

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

Flows of water, salt and non-conservative materials in three bays (Cardenas, West Santa Clara and La Gloria) of Sabana-Camagüey archipelago and the open sea

José F. Montalvo*, Ileana García*, Mariela Almeida** y Santa Esponda*

*Instituto de Oceanología, CITMA, calle 1era #18406, Reparto Flores, Playa, Ciudad de la Habana, Cuba. e-mail: montalvo@oceano.inf.cu

** Centro de Servicios Ambientales de Matanzas. Autopista Sur Km.12 Los Taínos. Varadero. Matanzas, Cuba. e-mail: mariela.almeida@umcc.cu

Resumen

Se estimó el balance de agua, sal, materiales no conservativos, el metabolismo neto del sistema y el metabolismo del nitrógeno en las bahías de Cárdenas, Santa Clara Oeste (**SCW**) y La Gloria (**GLO**), mediante el uso de los modelos de caja propuestos por la LOIZC. La bahía de Cárdenas fue dividida en dos sectores, Oeste (**CARW**) y Este (**CARE**). La modelación de los ciclos biogeoquímicos se realizó en tres muestreos a los cuerpos de agua **CARW**, **CARE** y **SCW** y dos a la **GLO** entre los años 2001, 2002 y 2005. Las precipitaciones fueron la principal fuente de agua dulce en las bahías, las pérdidas de agua en los sistemas en la época de seca se compensaron por el flujo de mezclado con el mar abierto. Los presupuestos de fósforo, nitrógeno y carbón tuvieron un comportamiento heterogéneo. Los cálculos estequiométricos ($p-r$) denotaron que hubo una tendencia a la autotrofia en la etapa de seca en las bahías **CARW**, **CARE** y **SCW**; y a la heterotrofia en la etapa de lluvias. Pero en la bahía La Gloria el comportamiento fue inverso y el metabolismo del nitrógeno dio como resultado que hubo un predominio de los procesos de fijación sobre la desnitrificación.

Abstract

The balance of water, salt, and non-conservative materials was estimated; as well as the system's net metabolism and nitrogen metabolism in Cardenas, West Santa Clara (**SCW**) and La Gloria (**GLO**) bays, using the box models proposed by LOIZC. Cardenas Bay was divided into two sectors, West (**CARW**) and East (**CARE**). The modeling of biogeochemical cycles was carried out in three samplings in **CARW**, **CARE** and **SCW** water bodies, and two samplings in **GLO**, among the years 2001, 2002 and 2005. Precipitations were the main fresh water source in these bays. Water losses in the systems in the dry season were compensated by the mixed flow with the open sea. Phosphorus, nitrogen and carbon budgets had a heterogeneous behavior. Stoichiometric calculations ($p-r$) denoted that there was a tendency to autotrophy in the dry season in **CARW**, **CARE** and **SCW** bays; and to heterotrophy in the rainy season. But, the behavior was opposite in La Gloria Bay, and nitrogen metabolism resulted in a predominance of fixation processes over those of denitrification.

Palabras claves: Modelación, nitrógeno, fósforo, carbón, sal, metabolismo

Key words: Modeling, nitrogen, phosphorus, carbon, salt, metabolism.

INTRODUCCIÓN

El Archipiélago Sabana-Camagüey (ASC) es una de las regiones de la plataforma marina cubana que más se ha estudiado en las últimas décadas debido al desarrollo turístico que experimenta y la marcada influencia de otras actividades antropogénicas sobre los cuerpos de

aguas interiores y los arrecifes coralinos existentes en el borde exterior de la cayería que conforma la frontera N de esta ecorregión (Alcolado, *et al.*, 1999 y Alcolado, *et al.*, 2007).

La institución LOICZ (Land Ocean Interaction with the coastal Zone) tiene como herramienta básica la modelación de los procesos ambientales dominantes en la zona costera, contribuyendo al entendimiento del flujo global del carbono, también los modelos pueden representar otros procesos en la misma (Turner, *et al.*, 1998). La aplicación de los modelos de caja desarrollados por la LOICZ encuentra cada vez más aplicación en el conocimiento de los flujos de agua, materiales conservativos y no conservativos, evaluaciones biofísicas y socio económicas en diferentes países (Smiht, *et al.*, 1999; Kjerfve, *et al.*, 2002; Ngusaru y Mohammed, 2002; Talaue-McManus, *et al.*, 2003 y Giordani, *et al.*, 2005).

En Cuba se han aplicado estos modelos a un escaso número de cuerpos de aguas costeras de circulación restringida (Perigó, *et al.*, 2004 y Montalvo & Losa, 2006).

El objetivo de este trabajo fue determinar los flujos agua, sal y materiales no conservativos entre las bahías Santa Clara Oeste y Cárdenas, y La Gloria con el mar abierto y estimar el metabolismo de estos cuerpos de agua, a través el modelo de caja propuesto por la LOICZ.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio.

La bahía de Cárdenas se localiza entre los 23°01'N y 81°18'W y los 23°13'N y 80°42'W, la parte W (**CARW**) tiene un área de $3,9 \times 10^8 \text{ m}^2$ y una profundidad media de 2,92 m (Fernández & Chirino, 1993), en sus márgenes se encuentra la ciudad de Cárdenas y 19 focos contaminantes, desembocando en la misma la Zanja Siguagua y el Canal del Roque cuyo caudal es de $123706 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$ (Regadera, *et al.*, 2001), su frontera natural Norte es la Península de Hicacos. La zona E de la bahía (**CARE**) posee un área de $2,1 \times 10^8 \text{ m}^2$, con una profundidad media de 1,04 m, limita al sur con los cayos de Las cinco leguas, estos cayos la separan de la bahía de Santa Clara Oeste y al Norte limita con un grueso cordón de cayos.

La bahía de Santa Clara Oeste (**SCW**) se localiza entre los 23°02'N y los 80°59'W, y los 23°07'N y los 80°46'W, tiene un área de aproximada de $3,87 \times 10^8 \text{ m}^2$ con una profundidad media de 1,24 m, la cuenca hidrográfica más importante que drena a la bahía es la del río La Palma con una densidad de drenaje promedio de $0,55 \text{ km km}^{-2}$.

La bahía La Gloria (**GLO**) está ubicada en la porción E del ASC entre los 21°57'N y 77°51'W y los 21°37'N y 70°20'W, los cayos Guajaba y Romano conforman su frontera Norte y se comunica con la bahía de Jigüey por dos angostos canalizos, el río más importante que llega a la bahía es el Máximo, represado y con un flujo extremo de $445 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$.

Las bahías de Cárdenas y Santa Clara Oeste fueron muestreadas en mayo de 2001, mayo de 2002 y julio de 2005 y a La Gloria se le muestreó en abril de 2002 y junio de 2005. La red de estaciones de muestreo en las bahías y el mar adyacente se representa en la Figura 1.

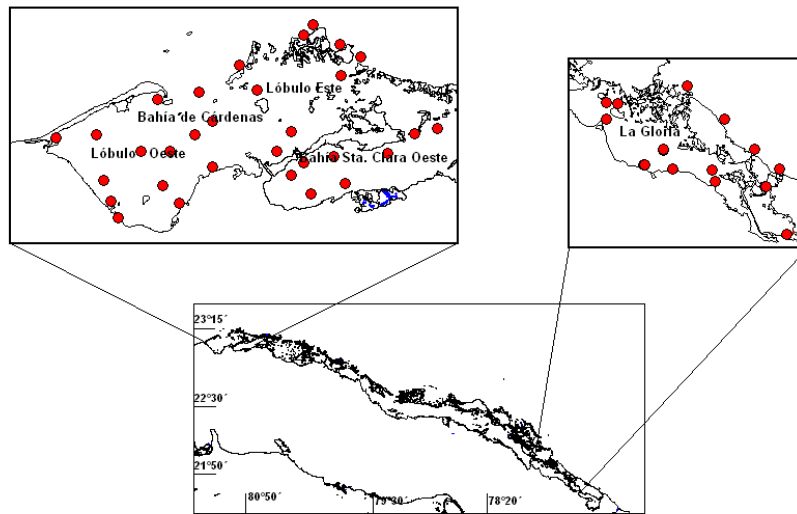


Figura 1. Red de estaciones de muestreo en las bahías de Cárdenas, Santa Clara Oeste y La Gloria.
 Figure 1. Network of sampling stations in Cardenas, West Santa Clara and La Gloria bays.

En cada estación de muestreo se tomaron muestras de agua en la capa superficial, estas se depositaron en frascos plásticos de capacidad 1 L, permaneciendo en congelación hasta ser procesadas en el laboratorio. Los parámetros cuantificados fueron nitratos más nitrito mediante la reducción del nitrato a nitrito con Cadmio (IOC-UNESCO, 1983), amonio por medio del método de indofenol azul (FAO, 1975), nitrógeno total mediante la oxidación de las formas reducidas de nitrógeno a nitratos con persulfato de potasio en medio alcalino (FAO, 1975), fósforo inorgánico (P.I.) a través de la formación del complejo fosfomolibdico y reducción con ácido ascórbico (IOC-UNESCO, 1983), fósforo total oxidando la muestra con persulfato de potasio y posterior determinación como fósforo inorgánico (FAO, 1975; IOC-UNESCO, 1983), y la demanda química de oxígeno (DQO) empleando la oxidación con permanganato de potasio en medio alcalino (FAO, 1975).

El carbón orgánico (C.O.) se estimó a partir de las medidas de DQO, empleando el coeficiente de conversión propuesto por De la Lanza & Rodríguez (1992), el nitrógeno total inorgánico (NTI) por la sumatoria de las concentraciones de nitratos más nitrito y amonio, el nitrógeno orgánico (N.O.) por diferencia entre las concentraciones de NTI y nitrógeno total, el fósforo orgánico (P.O.) se estimó por diferencia entre el fósforo total y el inorgánico.

Los flujos y presupuestos de agua, sal y materiales no conservativos, y el metabolismo del sistema fueron estimados a partir de los modelos de caja usados por la LOICZ descritos por Gordon, *et al.* (1996).

Flujo residual V_R :

$$V_R = -V^* = -(V_{R^*} + V_{AR} + V_P - V_E)$$

Donde: V_{R^*} , V_{AR} , V_P y V_E son los flujos de agua de río, aguas residuales, las precipitaciones y de evaporación.

Flujo de mezclado V_X :

$$V_X = \frac{V_R S_R}{(S_1 - S_2)}$$

Donde: S_R , S_1 y S_2 es la salinidad residual ($[(S_1 + S_2)/2]$), salinidad en el sistema y salinidad en el océano.

Tiempo de intercambio de agua en la bahía (τ):

$$\tau = \frac{V_{sist.}}{(V_X + |V_R|)}$$

$V_{sist.}$, es el volumen de la bahía

Flujos de materiales no conservativos ΔY (C, N y P):

$$\Delta Y = -V_{R^*} Y_{R^*} - V_{AR} Y_{AR} - V_P Y_P + V_X (Y_1 - Y_2)$$

Donde: Y_{R^*} , Y_{AR} , Y_P , Y_{R^*} , Y_1 y Y_2 son: las concentraciones del compuesto en el río, aguas residuales, en la lluvia, en la bahía y en el ambiente oceánico.

El metabolismo neto del ecosistema (MNE) ($p - r$):

$$(p - r) = \Delta P (-C : P_{part})$$

Donde: es el presupuesto de fósforo inorgánico ΔPI y las relaciones C:P indicadas por Redfield (1958) para el fitoplancton (106), la establecida para los pastos marinos (500) por Hemmingo & Duarte (2000) y para el manglar (1100), (Gordon *et al.*, 1996).

El metabolismo del nitrógeno (*Fijn - desnit*):

$$\left(F_{nit-desnit} = (\Delta N_{inor}) - (\Delta P_{inor}) \times (N : P_{part}) \right)$$

Donde: son los valores de las relaciones nitrógeno inorgánico – fósforo inorgánico 16:1 (Redfield, 1958), la establecida para los pastos marinos (30) por Hemmingo & Duarte (2000) y para el manglar (11), Gordon *et al* (1996).

Para el cálculo de los volúmenes de agua que llegan al sistema se empleó la información hidrológica y meteorológica reportada por los Certificados Meteorológicos emitidos por MeteoService. La evaporación potencial e_o en mm se estimó, a partir del modelo climatológico desarrollado por Schreiber (1904) tomado de Smith *et al.* (1999).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Contenidos de materiales conservativos y no conservativos en las bahías.

La salinidad en las bahías **SCW** y **GLO** tuvo valores característicos de cuerpos de agua hipersalinos, con medias superiores a 38 ups. En la bahía de Cárdenas las salinidades medias en ambos lóbulos fueron similares (Tabla 1), aunque en mayo de 2002 hubo una tendencia a la hipersalinidad en la zona **E**, asociado a la alta tasa de evaporación del agua favorecida por las temperaturas.

Las concentraciones de nitrógeno total inorgánico en **CARW** fueron mayores que en **CARE**, en mayo/2001 y mayo/2002, el comportamiento fue inverso en julio de 2005. En **SCW** la mayor abundancia de NTI fue en mayo de 2001. El nitrógeno inorgánico experimentó un incremento en el muestreo practicado en la etapa de lluvias del 2005 en **GLO**. En los cuerpos de agua el amonio fue la forma más abundante de nitrógeno inorgánico, los altos contenidos se asociaron al predominio de los procesos de amonificación sobre los de nitrificación favorecido por las salinidades existentes. En cuerpos de agua hipersalinizados las altas concentraciones de amonio son usuales debido a la alta tasa de liberación de amonio por los sedimentos y la poca tolerancia de estos ambientes a las bacterias nitrificantes (Souza, *et al*, 2003). El nitrógeno orgánico fue el mayor contribuidor al nitrógeno total en los cuerpos de agua, y la bahía de Cárdenas fue la de mayor abundancia en este tipo de compuestos (Tabla 1). El predominio de la fracción orgánica de nitrógeno sobre la inorgánica indica una posible alta tasa de biosíntesis de este tipo de compuestos.

Tabla 1. Valores promedio de salinidad, nitrógeno total inorgánico NTI, nitrógeno orgánico N.O., fósforo inorgánico P.I., fósforo orgánico P.O. y carbón orgánico C.O., en los muestreos realizados a las bahías de Cárdenas Oeste **CARW**, Cárdenas Este **CARE**, Santa Clara Oeste **SCW** y La Gloria **GLO**. (Expresados en ups la salinidad y las concentraciones de compuestos biógenos en mmol m^{-3}).

Table 1. Average values of salinity, total inorganic nitrogen NTI, organic nitrogen N.O., inorganic phosphorus P.I., organic phosphorus P.O., and organic carbon C.O., in the samplings carried out in the bays West Cardenas **CARW**, East Cardenas **CARE**, West Santa Clara **SCW** and La Gloria **GLO**. (Salinity expressed in ups, and concentrations of biogenic compounds in mmol m^{-3}).

Bahía	Muestreo	Salinidad	NTI	N.O.	P.I.	P.O.	C.O.
CARW	Mayo/ 2001	37,92	3,38	32,18	0,10	0,29	157,19
CARE	Mayo/ 2001	37,54	2,00	49,18	0,08	0,17	143,53
SCW	Mayo/ 2001	38,38	3,21	27,28	0,07	0,18	129,87
CARW	Mayo/ 2002	37,87	1,28	35,04	0,07	0,34	83,48
CARE	Mayo/ 2002	38,05	0,89	18,30	0,06	0,51	31,60
SCW	Mayo/ 2002	39,24	1,86	19,56	0,11	0,31	32,97
GLO	Abril/2002	41,72	2,44	13,78	0,21	0,50	60,58
CARW	Julio/2005	35,67	1,92	32,24	0,15	0,40	44,91
CARE	Julio/ 2005	36,93	2,30	18,56	0,09	0,45	38,31
SCW	Julio/2005	38,80	2,72	11,18	0,11	0,48	32,15
GLO	Junio/ 2005	48,39	4,11	38,88	0,10	0,17	108,43

El fósforo inorgánico fue poco abundante en las bahías, las concentraciones mayores correspondieron a **GLO** en la época de seca del 2002, en **CARW** la concentración promedio fue notable en julio/2005 (Tabla 1). El fósforo orgánico tuvo un patrón irregular en los tres

cuerpos de agua, en **CARE** se encontraron las mayores concentraciones, dicha área de la bahía es rica en pastos marinos. No obstante, en el muestreo hecho en la etapa de lluvia de 2005 las concentraciones medias fueron similares en **CARW**, **CARE** y **SCW**.

Las dos porciones de la bahía de Cárdenas se caracterizaron por tener cantidades considerables de carbón orgánico en mayo/2001 y mayo/2002. El patrón de distribución en el tiempo en **SCW** fue similar al de **CARW** y **CARE**, en dichos sistemas las concentraciones inferiores correspondieron al período de lluvias del 2005, debido a un posible aumento de la actividad heterotrófica al incrementarse la temperatura. En el caso de **GLO** el carbón orgánico fue más abundante en junio de 2005 (Tabla 1), asociado al material detrítico incorporado al cuerpo de agua por el escurrimiento terrestre y a un posible aumento de la producción primaria. *Flujos y presupuestos de agua, sal y materiales no conservativos.*

Las fuentes de agua dulce que recibe la bahía de Cárdenas son el Canal de San Roque que desemboca en **CARW** y las aguas residuales domésticas e industriales, que aportan unos $3,8 \times 10^4 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$ de agua (Regadera, *et al.*, 2001). Las precipitaciones sobre la bahía fueron inferiores a las pérdidas de agua por evaporación en los estudios realizados al finalizar la etapa de seca de los años 2001 y 2002, en junio/2005 el comportamiento fue inverso, conducta similar se observó en **SCW** a la que llegan los aportes de agua dulce de la cuenca Roque San Mateo.

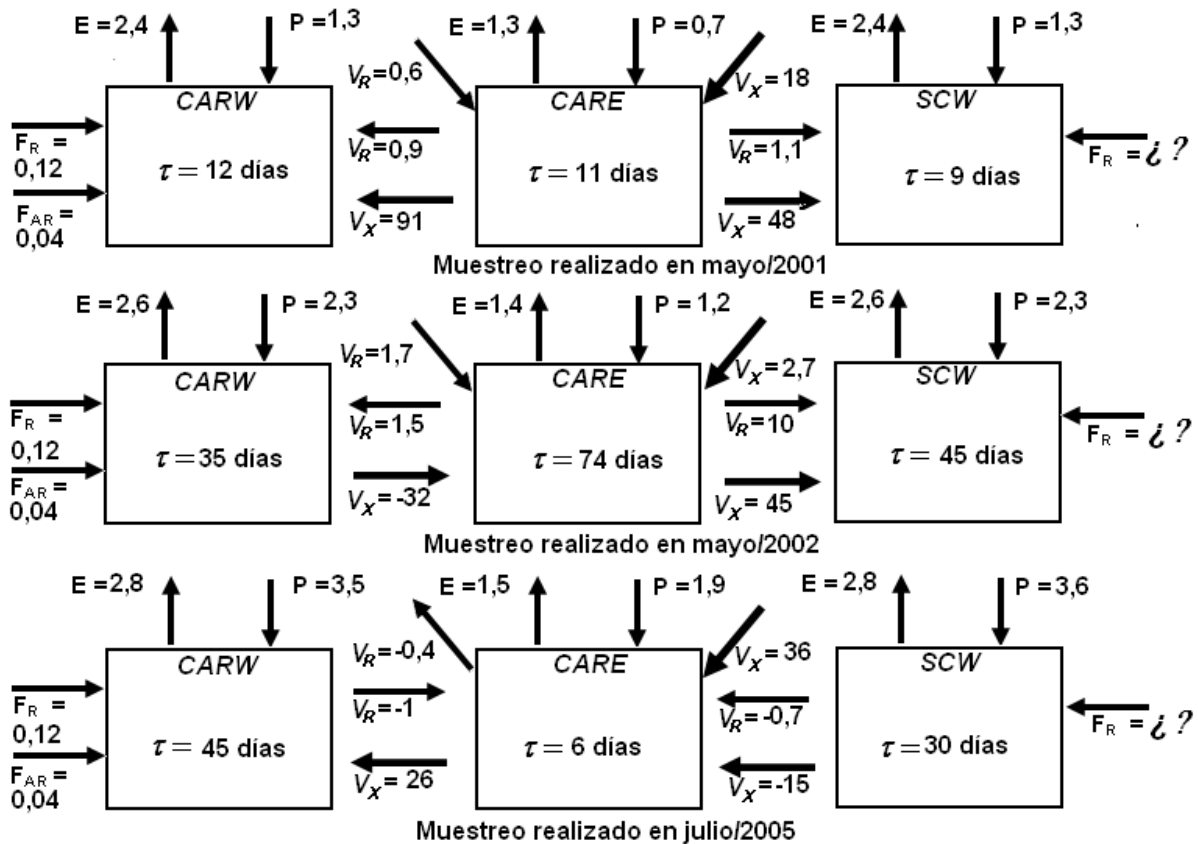


Figura 2. Flujos y presupuestos $\times 10^6$ de precipitaciones P , evaporación E , residual V_R y de mezclado V_X y tiempo de intercambio de agua τ , en los muestreos realizados a las bahías de Cárdenas Oeste **CARW**, Cárdenas Este **CARE** y Santa Clara Oeste **SCW**.

Figure 2. Flows and budgets $\times 10^6$ of precipitations P , evaporation E , residual V_R and mixed V_X , and water exchange time τ , in the samplings carried out in the bays West Cardenas **CARW**, East Cardenas **CARE** and West Santa Clara **SCW**.

En la figura 2, se representan el flujo residual y el flujo de mezclado, y el tiempo de intercambio de agua, en los sistemas **CARW**, **CARE** y **SCW**, V_X siempre fue superior a V_R . En la época de seca de 2001, ambos flujos fueron desde el mar abierto hacia **CARE**, supliendo las pérdidas de agua por evaporación en la misma y en **CARW** y **SCW**, en mayo/2002 el comportamiento fue similar, aunque el flujo de mezclado fue desde el **CARW** hacia **CARE**. En julio/2005 los flujos predominantes fueron desde el mar abierto hacia y **SCW** a **CARE**. El intercambio de sal entre las bahías y el mar abierto a través del flujo residual y del flujo de mezclado fueron de igual magnitud pero de signo opuesto, en **CARW** tuvo valores extremos entre 6 ups d^{-1} y 35 ups d^{-1} , el transporte de sal en **CARE** fluctuó entre 6 ups d^{-1} y 21 ups d^{-1} , y en **SCW** fueron desde 12 ups d^{-1} y ± 41 ups d^{-1} , los mínimos fueron en mayo/2002.

Las fuentes de agua dulce en el sistema **GLO** fueron el río Máximo y las precipitaciones. En la etapa de lluvia las pérdidas por evaporación fueron inferiores a las entradas de agua dulce, en mayo/2001 V_R y V_X se dirigieron desde el mar abierto hacia el sistema, en el segundo muestreo de ambos flujos fueron desde la bahía hacia el ambiente oceánico, de acuerdo al signo (Tabla 2). El transporte de sal entre el mar abierto y la bahía por medio de los flujos V_R y V_X , fueron de igual valor pero de signo opuesto y a diferencia de los casos antes analizados, los valores más bajos fueron en junio/2005 coincidiendo con un alto tiempo de residencia de las agua en la bahía (Tabla 2). Gordon *et al.* (1996) reportaron que el flujo del agua de mar entrega sal al sistema mediante la advección, y los presupuestos e intercambio de materiales conservativos estimados a través de los flujos residual y mezclado en sistemas hipersalinos, estimados a partir de modelos de caja son de igual valor pero en sentido opuesto.

Tabla 2 Flujos y presupuestos $\times 10^6$ de precipitaciones **P**, evaporación **E**, residual V_R y de mezclado V_X , tiempo de intercambio de agua τ , y de materiales no conservativos $V_R S_R$ (residual de sal) y $V_X (S_2 - S_1)$ (mezclado de sal), expresados en ups d^{-1} , en los muestreos realizados a la bahía La Gloria.

Table 2. Flows and budgets $\times 10^6$ of precipitations **P**, evaporation **E**, residual V_R and mixed V_X , time of water exchange τ , and of non-conservative materials $V_R S_R$ (salt residual) and $V_X (S_2 - S_1)$ (salt mixture), expressed in ups d^{-1} , in the samplings carried out in La Gloria Bay.

Muestreo	P $m^3 d^{-1}$	E $m^3 d^{-1}$	V_R $m^3 d^{-1}$	V_X $m^3 d^{-1}$	τ (días)	$V_R S_R$	V_X $(S_2 - S_1)$
Abril de 2002	0,73	4,23	3,50	26,9	41	137	-137
Junio de 2005	4,71	4,47	-0,24	-0,78	2336	-10	10

Los tiempos de intercambio (τ) de agua en los sistemas **CARW**, **CARE** y **SCW** mayores correspondieron a la época de seca de 2002 (Figura 2), excepto en **CARW**. En la tabla 2, aparecen los tiempos de intercambio para el sistema **GLO**. En todos los casos el cálculo debió estar sobreestimado, ya que la ecuación planteada por Gordon *et al.* (1996), no siempre brinda resultados satisfactorios en sistemas hipersalinos. Sheldon & Alber (2006) sugieren que en estuarios negativos, el término (V_R) no debe ser utilizado en las estimaciones del tiempo de renovación de las aguas, empleando solo el flujo de mezclado (V_X), por ser mucho mayor que el residual, aunque esto trae aparejado una sobreestimación del tiempo de intercambio. En todos los casos difieren de los reportados para estas bahías por Fernández & Chirino (1993), para las bahías de Cárdenas entre 6 y 22 días, **SCW** entre 8 y 30 días y **GLO** desde 35 hasta 130 días.

Los presupuestos de fósforo inorgánico $\Delta P.I.$ fueron negativos en las bahías **CARW**, **CARE** y **SCW** en mayo/2001, comportándose como sumidero, los sistemas **CARE** y **SCW** fueron fuente del compuesto en mayo/2002, los cuerpos de aguas costeras **CARW** y **SCW** fueron fuente de P.I. en julio/2005. En la mayoría de los casos los presupuestos de fósforo orgánico $\Delta P.O.$,

fueron inferiores a los $\Delta P.I.$ (Tabla 3), el sistema **CARW** fue sumidero de fósforo orgánico en todos los muestreos, en **CARE** se comportó como fuente en los tres muestreos de acuerdo al signo. La bahía **SCW** actuó como sumidero de fósforo orgánico en mayo/2001 y mayo/2002, y fue fuente en julio/2005. La bahía **GLO** se caracterizó por tener $\Delta P.I.$ y $\Delta P.O.$ inferiores a los otros sistemas (Tabla 3), la misma se comportó como fuente de fósforo inorgánico en la época de seca y en junio/2005 fue sumidero, y en ambos muestreos actuó como sumidero de fósforo orgánico.

Tabla 3. Presupuestos de nitrógeno total inorgánico ΔNTI , nitrógeno orgánico $\Delta N.O.$, fósforo inorgánico $\Delta P.I.$, fósforo orgánico $\Delta P.O.$ y carbón orgánico $\Delta C.O.$, en los muestreos realizados a las bahías de Cárdenas Oeste **CARW**, Cárdenas Este **CARE**, Santa Clara Oeste **SCW** y La Gloria **GLO**. (Expresados en mol d^{-1}).

Table 3. Budgets of total inorganic nitrogen ΔNTI , organic nitrogen $\Delta N.O.$, inorganic phosphorus $\Delta P.I.$, organic phosphorus $\Delta P.O.$, and organic carbon $\Delta C.O.$, in the samplings carried out in the bays West Cardenas **CARW**, East Cardenas **CARE**, West Santa Clara **SCW** and La Gloria **GLO**. (Expressed in mol d^{-1}).

Bahía	Muestreo	ΔNTI	$\Delta N.O.$	$\Delta P.I.$	$\Delta P.O.$	$\Delta C.O.$
CARW	Mayo de 2001	-199	1780	-43	-0,30	-185
CARE	Mayo de 2001	0,12	-2,58	-0,001	0,02	9,98
SCW	Mayo de 2001	56	1100	-0,57	-0,60	-808
CARW	Mayo de 2002	-334	211	-417	-19	-2940
CARE	Mayo de 2002	-0,37	-0,40	31	0,18	63
SCW	Mayo de 2002	9,71	-9,44	-44	-0,55	3,75
GLO	Abril de 2002	35	-39	0,77	-4,87	-985
CARW	Julio de 2005	-329	206	328	-21	-1060
CARE	Julio de 2005	16	-14	-779	2,06	149
SCW	Julio de 2005	-3,79	4,29	117	0,43	118
GLO	Junio de 2005	-1,62	22	-0,06	-0,15	-18

El sistema **CARW** fue sumidero de NTI y fuente de nitrógeno orgánico en los tres muestreos. Mientras que **CARE** fue fuente de NTI en mayo/2001 y julio/2005, y en mayo/2002 se comportó como sumidero, el presupuesto de N.O. tuvo signo negativo en los tres muestreos (Tabla 3).

La bahía **SCW** actuó como sumidero de nitrógeno inorgánico en julio/2005, en los restantes muestreos fue fuente de estos compuestos, el sistema actuó como sumidero de nitrógeno orgánico en mayo/2002. La bahía **GLO** obró como fuente de nitrógeno inorgánico en abril/2002 y sumidero en junio/2005, los presupuestos de nitrógeno orgánico tuvieron un comportamiento opuesto (Tabla 3).

Los presupuestos de carbón orgánico tuvieron siempre signo negativo en **CARW** y fueron positivos en **CARE** (Tabla 3), la primera zona actuó como sumidero y la otra área se comportó fuente. La bahía **SCW** fue sumidero en mayo/2002 y julio/2005, y en mayo/2001 fue fuente. En el caso **GLO** el sistema fue sumidero en ambos muestreos, aunque el presupuesto en la época de seca tuvo un valor muy superior a junio/2005. El que los ecosistemas costeros se comporten como fuente neta o sumidero de carbón es discutible, en gran parte porque en respuesta a los cambios externos los sistemas varían substancialmente (Hung & Kuo, 2002).

El comportamiento de los cuerpos de agua como sumidero o fuente de nitrógeno, fósforo y carbón, pudo deberse la asimilación y desasimilación por los productores primarios, los procesos de mineralización de la materia orgánica y las fluctuaciones en el tiempo del

escurrimiento terrestre. En el caso de **CARW**, estuvieron influenciados por los flujos de aguas residuales domésticas e industriales, ricas en compuestos biógenos. En sistemas marinos de circulación restringida juegan un importante papel el reciclamiento de los nutrientes y la descomposición de la materia orgánica, y la influencia antropogénica incrementa la descarga de nutrientes (Sylaios, 2003 y Smith & Hollibaugh, 2006).

En los sistemas **CARW**, **CARE** y **SCW** el comportamiento de los flujos residual V_R y de mezclado V_X de los materiales no conservativos fue muy heterogéneo (Tabla 4), **CARE** enriqueció el mar abierto con nitrógeno inorgánico y orgánico, carbón orgánico de manera fundamental a través V_X en mayo/2001 y julio/2005, aunque el sistema **CARE** exportó carbón orgánico al mar abierto en mayo/2002. Los cuerpos de agua que interaccionan con **CARE** fueron emisores o receptores de nitrógeno y fósforo inorgánico y orgánico, y carbón orgánico en dependencia de las concentraciones en los mismos, respecto al sistema **CARE**.

La bahía **GLO** en abril/2002 importó fósforo y nitrógeno desde el mar abierto por medio del mezclado de las aguas, y exportó pequeñas cantidades de estos compuestos desde el ambiente oceánico a través de V_R en junio/2005 (Tabla 4), este cuerpo de agua importó desde el mar abierto carbón orgánico por medio de ambos flujos en abril/2002, mientras que en junio/2005 los flujos tuvieron signo diferente incorporando 38 mol C.O. d^{-1} por medio de V_X y aportando al mar abierto 20 mol C.O. d^{-1} a través de V_R .

Tabla 4 Flujos de nitrógeno total inorgánico NTI, nitrógeno orgánico N.O., fósforo inorgánico P.I., fósforo orgánico P.O. y carbón orgánico C.O., en los muestreos realizados a las bahías de Cárdenas Oeste **CARW**, Cárdenas Este **CARE**, Santa Clara Oeste **SCW** y La Gloria **GLO**. (mol $d^{-1} \times 10^6$).

Table 4. Flows of total inorganic nitrogen NTI, organic nitrogen N.O., inorganic phosphorus P.I., organic phosphorus P.O., and organic carbon C.O., in the samplings carried out in the bays West Cardenas **CARW**, East Cardenas **CARE**, West Santa Clara **SCW** and La Gloria **GLO**. (mol $d^{-1} \times 10^6$).

Bahía		Mayo de 2001		Mayo de 2002		Julio de 2005	
		F_{R-Y_R}	$F_X(Y_2-Y_1)$	F_{R-Y_R}	$F_X(Y_2-Y_1)$	F_{R-Y_R}	$F_X(Y_2-Y_1)$
CARW	NTI	6,01	-306	0,09	12	-1,22	7,84
	N. O.	91	3790	0,17	13	-1,91	9,98
	P.I.	0,20	-4,10	4,65	368	-25	-347
	P.O.	0,51	-25	0,01	0,44	-0,11	-1,58
	C.O.	336	-3040	8,76	1660	-38	-173
CARE	NTI	0,75	-25,2	0,08	0,29	-0,51	-15
	N. O.	20	-551	0,13	-0,53	-0,83	-13
	P.I.	0,05	0,22	3,07	-34	-13	792
	P.O.	0,17	4,56	0,02	0,20	-0,05	2,02
	C.O.	49	-2110	4,37	-29	-14	-134
SCW	NTI	2,80	-59	0,28	-9,99	-1,23	5,02
	N. O.	41	1060	0,43	-9,86	-1,85	6,15
	P.I.	0,08	0,48	7,17	37	-13	-104
	P.O.	0,19	-0,41	0,03	-0,52	-0,07	0,36
	C.O.	147	661	10	-14	-26	-92
GLO	NTI			5,90	-41	-0,64	2,27
	N. O.			42,8	-82	-5,26	27
	P.I.			0,64	-1,41	-0,01	0,07
	P.O.			1,53	-3,34	-0,07	-0,22
	C.O.			259	726	-20	38

Metabolismo neto y de nitrógeno de los ecosistemas.

El **MNE** para la vegetación sumergida y circundante, tuvo signo positivo en mayo/2001 en las bahías **CARW**, **CARE** y **SCW**, lo que indica que hubo un predominio de la producción primaria sobre la respiración, en mayo/2002 prevalecieron los procesos de respiración en **CARE**, en los sistemas **CARW** y **SCW** la respiración fue superior a la fotosíntesis en julio/2005 (Tabla 5). La Gloria se mostró un carácter heterotrófico en abril/2002 y autotrófico en el último muestreo. No obstante, los valores *p-r* fueron inferiores los calculados para las bahías **CARW**, **CARE** y **SCW** (Tabla 5). En estos cuerpos de aguas costeras los manglares y pastos marinos fueron los que aportaron mayor cantidad de materia orgánica a través de la fotosíntesis (Tabla 5), en el caso de **CARW** hubo ausencia de pastos marinos. Los valores del **MNE** para el fitoplancton en la bahía **GLO** fueron inferiores a los reportados por Sylaios (2003) para el Golfo de Strymonicos ($2,68 \text{ mmol m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) y la bahía Jigüey (Montalvo & Losa, 2006), ambos cuerpos de aguas se caracterizaron por tener una escasa influencia antropogénica, al igual de la bahía objeto de estudio. En las otras bahías los valores de *p-r* fueron similares a los reportados para la bahía de San Francisco por Smith & Hollbaugh (2006).

Las estimaciones del metabolismo del nitrógeno dieron como resultado que los procesos de desnitrificación se manifestaron en **CARE** en los dos primeros muestreos y en los sistemas **CARW** y **SCW** en julio/2005, en el caso de La Gloria prevaleció la fijación de nitrógeno aunque las tasas fueron bajas respecto a los otros sistemas estudiados (Tabla 5).

Tabla 5. Metabolismo neto del ecosistema *p-r* (producción primaria-respiración) y metabolismo del nitrógeno *fnit-desnit* (fijación de nitrógeno-desnitrificación), expresados en $\text{mmol m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, en los muestreos realizados a las bahías de Cárdenas Oeste **CARW**, Cárdenas Este **CARE**, Santa Clara Oeste **SCW** y La Gloria **GLO**.

Table 5. Net metabolism of the ecosystem *p-r* (primary production-respiration) and nitrogen metabolism of *fnit-desnit* (nitrogen fixation-denitrification), expressed in $\text{mmol m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, in the samplings carried out in the bays West Cardenas **CARW**, East Cardenas **CARE**, West Santa Clara **SCW**, and La Gloria **GLO**.

Bahía	Muestreo	<i>p-r</i>			<i>fnit-desnit</i>		
		Fito-plancton	Pastos	Mangle	Fito-plancton	Pastos	Mangle
CARW	Mayo de 2001	11,01		114,22	13,88		12,79
CARE	Mayo de 2001	0,14	0,64	1,42	-2,78	-3,06	-2,68
SCW	Mayo de 2001	0,16	0,73	1,61	3,04	3,08	3,02
CARW	Mayo de 2002	113,31		1175,82	17,59	33,22	12,00
CARE	Mayo de 2002	-16,12	-76,05	-167,31	-2,72	-4,87	-1,96
SCW	Mayo de 2002	12,15	57,29	126,04	2,67	4,29	2,09
GLO	Abril de 2002	-0,13	-0,59	-1,30	0,09	0,18	0,06
CARW	Julio de 2005	-89,09		-924,55	-12,91		-8,97
CARE	Julio de 2005	401,03	1891,65	4161,62	60,29	113,12	41,42
SCW	Julio de 2005	-31,96	-150,77	-331,70	-4,83	-9,07	-3,32
GLO	Junio de 2005	0,01	0,04	0,10	0,04	0,04	0,03

CONCLUSIONES

- Las pérdidas de agua por evaporación fueron compensadas en la época de seca por el flujo de mezclado con el mar abierto y en el período lluvioso por las precipitaciones.

- Los presupuestos y flujos de agua, sal y materiales no conservativos carecieron de un patrón definido en las bahías.
- El **MNE** arrojó que las bahías **CARW**, **CARE** y **SCW** tuvieron un comportamiento autotrófico en la época de seca y heterotrófico en la de lluvias, en el sistema **GLO** la conducta fue inversa, y el metabolismo del nitrógeno reflejó que prevaleció el proceso de fijación de nitrógeno sobre la desnitrificación.

BIBLIOGRAFÍA

- Alcolado, P. M., García, E. E. & Espinosa, N. (1999). Protección de la biodiversidad y desarrollo sostenible en el Ecosistema Sabana-Camagüey. Proyecto GAEF/PNUD Sabana-Camagüey CUB/92/G31, CESYTA S.L., Madrid.
- Alcolado, P. M., García E. E. & Arellano-Acosta, D. M. (2007). Proyecto PNUD/GEF Sabana-Camagüey en: Ecosistema Sabana-Camagüey. Estado actual, avances y desafíos en la protección y el uso sostenible de la biodiversidad. (Ed. P. M. Alcolado, E. E. García & M. Arellano-Acosta). Editorial Academia. La Habana 2007. Proyecto PNUD/GEF Sabana-Camagüey CUB/98/G32, CUB/99/G81. 183 pp.
- De la Lanza, G. & Rodríguez, A. (1992). Nutrient exchange between subtropical lagoons and the marine environment. *Estuaries*. 16:273-279
- FAO (1975). Manual of Methods in Aquatic Environmental Research part-1. Methods for detection and monitoring of water pollution. FAO Fish. Tech. Paper. 137, 237 pp.
- Fernández, L. & Chirino, A. L. (1993). Atlas Oceanográfico de las aguas del Archipiélago Sabana - Camagüey. Instituto Cubano de Hidrografía. La Habana 235 pp.
- Giordani, G., Viaroli, P., Swaney, D. P., Murray, C. N., Zaldívar J. M. & Marshall Crossland, J. I. (2005). Nutrient fluxes in transitional zones of the Italian coast. LOICZ Reports & Studies No. 28, LOICZ, Texel, the Netherlands. 157 pp.
- Gordon, J. R., Bourdreau, D. C., Mann, P. R., Ong, K. H., Silvert, J. E., Smith, W. L., Wattayarom, S. V., Wulff, G. & Yanagi, T. (1996). LOICZ Biogeochemical modeling guidelines. LOICZ Reports & Studies No 5, Texel, The Netherlands. 96pp.
- Hemmingo, A. H. & Duarte, C. M. (2000). Seagrass Ecology. Cambridge University Press. 298 pp.
- Hung, J.-J. & Kuo, F. (2002). Temporal variability of carbon and nutrient budgets from a tropical lagoon in Chiku, Southwestern Taiwan. *Estuarine, coastal and shelf science*. 54,887-900
- IOC-UNESCO (1983). Chemical methods for use in marine environmental monitoring. Manual and guides, No. 12. 53 pp.
- Kjerfve, B., Wiebe, W. J., Kremer, H. H., Salomons, W. y Marshall Crossland, J.I. (Caribbean); Morcom, N., Harvey, N. & Marshall Crossland, J.I. (Oceania). (2002). Caribbean Basins: LOICZ Global Change Assessment and Synthesis of River Catchment/Island-Coastal Sea Interaction and Human Dimensions; with a desktop study of Oceania Basins. LOICZ Reports y Studies No. 27, LOICZ, Texel, The Netherlands. 174 pp.
- Montalvo, J. F. & Losa, 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.
- Ngusaru, A. S. & Mohammed, S. M. (2002). Water, SALT and Stoichiometrically Linked Nutrient Budgets for Chwaka Bay, Tanzania. *Western Indian Ocean J. Mar. Sci.* 1:97-106
- Perigó, E. Ramírez, O. Montalvo, J. F., Suárez, G. & Niévares. A. (2004). Presiones antropogénicas relacionadas con el comportamiento, hidrodinámica, flujos e intercambio de compuestos biógenos en el estuario del río Las Casas, Isla de la Juventud, Cuba. *Revista CENIC, Ciencias Biológicas*, Vol. 36, No. Especial



- Redfield, A. C. (1958). The biological control of chemical factors in the environment. *American Science*. 46: 205–222.
- Regadera, R., Tur, A., Palacios, F., Ramírez, M., Mancebo, H., Beltrán, J., Ramírez, M., Ruiz, F. & Potrillé, F. (2011). Diagnóstico de la calidad ambiental del ecosistema de la Zona Varadero-Cárdenas. Informe Final. Resultado 02. Proyecto 003072 “Evaluación y control de la contaminación marina en las bahías de Cienfuegos, Zona Varadero-Cárdenas, Matanzas, Mariel, Nuevitás, Nipe, Puerto Padre y Santiago de Cuba” del PRCT “Protección del Medio Ambiente y el desarrollo sostenible cubano”, Centro de Ingeniería y Manejo Ambiental de Bahías y Costas, Cuba, 60 pp.
- Sheldon, J. E. & Alber, M. (2006). The calculation of estuarine turnover times using freshwater fraction and tidal prism models: A critical evaluation. *Estuarine and Coasts*. 29:133-146
- Smith, S. V. & Hollibaugh, J. T. 2006. Water salt and nutrient exchanges in San Francisco Bay. *Limnology and Oceanography*. 51:504-517
- Smith, S.V., Marshall Crossland, J.I. & Crossland, C.J. (1999). Mexican and Central American Coastal Lagoon Systems: Carbon, Nitrogen and Phosphorus Fluxes (Regional Workshop II), LOICZ Reports y Studies No. 13, LOICZ IPO, Texel, The Netherlands. 120 pp.
- 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*. 57:843-858
- Sylaios, G. (2003). A budget model of water, salt and non-conservative nutrients in Strymonikos and Ierissos Gulfs. *European Water*. 1-2:31-36
- Talaue-McManus, L., Smith, S. V. & Buddemeier, R. W. (2003). Biophysical and socio-economic assessments of the coastal zone: the LOICZ approach. *Ocean y Coastal management*. 46:323-333
- Turner, R.K, Adger, W.N. & Lorenzoni, I. (1998). Towards Integrated Modelling and Analysis in Coastal Zones: Principles and Practices, LOICZ Reports & Studies No. 11, 122 pp. LOICZ IPO, Texel, The Netherlands. 122 pp.

Recibido: mayo de 2011.

Aceptado: agosto de 2011.