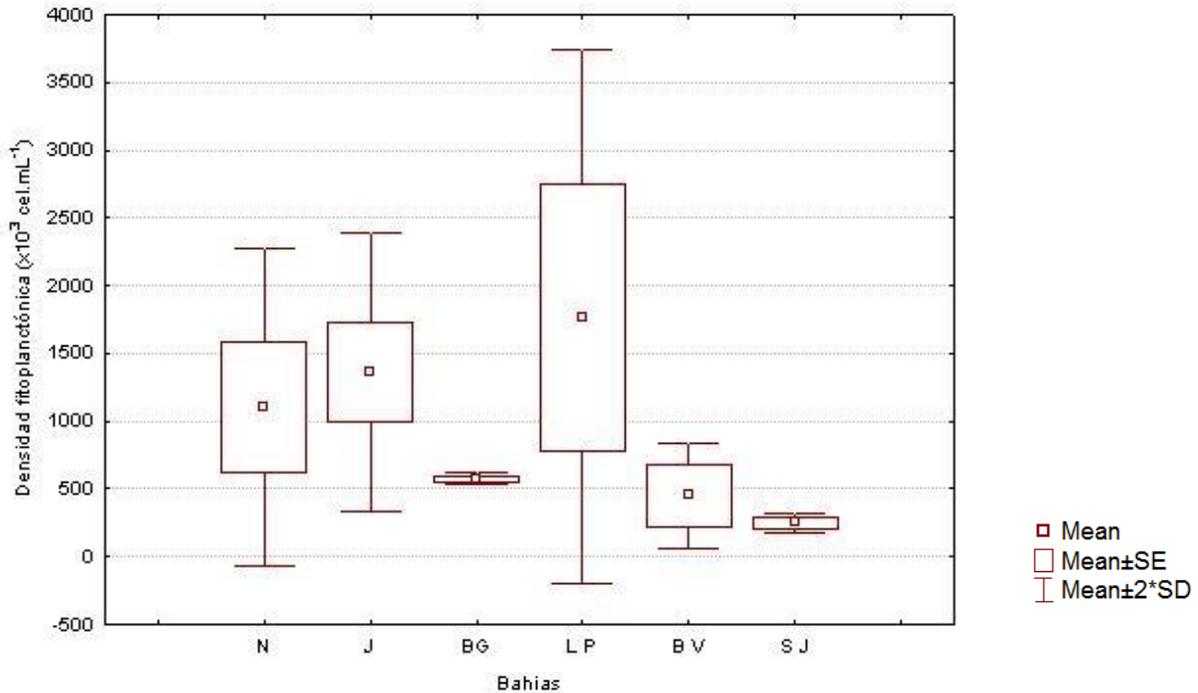


Figura 3. Concentración fitoplanctónica por bahías. N: Bahía de Nuevitas, J: Bahía de Jigüey, LG: Bahía de La Gloria, LP: Bahía de Los Perros, BV: Bahía de Buenavista, SJ: Bahía de San Juan de Los Remedios.

Figure 3. Phytoplankton concentration per bay. N: Nuevitas Bay, J: Jigüey Bay, LG: La Gloria Bay, LP: Los Perros Bay, BV: Buenavista Bay, SJ: San Juan de Los Remedios Bay.

El análisis de estado trófico de las seis bahías interiores del ASC, a partir de los índices de Contreras *et al.* (1994) y de Vollenweider *et al.* (1998) muestra diferencias en cuanto a las condiciones tróficas de estos ecosistemas. Según el índice propuesto por Contreras *et al.* (1994), las bahías de Nuevitas, Jigüey, La Gloria y Los Perros clasifican como mesotróficas, mientras las bahías de Buenavista y de San Juan de los Remedios, presentan condiciones oligotróficas (Tabla 1, Fig. 4). Sin embargo, según el índice TRIX (Vollenweider *et al.*, 1998), la bahía de Jigüey destaca como el acuatorio de mayor nivel trófico, con aguas entre moderada y altamente productivas, cuya calidad clasifica como mala. Por su parte, las bahías de Nuevitas, La Gloria y Los Perros se encuentran en un nivel trófico medio, y las aguas de Buenavista y San Juan de los Remedios clasifican en un nivel trófico bajo, lo que pone de manifiesto una mejor calidad de sus aguas al presentar características entre pobres y moderadamente productivas (Tabla 1).

Tabla 1. Escalas de clasificación de Estado Trófico según la clorofila-a (Chl-a).

Table 1. Levels of Trophic State according to chlorophyll-a (Chl-a).

Bahías	Chl-a (mg.m ⁻³)	Contreras <i>et al.</i> (1994)	TRIX	Clasificación
Nuevitas	6,2	Mesotróficas	4,5	Nivel trófico medio
Jigüey	10,9	Mesotróficas	5,1	Nivel trófico alto
La Gloria	4,4	Mesotróficas	4,3	Nivel trófico medio
Los Perros	4,4	Mesotróficas	4,9	Nivel trófico medio
Buenavista	0,3	Oligotróficas	3,7	Nivel trófico bajo
San Juan de los Remedios	0,3	Oligotróficas	3,2	Nivel trófico bajo



Figura 4. Estado trófico de las bahías de San Juan de los Remedios, Buenavista, de Los Perros, de Jigüey, de La Gloria y de Nuevitas, mediante el índice TRIX.

Figure 4. Trophic state of the bays of Nuevitas, Jigüey, La Gloria, Los Perros, Buenavista and San Juan de Los Remedios, by applying TRIX index.

En general, las bahías de Jigüey, La Gloria, Los Perros y Nuevitas presentan un estado trófico superior, con respecto a las bahías de Buenavista y de San Juan de los Remedios; lo que pudiera estar relacionado con una mayor concentración de fitoplancton favorecida por un enriquecimiento de nutrientes (Tabla 2). Si bien es conocido que en el ASC, en décadas pasadas, tuvo lugar un cambio de uso de la tierra asociado a la eliminación de la actividad azucarera de la zona, lo que debió traer aparejado una disminución de los aportes de residuales industriales y el mejoramiento de las condiciones ambientales de estos acuatorios (Alcolado *et al.*, 2007), resulta importante destacar, que la existencia de barreras físicas en algunas de estas bahías han alterado el régimen dinámico, además de que presentan una sensible disminución del intercambio con las aguas oceánicas adyacentes por la solvatación de los canales de entrada y salida entre los cayos, todo lo cual favorece el incremento de la salinidad y la permanencia de los nutrientes aportados por las escorrentías y los originados de manera autóctona por la descomposición de la materia orgánica (Loza *et al.*, 2006; Montalvo *et al.*,

2007; Carmenate *et al.*, 2011). Por otra parte, la bahía de Nuevitas se encuentra impactada por diferentes tipos de actividades industriales existentes en la zona portuaria que contribuyen al enriquecimiento de nutrientes.

Las diferencias encontradas en la aplicación de estos dos índices, pone de manifiesto la conveniencia de emplear en la evaluación del estado trófico de los ecosistemas, índices que tengan en cuenta varios parámetros, como el TRIX. No obstante, el índice de Contreras *et al.* (1994) puede ser utilizado para la clasificación de los niveles tróficos de determinados ecosistemas marinos, pero no se recomienda para ser empleado en comparaciones de estado trófico entre diferentes zonas ya que, al emplear un solo indicador, tiende a homogenizar la evaluación.

Según Reyes (2008), los resultados obtenidos con la aplicación del índice de estado trófico TRIX para las bahías La Habana, Mariel, Matanzas, Cárdenas y Puerto Padre, están en correspondencia con lo determinado por las metodologías aplicadas hasta el momento, con la excepción del caso de la bahía de Matanzas, cuyas aguas fueron clasificadas entre oligotróficas y mesotróficas por Tur *et al.* (2000).

En aguas oligotróficas el ecosistema se encuentra en una tasa de utilización de nutrientes de máxima respuesta (Caperon *et al.*, 1971); en esta situación un incremento en los niveles de nutrientes es balanceado, de inicio, con cambios en la tasa de asimilación por el fitoplancton sin que aumente significativamente su abundancia. Por este motivo es posible que, en cierto momento, las concentraciones de fitoplancton y clorofila-*a* no sean muy altas pero sí exista una concentración apreciable de nutrientes, y el índice TRIX toma en cuenta tanto las concentraciones de clorofila-*a* como de nutrientes.

El agrupamiento de las bahías a partir de las concentraciones de clorofila-*a* y las variables hidroquímicas, muestra que la bahía de Jigüey es la que más difiere del resto de las bahías evaluadas (Fig. 5) lo que se corresponde con los mayores valores de clorofila-*a* ($10,93 \text{ mg.m}^{-3}$), de la DQO ($7,21 \pm 1,30 \text{ mg.L}^{-1}$), de la relación NT/PT (11,65) y de salinidad ($73,88 \pm 5,00$ ups) hallados en dicha bahía (Tabla 2).

Estas características ambientales que la distinguen del resto de las bahías se corresponden con lo informado por Loza *et al.* (2006); Alcolado *et al.* (2007) y Carmenate *et al.* (2011) con relación a las condiciones naturales que presenta este acuatorio, que se magnifican por el efecto antrópico de las construcciones ingenieriles, y propician un enriquecimiento autóctono con elevados valores de nutrientes, materia orgánica y salinidad, así como elevadas concentraciones de fitoplancton.

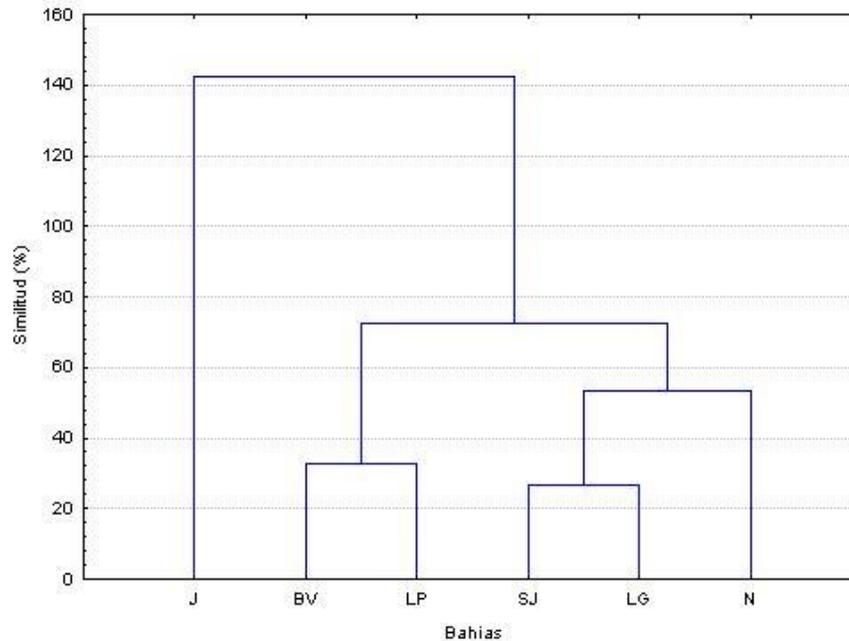


Figura 5. Dendrograma de distancias entre las bahías según las concentraciones de clorofila-a y las variables hidroquímicas. N: Bahía de Nuevitas, J: Bahía de Jigüey, LG: Bahía de La Gloria, LP: Bahía de Los Perros, BV: Bahía de Buenavista, SJ: Bahía de San Juan de Los Remedios.

Figure 5. Dendrogram of distances between the bays according to chlorophyll-a concentrations and hydrochemical variables. N: Nuevitas Bay, J: Jigüey Bay, LG: La Gloria Bay, LP: Los Perros Bay, BV: Buenavista Bay, SJ: San Juan de Los Remedios Bay.

Según Souza *et al.* (2003), la combinación de grandes volúmenes de agua con elevados tiempos de residencia, estimula la producción primaria y por ende el incremento de las concentraciones de clorofila-a debido a la acumulación de nutrientes.

Alcolado *et al.* (2007) reportan que la bahía de Jigüey sufre de un proceso de eutrofización natural con montos considerables de materiales orgánicos y nutrientes como consecuencia de la lenta remoción de las aguas y al escaso intercambio de las mismas, debido a la existencia de un vial, construido entre la bahía de Los Perros y Jigüey, para comunicar la isla de Cuba con cayo Coco, lo que propicia que se acumulen cantidades considerables de compuestos biogénicos en esta última. Estudios recientes reportan que los tiempos de residencia en las aguas de la bahía de Jigüey oscilan entre 67 y 86 días (Montalvo & Loza, 2006) y superan a los períodos consignados por Fernández y Chirino (1993), cuyos estimados fueron de entre 8 y 25 días.

En los estudios sobre eutrofización se debe incluir el análisis de las concentraciones de oxígeno disuelto (OD), ya que la más severa consecuencia de la eutrofización es la depleción del OD debido a la descomposición de la materia orgánica autóctona o alóctona (Boesch *et al.*, 2001). Sin embargo, tanto en la bahía de Jigüey, como en el resto de las bahías evaluadas, los valores de oxígeno disuelto (OD) (Tabla 2) catalogan las aguas como de buena calidad, al resultar superiores al valor límite fijado por la NC: 25:1999 (5 mg.L⁻¹). Por otra parte, los porcentajes de oxígeno mostraron la existencia de condiciones de sobresaturación, en general, en todas las bahías, alcanzando el mayor valor en la bahía de Jigüey (130,69 %), y se corresponde con las mayores concentraciones de clorofila-a. Lo anterior pone de manifiesto el

buen funcionamiento de la comunidad autótrofa en estos acuatorios, y en particular, en la bahía de Jigüey, a pesar de su elevada condición trófica.

Tabla 2. Concentraciones promedios de la variables biológicas, físicas y químicas en las seis bahías del ASC.

Table 2. Average concentrations of biological, physical and chemical variables in the six bays of the SCA.

Parámetros	Bahías					
	Nuevitas	Jigüey	La Gloria	Los Perros	Buenavista	San Juan
Clorofila-a (mg.m ⁻³)	6,19±	10,93±	4,41±	4,43±	0,26±	0,27±
	3,58	14,83	2,74	3,13	0,24	0,23
Densidad Fitoplanctónica (*103 cel.mL ⁻¹)	1105,07±	1556,81±	573,10±	1765,58±	675,40±	250,66±
	1168,25	930,72	42,07	1969,59	15,56	74,47
Temperatura (°C)	31,20±	30,61±	29,98±	24,23±	26,47±	29,64±
	1,13	0,63	1,87	1,26	0,81	0,33
Salinidad (UPS)	2,13±	73,88±	46,50±	53,25±	28,67±	29,00±
	0,35	5,00	2,08	4,19	9,71	2,65
Oxígeno Disuelto (mg.L ⁻¹)	6,20±	5,69±	5,99±	6,24±	6,72±	6,36±
	0,96	0,44	0,73	0,46	0,43	0,95
Saturación de Oxígeno (%)	105,99±	130,69±	108,26±	107,94±	101,3±	100,1±
	17,52	7,58	15,77	8,84	10,86	15,90
pH	8,24±	8,36±	8,08±	8,09±	7,96±	7,92±
	0,08	0,15	0,39	0,09	0,07	0,07
Demanda Química de Oxígeno (mg.L ⁻¹)	2,14±	7,21±	5,49±	2,20±	3,26±	3,12±
	0,66	1,30	1,33	0,16	0,51	0,10
Nitrógeno Total (mg.L ⁻¹)	4,51±	5,59±	14,01±	7,17±	1,75±	9,34±
	31,89	145,54	15,82	59,93	47,44	11,73
Fósforo Total (mg.L ⁻¹)	0,68±	0,48±	0,67±	0,98±	0,79±	0,37±
	0,22	0,13	0,23	0,24	0,45	0,11
NH ₄ (mg.L ⁻¹)	0,88±	3,44±	8,89±	5,40±	1,32±	8,72±
	0,40	2,02	12,68	1,46	1,51	7,00
NO ₂ +NO ₃ (mg.L ⁻¹)	3,63±	2,15±	5,12±	1,77±	0,43±	0,62±
	4,18	1,65	3,10	1,37	0,27	0,48
PO ₄ (mg.L ⁻¹)	0,23±	0,09±	0,20±	0,07±	0,27±	0,11±
	0,20	0,07	0,10	0,04	0,15	0,08
NT/PT	6.63	11.65	20.91	7.32	2.22	25.24

El análisis de componentes principales realizado con las diferentes variables hidroquímicas nos muestra que las que más se relacionan con los valores de clorofila-a son el nitrógeno total (NT), la temperatura (T) y el oxígeno disuelto (OD) (Fig. 6). Esto guarda relación con el proceso de producción primaria, donde el nitrógeno constituye el nutriente fundamental para la síntesis de materia orgánica a partir de la excitación de la clorofila-a como pigmento principal, con la consiguiente liberación de oxígeno al medio. En este proceso, la temperatura puede modificar las funciones metabólicas de los organismos autótrofos.

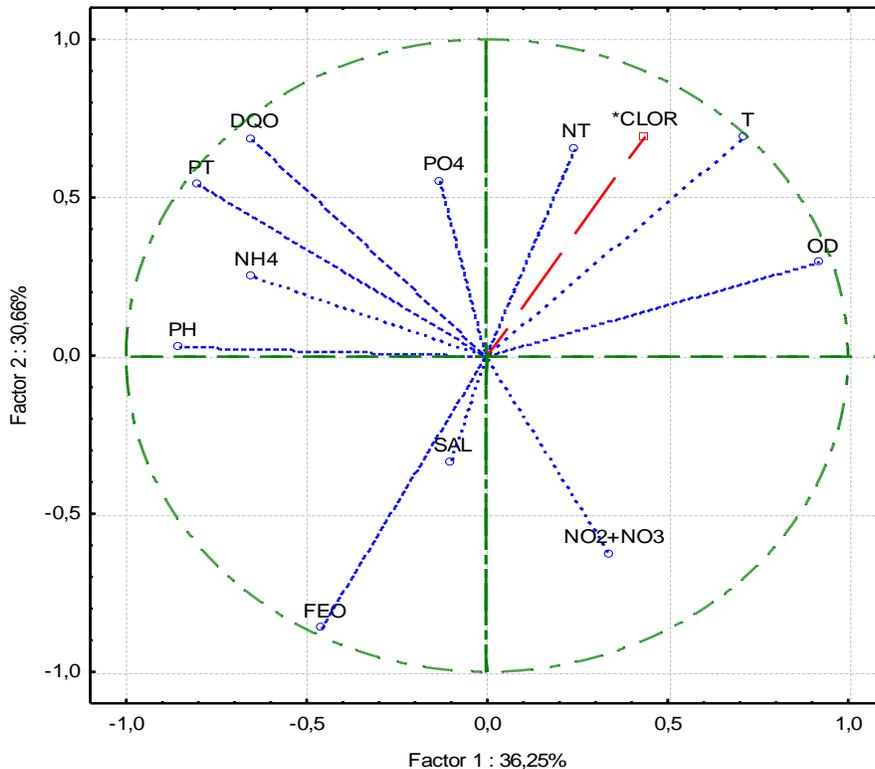


Figura 6. Análisis de componentes principales para las variables hidroquímicas y las concentraciones de clorofila-a en las diferentes bahías analizadas. CLOR: clorofila-a, T: Temperatura, SAL: Salinidad, OD: Oxígeno Disuelto, DQO: Demanda Química de Oxígeno, NT: Nitrógeno Total, PT: Fósforo Total.

Figure 6. Principal component analysis for hydrochemical variables and chlorophyll-a concentrations in the different bays analyzed. CLOR: Chlorophyll-a, T: Temperature, SAL: Salinity, DO: dissolved oxygen, COD: Chemical Oxygen Demand, NT: Total nitrogen, TP: Total phosphorus.

El PCA indica además que los nutrientes fósforo total (PT) y nitrógeno total (NT) se oponen a la salinidad, lo que nos permite sugerir que la principal fuente de estos compuestos son los ríos y drenajes pluviales que llegan a las bahías, resultados que se corresponde con los obtenidos en la bahía de La Habana por Beltrán *et al.* (2003), Regadera (2006) y Reyes (2008), así como en la bahía de Guantánamo (Ruiz *et al.*, 2006).

CONCLUSIONES

- La concentración de clorofila-a constituye un indicador rápido y efectivo para la evaluación del estado trófico de los ecosistemas costeros y resulta más adecuado cuando se aplica un índice multi-paramétrico como el TRIX.
- De las seis bahías evaluadas del ASC, la bahía de Jigüey es la que presenta un estado trófico más elevado por lo que sus aguas categorizan como de mala calidad, asociado al deterioro de sus condiciones ambientales debido a la sinergia entre los procesos de eutrofización natural y de antropización que ocurren en este ecosistema; mientras las bahías de San Juan de los Remedios y de Buenavista presentan un mejor estado trófico, con aguas de buena calidad.

REFERENCIAS

- APHA, WPCF, AWWA (1992): Standard Methods for the Examination of Waters and Wastewaters, Joint Editorial Board, Washington.
- APHA. (1998). Standard Methods for the examination of Water and Wastewater. American Public Health Association (20th ed.) 210 pp.
- Alcolado, P. M., García, M., & Espinosa, N. (Eds.). (1999). Protección de la biodiversidad y desarrollo sostenible en el ecosistema Sabana – Camagüey, Cuba. (CESYTA S.L., p. 144). Madrid: GEF/PNUD. CUB/92/G31.145 pp.
- Alcolado, P. M., García, E. E., & Arellano-Acosta, M. (Eds.). (2007). Ecosistema Sabana-Camagüey. Estado actual, avances y desafíos en la protección y uso sostenible de la biodiversidad. Proyecto PNUD/GEF Sabana-Camagüey CUB/98/G32; CUB/99/G81. Editorial Academia. 183 pp.
- Beltrán, J., Martín, A., Mancebo, H., Ruiz, F., Regadera, R. & Ramírez, M. (2003). Control y evolución de la calidad ambiental de la Bahía de La Habana y el litoral adyacente. Informe Final, Vigilancia ambiental para la Bahía de La Habana, Cuba, Centro de Ingeniería y Manejo Ambiental de Bahías y Costas, 61 pp.
- Borrero, N., López-Baluja, L. & Popowski, G. (1981). Distribución del fitoplancton en la región nororiental de la plataforma de Cuba. *Acad. Cienc. Cuba. Ciencias. Biológicas*, 6: 15-44.
- Boesch, D. F., Burreson, E., Dennison, E., Houde, W., Kemp, E., Kennedy, M., Newell, V., Paynter, R., Orth, K. & Ulanowicz, R. (2001). Factors in the decline of coastal ecosystems. *Science*, 293: 1589-1590.
- Caperon, J.; Cattell, S. A. & Krasnick, G. (1971). Phytoplankton kinetics in a subtropical estuary: "Eutrophication". *Limnology and Oceanography*. 16 (4): 599-607.
- Carmenate, M., Sánchez, M., Cantelar, K., Montalvo, J. F., García, I., Esponda, S., Hernández, J. L., Esquivel, M. & Loza, S. (2011). Calidad ambiental de la bahía de Jigüey (NE de Cuba) y su relación con intoxicaciones alimentarias de origen marino. *Serie Oceanológica*, No. 9: 42-53. ISSN 2072-800x
- Castro, R. (1974). Transformación energética en los cayos de la Enfermería y Puerto Jobabo. *Revista Investigaciones Pesqueras*, 1: 154-156.
- Contreras, F., Castañeda, O., & García, A. (1994). La clorofila-a como base para un índice trófico en lagunas costeras mexicanas. *An. Inst. Cienc. Mar y Limnol.* México: UNAM. (pp. 55-66)
- FAO (1975). Manual of Methods in Aquatic Environmental Research. Part-1. Methods for Detection and Monitoring of Water Pollution. *FAO Fish. Tech. Paper.*, 137: 1-237.



- Fernández, L. J., & Chirino, A. L. (1993). Atlas oceanográfico de las aguas del archipiélago Sabana – Camagüey. Instituto Cubano de Hidrografía. (pp. 82 – 174)
- Gómez, L. M., Larduet, Y., Abrahantes, N. (2001). Contaminación y biodiversidad en ecosistemas acuáticos. El fitoplancton de la bahía de Santiago de Cuba. *Revista de Investigaciones Marinas*, 22, 191-197.
- Gómez, L., Díaz, U., Fernández, A., Licea, Y., & Álvarez, I. (2007). Primer reporte de *Cochlodinium polykrikoides* (Margalef, 1961) en aguas cubanas. *Revista Investigaciones Marinas*, 28(1): 87-89.
- IOC-UNESCO (1993). Nutrient Analysis in Tropical Marine Waters. *Manuals and Guides*. 12: 1-23.
- Kabánova, Y. G., & López-Baluja, L. (1973). Producción primaria de la región meridional del Golfo de México y cerca de la costa noroccidental de Cuba. *Serie Oceanológica*, 16: 1-34.
- Loza, S., Montalvo, J. F., Cantelar, K., Del Valle, R., Sánchez, M., García, I. & Esponda, S. (2006). 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. Informe Final de Proyecto. 93 pp.
- Miravet, M. E., Lugioyo, G. M., Loza, S., Enríquez, D., Delgado, Y., Carmenate, M., & Pérez, D. M. (2009). Procedimientos para el monitoreo de la calidad ambiental en la zona marino costera a partir de microorganismos. Instituto de Oceanología. La Habana, Cuba. 106 pp.
- Montalvo, J. F., & Loza, S. (2006). Flujos de materiales conservativos y no conservativos en la Bahía de Jigüey (Archipiélago Sabana-Camagüey, Cuba) y el océano. *Serie Oceanológica*, No. 2, 1-10. ISSN 2072-800x
- Montalvo, J. F., Perigó, E., & Martínez, M. (2007). La contaminación marina. In: M. Alcolado, P., García, M., & Arellano (Ed.), *Proyecto PNUD/GEF Sabana-Camagüey CUB/98/G32; CUB/99/G81*. Editorial Academia. (pp. 79-83).
- Moreira, A., Seisdedo, M., Leal, S., Comas, A., Delgado, G., Regadera, R., Alonso, C., Muñoz, A., Abatte, M. (2007). Composición y abundancia del fitoplancton de la bahía de Cienfuegos, Cuba. *Revista de Investigaciones Marinas*, 28, 97-109.
- Norma Cubana (NC): 25:99: Sistema de Normas para la Protección del Medio Ambiente. Hidrosfera. Especificaciones y procedimientos para la evaluación de los objetos hídricos de uso pesquero, 12 pp.
- Penna, N., Capellacci, S., & Ricci, F. (2004). The influence of the Po River discharge on phytoplankton bloom dynamics along the coastline of Pesaro (Italy) in the Adriatic Sea. *Marine Pollution Bulletin*, 48(3-4): 321-326.
- Popowski, G., Campos, A., Sánchez, M., & Borrero, N. (1985). Estudio ecológico de la cayería norte de Cuba. Informe en Archivo Científico Instituto Oceanología. 21 pp.
- Regadera, R. (2006). Fitoplancton y clorofila-a como indicadores de eutrofización en la bahía de La Habana. CIM. La Habana, Cuba 100 pp.
- Reyes, T. (2008). Niveles de eutrofización en las bahías de La Habana, Mariel, Matanzas, Cárdenas y Puerto Padre, Cuba. Tesis de Grado. Facultad de Biología. Universidad de la Habana. La Habana, Cuba. 58 pp.
- Ruiz, F., Pérez, M., Beltrán, J., Mancebo, H., Ramírez, M. & Regadera, R. (2006). Monitoreo de la calidad ambiental del ecosistema marino de la Bahía de Nipe. Programa Científico Técnico Ramal “Desarrollo sostenible del transporte y el medio ambiente”. Resultado 01, CIMAB, 21 pp.



- SCOR-UNESCO. (1980). Determination of chlorophyll in seawater. *Technical Papers in Marine Science*, 35 pp.
- Sakshaug, E. (1980). Problems in the Methodology of studying phytoplankton. In: *The Physiological ecology of phytoplankton*. (Morris, Ed.). Berkeley & Los Angeles: University of California Press. (pp. 57-91).
- Seisdedo, M., Moreira, A., Arencibia, G., & Pérez, I. (2010). Análisis comparativo del estado trófico de las aguas en la costa oriental de la provincia de Cienfuegos, Cuba. *Revista de Investigaciones Marinas* 31(2):124-130.
- Souza, M. F. L., Kjerfve, B., Knoppers, B., Landim de Souza, W. F., & Damasceno, R. N. (2003). Nutrient budgets and trophic state in a hypersaline coastal lagoon: Lagoa de Araruama, Brazil. *Estuarine Coastal and Shelf Science*. 57 pp. 843-858
- Tur, A., Martín, A., Valdés, M., Palacios, F. & Beltrán, J. (2000). Control de la calidad ambiental del ecosistema Bahía de Matanzas. Programa Científico-Técnico Ramal: Protección del Medio Ambiente y el Desarrollo Sostenible Cubano. Proyecto: Evaluación y Control de la Contaminación Marina en las Bahías de Cienfuegos, zona Cárdenas-Varadero, Matanzas, Mariel, Nuevitas, Nipe, Puerto Padre y Santiago de Cuba. Resultado 02. CIMAB, pp 58
- Vollenweider, R. A., Giovanardi, F., Montanari, G. & Rinaldi, A. (1998). Characterization of the Trophic Conditions of Marine Coastal Waters with Special Reference to the NW Adriatic Sea: Proposal for a Trophic Scale, Turbidity and Generalized Water Quality Index. *Environmetrics*. 9: 329-357.

Recibido: enero de 2013.

Aceptado: diciembre de 2013.