



Compuestos del ciclo del carbono en la zona litoral del municipio Playa, Ciudad de la Habana, Cuba.
Carbon cycle compounds in the coastal zone of Playa Municipality, Havana City, Cuba.

Montalvo, J. F., García, I., Esponda, S.C., Cesar, M.E. y O. Albuquerque
Instituto de Oceanología. CITMA, Calle 1ra # 18406, Reparto Flores, Playa, Ciudad de la Habana. montalvo@oceano.inf.cu

RESUMEN

Se realizaron cinco muestreos entre enero de 2007 y junio de 2008 a la zona costera del municipio Playa, con el fin de evaluar los contenidos de los compuestos del ciclo del carbono. Los parámetros estudiados en la matriz agua fueron carbón orgánico, pH, alcalinidad total, alcalinidad al carbonato, dióxido de carbono total, dióxido de carbono libre, presión parcial de CO₂, y contenidos de bicarbonato y carbonato. Los compuestos de carbono orgánico e inorgánico tuvieron una distribución muy heterogénea, los valores de pH (8,24±0,22) y alcalinidad total (2523±119 μmol/kg) indican que el área tiene un comportamiento alcalino, estos montos fueron similares a los encontrados en aguas de la plataforma marina cubanos y superiores a los consignados para el ambiente oceánico. El bicarbonato constituye el 77 % del carbono inorgánico total.

ABSTRACT

Five samplings were carried out between January 2007 and June 2008 in the coastal zone of Playa Municipality, with the purpose of evaluating the contents of carbon cycle compounds. The studied water matrix parameters were organic carbon, pH, total alkalinity, carbonate alkalinity, total carbon dioxide, free carbon dioxide, partial CO₂ pressure, and bicarbonate and carbonate contents. Organic and inorganic carbon compounds presented a very heterogeneous distribution; pH values (8,24±0,22) and total alkalinity (2523±119 μmol/kg) indicate that the area has an alkaline behavior. These values were similar to those found in waters of the Cuban marine shelf, and higher than those registered for the oceanic environment. Bicarbonate ions constitute 77% of the total inorganic carbon.

Palabras clave: Cambio climático, dióxido de carbono, alcalinidad, zona costera.

Key words: Climate Change, carbon dioxide, alkalinity, coastal zone.

INTRODUCCION

El continuo incremento de la concentración del CO₂ en la atmósfera trae como resultado un mayor flujo neto de carbón hacia la superficie oceánica afectando a los organismos marinos que tiene estructuras calcáreas (Lueker, Dickson, y Keeling, 2000 y Pelejero, Calvo, McCulloch, Marshall, Gagan, Lough y Opdyke, 2005). El aumento de concentración de CO₂ en el agua del mar trae aparejado el proceso de acidificación del océano, que conlleva un aumento medible de la acidez (es decir, una disminución del pH del océano), esto provoca una disminución de la tasa de calcificación en los organismos que experimentan ese proceso [*corales, moluscos, algas, o crustáceos*], (IPCC, 2000 y Nakićenović, Alcamo, Davis, de Vries, Fenhann, Gaffin, Gregory, Grübler, Jung, Kram, La Rovere, Michaelis, Mori, Morita, Pepper, Pitcher, Price, Raihi, Roehrl, Rogner, Sankovski, Schlesinger, Shukla, Smith,

SSwart, van Rooijen, Victor, y. Dadi , 2000). Para 2100, es muy probable que el pH del océano sea menor que el de los últimos 20 millones de años (Parry, Canziani, Palutikof y Coautores, 2007).

La cuantificación del balance oceánico para CO₂ es vital para la comprensión del ciclo del carbono, principalmente para disminuir las incertidumbres en las predicciones del futuro impacto de emisiones de CO₂ sobre el clima (Joos, 1996). Es necesario realizar estudios a pequeña escala para elucidar el mecanismo por el cual es absorbido el CO₂ en las zonas costeras de conjunto, con los ciclos de nutrientes y la materia orgánica. Estos requieren mediciones del CO₂ con sistemas de alta resolución que incluyan los parámetros alcalinidad total, carbón inorgánico disuelto total y fugacidad del CO₂ (Watanabe, Kayanne, Nozaki, Kato, Negishi, Kudo, Kimoto, Tsuda y Dickson, 2004).

El objetivo de este trabajo fue evaluar los contenidos de los compuestos, que integran el ciclo del carbono en la zona costera del municipio Playa de la Ciudad de la Habana, entre enero del 2007 y junio del 2008.

MATERIALES Y METODOS

Se realizaron cinco muestreos a la zona costera del municipio Playa, Ciudad de la Habana, entre enero de 2007 y junio de 2008. La toma de muestras se realizó de forma manual dada la poca profundidad del área estudiada. La red de puntos de muestreos se representa en la figura 1.

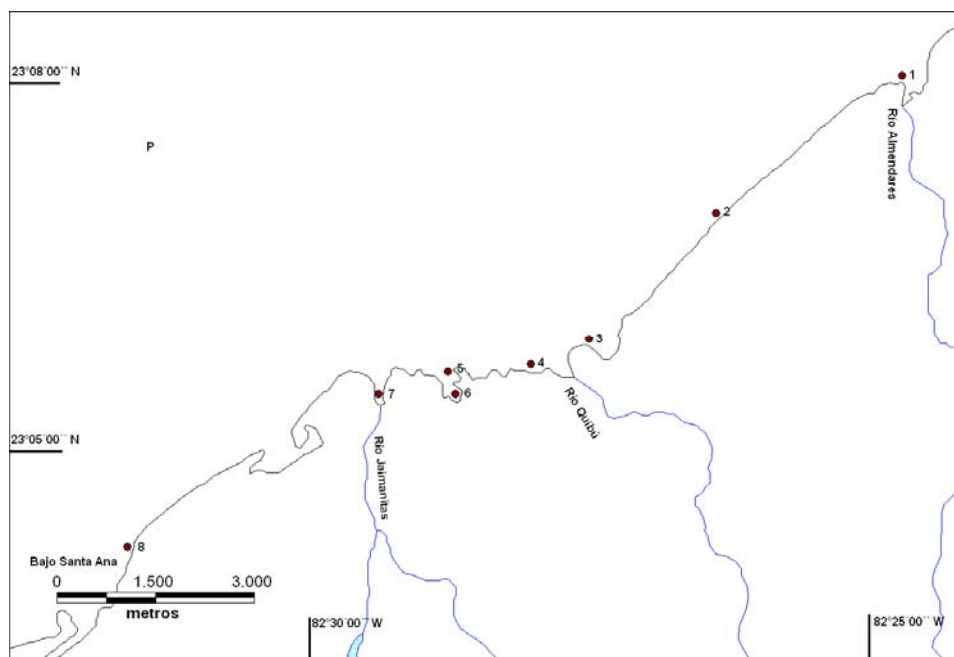


Figura 1. Red de puntos de muestreo en la zona costera del municipio Playa, Ciudad de la Habana.

Figure 1. Network of sampling points in the coastal zone of Playa Municipality, Havana City.

El carbón orgánico **C.O.** se estimó a partir de las medidas de DQO por permanganato de potasio en medio alcalino (FAO, 1975), empleando el coeficiente de conversión propuesto por De la Lanza y Rodríguez (1992). Los parámetros relacionados con el ciclo del dióxido de carbono pH, alcalinidad total **AT**, alcalinidad al carbonato **ACO₃**,

contenido total de dióxido de carbono TCO_2 , presión parcial de dióxido de carbono $p\text{CO}_2$, concentración de dióxido de carbono libre, concentración de bicarbonato y concentración de carbonato se cuantificaron según las metodologías propuestas por Strickland y Parsons (1972). Para el análisis estadístico y construcción de diagramas de distribución se emplearon los programas Excel, Statistica 7.0 y Mapinfo 8.5.

RESULTADOS Y DISCUSION

Carbón orgánico.

Las concentraciones de carbón orgánico fueron desde 20,35 hasta 283,22 $\mu\text{M}/\text{kg}$, los contenidos mayores se encontraron en los muestreos realizados en la etapa de lluvias, del año 2008, estos valores superaron a los medidos en el 2007 (Fig. 2A), aunque la prueba F arrojó que no hubo diferencias entre los tenores en ambos períodos climáticos ($F_{1,42} < F_{t2,15}$, $n = 15:22$, $\alpha = 0,05$). El parámetro mostró una distribución espacial poco homogénea, los puntos de muestreo 4 y 7 situados en las cercanías de las desembocaduras de los ríos Quibú y Jaimanitas, fueron los más ricos en este tipo de componentes del ciclo del carbono, con una alta variabilidad en las concentraciones (Fig. 2B). El carbón orgánico tuvo correlaciones inversas con el CO_2 total (-0,70) y la $p\text{CO}_2$ (-0,50), con el pH la correlación fue directa 0,74; sugiriendo que parte de la materia orgánica existente en agua es generada por la fotosíntesis fitoplanctónica desplazando el equilibrio bicarbonato-carbonato, hacia esa última especie como consecuencia del consumo de HCO_3^{-1} por los productores primarios. Las algas marinas toman el carbono inorgánico para desarrollar los procesos a expensas del bicarbonato, mientras que los pastos marinos emplean el CO_2 libre (Gattuso y Buddemeier, 2000).

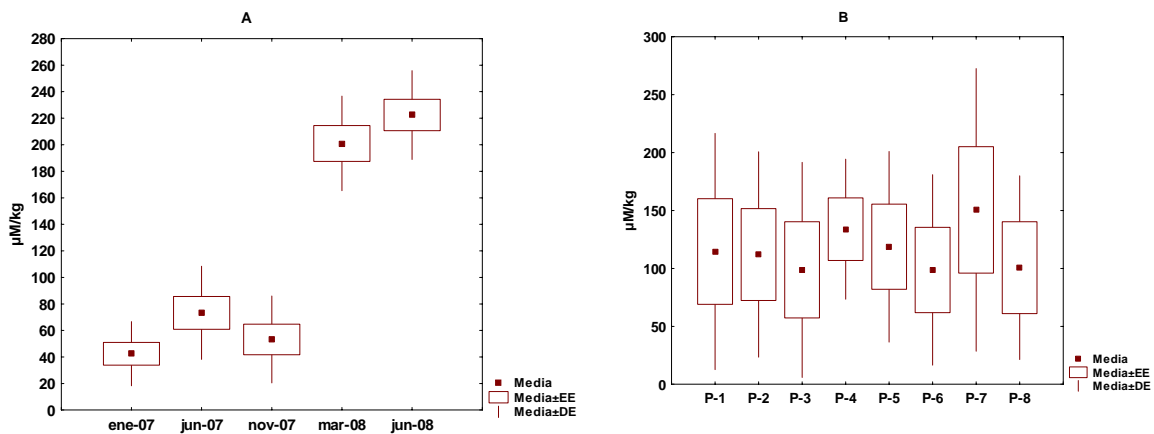


Figura 2. Concentraciones media de carbón orgánico, media ■, media \pm error estándar **EE** □ y media \pm desviación estándar **DE** |, en los muestreos realizados entre enero/2007 y junio/2008 **A** y puntos de muestreo **B**, en la zona costera del municipio Playa, Ciudad la Habana, Cuba.

Figure 2. Mean concentrations of organic carbon, mean ■, mean \pm standard error **EE** □ and mean \pm standard deviation **DE** |, in the samplings carried out between January/2007 and June/2008 **A** and sampling points **B**, in the coastal zone of Playa Municipality, Havana City, Cuba.

Potencial de hidrógeno (pH).

Los valores de pH fueron típicos de un medio ligeramente alcalino, los más bajos se encontraron en enero/2007. En el mismo se encontró el mínimo absoluto de la etapa de estudio, en el punto cercano a la desembocadura del río Almendares, el máximo de la etapa analizada fue en punto 8 ubicado en el Bajo Santa Ana en junio de 2008 (Tabla 1).

Como se planteó con anterioridad presentó una correlación directa con el carbón orgánico, otra correlación positiva fue con el carbonato. Con el TCO₂, el CO₂ libre, la presión parcial de CO₂ y el bicarbonato las correlaciones fueron inversas (Tabla 2). La concentración de carbonato en agua es la que le imprime un carácter ligeramente alcalino a la zona, los valores de pH > 8,2 constituyeron el 61 % de las mediciones. En los muestreos en que hubo mayor contenido de CO₂ total y altas presiones de CO₂, el equilibrio ácido carbónico-bicarbonato-carbonato se desplazó hacia las formas menos disociadas, haciendo que el agua tenga un pH más bajo, y a medida que decrece el contenido de dióxido de carbono libre el potencial de hidrógeno se incrementa.

Tabla 1. Valores medio, mediana, desviación estándar **DE**, mínimo y máximo del potencial de hidrógeno en los muestreos realizados a la zona costera del municipio Playa, Ciudad de la Habana, Cuba en enero/2007 **I**, junio/2007 **II**, noviembre/2007 **III**, marzo/2008 **IV** y junio/2008 **V**.

*Table 1. Mean values, median, standard deviation **DE**, minimum and maximum of hydrogen potential in the samplings carried out in the coastal zone of Playa Municipality, Havana City, Cuba in January/2007 **I**, June/2007 **II**, November/2007 **III**, March/2008 **IV**, and June/2008 **V**.*

	Muestreos				
	I	II	III	IV	V
Media	7,96	8,21	8,20	8,32	8,52
Mediana	7,99	8,18	8,26	8,32	8,50
DE	0,18	0,10	0,14	0,05	0,08
Mínimo	7,53	8,10	7,94	8,27	8,39
Máximo	8,12	8,38	8,31	8,39	8,64

Tabla 2. Correlaciones entre los parámetros estudiados del ciclo del carbono en la zona costera del municipio Playa, Ciudad la Habana, Cuba.

Table 2. Correlations between the studied parameters of the carbon cycle in the coastal zone of Playa Municipality, Havana City, Cuba.

	pH	C. O.	AT	ACO ₃	TCO ₂	CO ₂ libre	HCO ₃ ⁻¹	CO ₃ ²⁻	pCO ₂
pH	1,000								
C.O.	0,735	1,000							
AT	0,071	-0,122	1,000						
ACO ₃	0,107	-0,077	0,899	1,000					
TCO ₂	-0,627	-0,704	0,456	0,481	1,000				
CO ₂ libre	-0,792	-0,480	-0,213	-0,129	0,519	1,000			
HCO ₃ ⁻¹	-0,538	-0,458	-0,400	-0,103	0,293	0,676	1,000		
CO ₃ ²⁻	0,411	0,366	-0,153	0,172	-0,408	-0,270	0,257	1,000	
pCO ₂	-0,767	-0,501	-0,045	0,001	0,682	0,865	0,489	-0,336	1,000

Alcalinidad total (AT) y al carbonato (ACO₃).

En la zona litoral del municipio Playa entre las desembocaduras de los ríos Almendares y Santa Ana, la alcalinidad total mostró poca variabilidad con valores que fluctuaron entre 2323 y 2464 $\mu\text{M}/\text{kg}$ (Tabla 3). Los contenidos promedio y mediana en los períodos climáticos de seca y lluvias fueron similares, el análisis de varianza entre dichas etapa arroja que no existieron diferencias significativas ($F_{1,81} < F_{t2,15}$, $n = 15:22$, $\alpha = 0,05$), los valores superiores se midieron en noviembre de 2007 (Tabla 3). La alcalinidad al carbonato representó el 97 % de la alcalinidad total, sus concentraciones fueron desde 2303 a 2433 $\mu\text{M}/\text{kg}$. En la etapa de seca el parámetro mostró concentraciones ligeramente inferiores, con diferencias entre los montos en la época de seca y lluvias ($F_{2,16} > F_{t2,15}$, $n = 15:22$, $\alpha = 0,05$). Los contenidos mayores fueron noviembre de 2007, y el máximo puntual correspondió a este muestreo (Tabla 3). Los contenidos de alcalinidad total y alcalinidad al carbonato en los meses de lluvia, fueron algo mayores que los reportados para el Golfo de Batabanó y Bahía Honda en septiembre de 2005 (Montalvo, García y Barrier, 2007), pero superiores a los consignados para ambientes netamente oceánicos (Millero, Dickson, Eischeid, Goyet, Guenther, Johnson, Key, Lee, Purkerson, Sabine, Schottle, Wallace, Lewis, y Winn 1998).

Tabla 3. Media, mediana, desviación estándar DE, mínimo y máximo de las concentraciones de alcalinidad total AT y alcalinidad al carbonato, en los muestreos realizados en enero/2007 I, junio/2007 II, noviembre/2007 III, marzo/2008 IV y junio/2008 V.

Table 3. Mean, median, standard deviation DE, minimum and maximum of total alkalinity AT and carbonate alkalinity concentrations, in the samplings carried out in January/2007 I, June/2007 II, November/2007 III, March/2008 IV, and June/2008 V.

Muestreo	I	II	III	IV	V
AT $\mu\text{M}/\text{kg}$					
Media	2403	2608	2625	2407	2445
Mediana	2402	2606	2637	2398	2488
DE	39	34	41	46	161
Mínimo	2332	2572	2558	2361	2257
Máximo	2462	2656	2688	2489	2649
ACO ₃ $\mu\text{M}/\text{kg}$					
Media	2374	2499	2523	2094	1996
Mediana	2372	2509	2527	2096	2041
DE	39	38	51	54	161
Mínimo	2303	2446	2432	1990	1854
Máximo	2433	2563	2578	2156	2093

Contenido total de CO₂.

La concentración de dióxido de carbono total osciló entre 1854 y 2450 $\mu\text{M}/\text{kg}$, los contenidos inferiores se encontraron en los muestreos realizados en el período lluvioso (Tabla 4), aunque no se encontraron diferencias significativas entre los contenidos de CO₂ total en la época de seca y la de lluvias ($F_{1,43} < F_{t2,15}$, $n = 15:22$, $\alpha = 0,05$). El punto de muestreo 5 fue el de mayor disponibilidad (2215 ± 164 $\mu\text{M}/\text{kg}$) y las concentraciones más bajas fueron en el punto 4 (2094 ± 131 $\mu\text{M}/\text{kg}$). El primero está al norte de Playa Viriato con una marcada influencia oceánica y el punto 4 recibe la

influencia de las aguas contaminadas por materia orgánica del río Quibú. Los contenidos en el área en algunos casos superan con creces a los consignados para el océano y lugares donde no se recibe de forma directa las descargas fluviales y el escurrimiento terrestre. En la capa superficial del Mar Arábigo se reportan concentraciones de CO₂ total entre 2040 y 2150 μMkg (Goyet, Metzl, Millero, Eiseheid, Sullivan, y Po, 1998). Los ríos aportan a la zona costera montos considerables de carbón inorgánico fundamentalmente como bicarbonato (Probs, Nkounkou, Krempp, Bricquet, Thibaux y Olivry, 1992 y Bakker, de Baar, y de Jong, 1999).

Tabla 4. Valores medio, mediana, desviación estándar **DE**, mínimo y máximo de CO₂ total en los muestreos en los muestreos realizados a la zona costera del municipio Playa, Ciudad de la Habana, Cuba en enero/2007 **I**, junio/2007 **II**, noviembre/2007 **III**, marzo/2008 **IV** y junio/2008 **V**.

*Table 4. Mean values, median, standard deviation **DE**, minimum and maximum of total CO₂ in the samplings carried out in the coastal zone of Playa Municipality, Havana City, Cuba in January/2007 **I**, June/2007 **II**, November/2007 **III**, March/2008 **IV**, and June/2008 **V**.*

	I	II	III	IV	V
Media	2232	2196	2243	2094	1996
Mediana	2206	2235	2203	2096	2041
DE	90	84	127	54	100
Mínimo	2142	2083	2091	1990	1854
Máximo	2433	2307	2450	2156	2093

Presión parcial de CO₂ (pCO₂) y dióxido de carbono libre.

En la zona litoral de Playa la presión parcial de dióxido de carbono (pCO₂) tuvo una gran variabilidad fluctuando entre 132 y 1752 μatm, los valores mayores fueron en los meses de seca, correspondiendo a enero de 2007 los tenores superiores (Fig. 3A). El dióxido de carbono libre representa el 0,4 % del CO₂ total, se encontró una tendencia al decrecimiento de las concentraciones en los meses de lluvia (Fig. 3B), el máximo puntual 61,36 μM/kg se midió en enero de 2007 y la concentración menor (2,65 μM/kg) fue en el muestreo realizado en marzo del 2008. Entre ambos parámetros la correlación es directa (r = 0,68), ya que a medida que aumenta la pCO₂ en el agua se facilita el flujo del CO₂ desde la atmósfera a la capa superficial del mar, incrementando la concentración de dióxido de carbono libre en el ambiente marino. El intercambio de CO₂ entre la atmósfera y el océano depende de la presión parcial de CO₂ en la superficie del agua. Siendo necesario conocer la distribución de la pCO₂ en la superficie oceánica y su variación estacional para estimar el flujo de CO₂ desde la atmósfera hacia el océano (Copin-Montéguta, Milena Bégovica, y Merlivatb, 2004). El bajo contenido de CO₂ libre en la época de lluvias está relacionado con el desplazamiento del equilibrio (CO₂ + H₂O ↔ H₂CO₃ ↔ HCO₃¹⁻ ↔ CO₃²⁻), hacia el carbonato debido a una posible elevada producción primaria de las algas existentes en la zona, de acuerdo los montos de carbón orgánico encontrados, y también a un decrecimiento de la solubilidad del gas en agua, como consecuencia del incremento de la temperatura en el verano. La zona costera es la región donde los procesos físicos son muy variables, y las tasas de producción primaria y de reciclamiento de la materia orgánica son altas y volubles, conociéndose poco el efecto de estos factores sobre el flujo del CO₂ desde o hacia este ambiente (Boehme, Sabine y Reimers,

1998). El CO₂ antropogénico ha aumentado el carbono inorgánico disuelto en la capa superficial y profunda de los mares en un 3% (Sabine, Key, Feely, y Greeley, 2002). El Océano Atlántico Norte actúa como sumidero del CO₂ atmosférico en la actualidad absorbe 2932 ± 2057 del kmol s⁻¹ (Alvarez, Rios, Perez, Bryden y Ro, 2003).

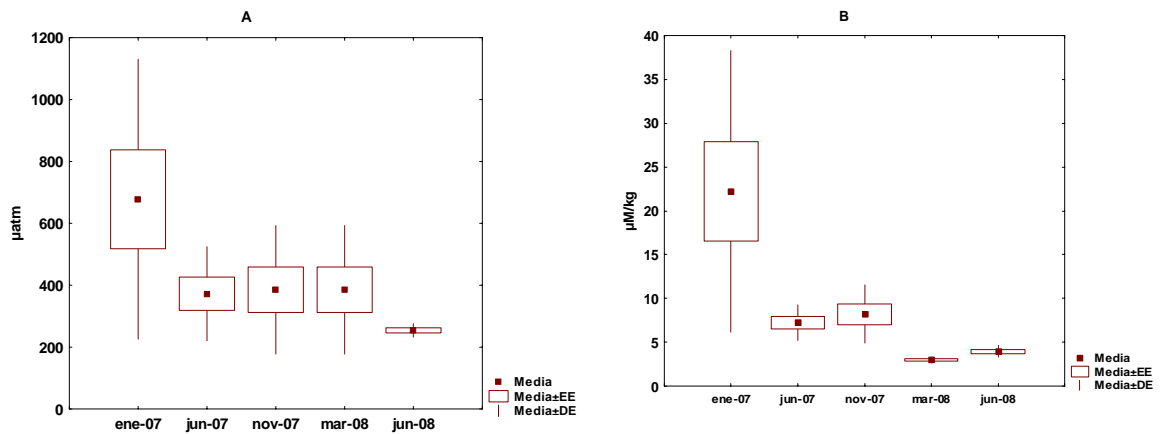
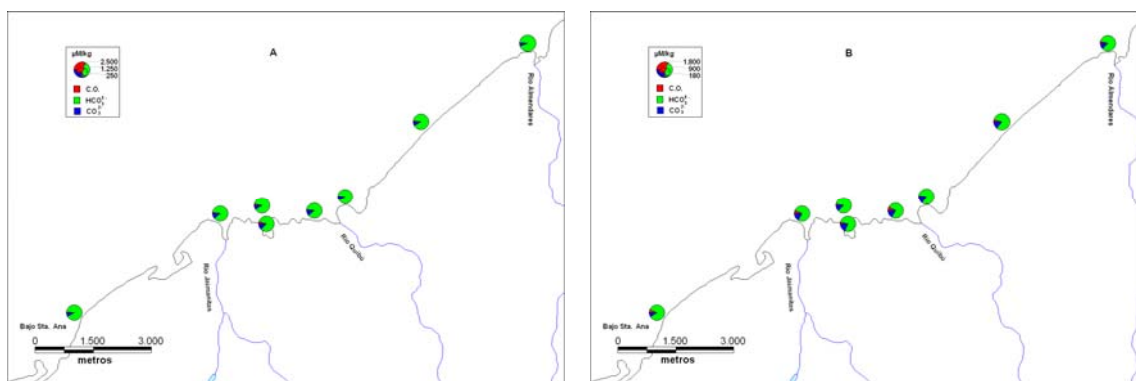


Figura 3. Media ■, media ± error estándar EE □ y media ± desviación estándar DE |, de presión parcial de CO₂ A y concentración de CO₂ libre B, en los muestreos realizados entre enero/2007 y junio/2008 en la zona costera del municipio Playa, Ciudad la Habana, Cuba.

Figure 3. Mean ■, mean ± standard error EE □ and mean ± standard deviation DE |, of CO₂ partial pressure A and free CO₂ concentration B, in the samplings carried out between January/2007 and June/2008 in the coastal zone of Playa Municipality, Havana City, Cuba.

Bicarbonato y carbonato

El tenor de bicarbonato fue muy heterogéneo, con concentraciones que variaron entre 544 y 2294 µM/kg. Esta especie conforma el 77 % del carbono total, los montos menores fueron en marzo de 2008, en todos los muestreos fue la forma predominante de carbono inorgánico (Fig. 4 A, B, D y E). Se encontraron diferencias significativas entre los contenidos de bicarbonato en la época de seca y el período lluvioso ($F_{15,51} > F_{t2,30}$, $n = 15:22$, $\alpha = 0,05$).



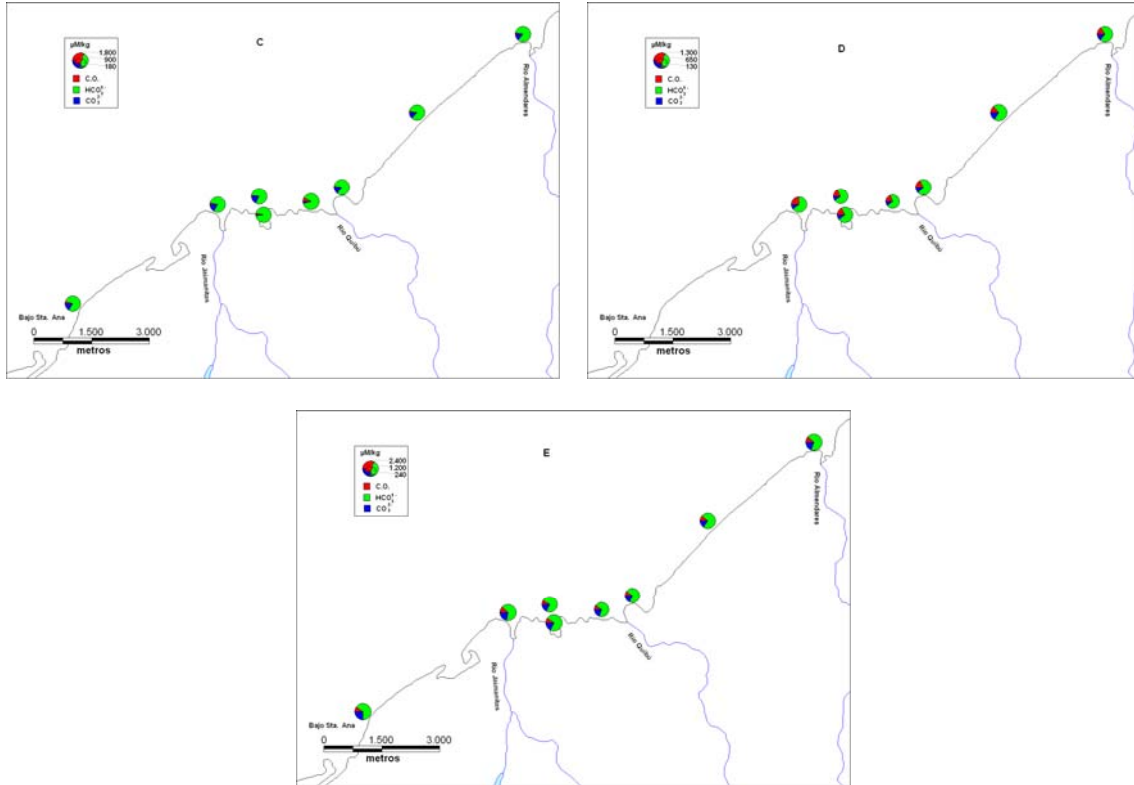


Figura 4 Concentraciones puntuales de carbón orgánico **C.O.**, bicarbonato HCO_3^{1-} y carbonato CO_3^{2-} en los muestreos realizados a la zona costera del municipio Playa, Ciudad Habana, en enero/2007 **A**, junio/2007 **B**, noviembre/2007 **C**, marzo/2008 **D** y junio/2008 **E**.

Figure 4 Punctual concentrations of organic carbon **C.O.**, bicarbonate HCO_3^{1-} and carbonate CO_3^{2-} in the samplings carried out in the coastal zone of Playa Municipality, Havana City, in January/2007 **A**, June/2007 **B**, November/2007 **C**, March/2008 **D** and June/2008 **E**.

Las zonas con mayor contenido de bicarbonato fueron la próxima a la desembocadura de río Almendares y la ubicada en la boca de la rada de Playa Viriato (punto de muestreo 5). El bicarbonato y el carbonato constituyen aproximadamente, el 98 % de la alcalinidad total a pH 8,1 (Bakker, de Baar y de Jong, 1999).

Los montos de carbonato fueron desde 48,29 hasta 585,37 $\mu\text{M}/\text{kg}$, el máximo se midió en el área del bajo Santa Ana en junio de 2008, en este cruce se midieron los mayores contenidos, coincidiendo con un incremento del pH, y constituyó el 23 % del CO_2 total. Los valores más bajos se reportan en marzo de 2008 (Fig. 4D), y representó al 7% del CO_2 total. Los puntos de muestreo situados en la desembocadura del río Jaimanitas (7) y en el Bajo de Santa Ana (8) fueron los de mayor riqueza en este ión con concentraciones medias del orden de 296 y 305 $\mu\text{M}/\text{kg}$, superiores a las consignadas por Orr, Fabry, Aumont, Bopp, Doney, Feely, Gnanadesikan, Gruber, Ishida, Joos, Key, Lindsay, Maier-Reimer, Matear, Monfray, Mouchet, Najjar,



Plattner, Rodgers, Sabine, Sarmiento, Schlitzer, Slater, Totterdell, Weirig, Yamanaka y Yo (2005), para aguas oceánicas tropicales ($240 \mu\text{M}/\text{kg}$), en los restantes puntos, los contenidos fueron similares al indicado por esos autores. La variabilidad de las concentraciones en la zona fue elevada, debido a que en la misma, hay lugares donde se recibe materia orgánica en diferente grado de descomposición a través de los ríos que desembocan en la misma, lo que provoca la disolución de los carbonatos al reaccionar con ácidos orgánicos. En otras áreas hubo un posible predominio de la actividad fotosintética que transforma el bicarbonato en carbonato. Entre la época de seca y lluvias, hubo diferencias significativas respecto al contenido de carbonato en agua ($F_{2,88} > F_{t2,15}$, $n = 15:22$, $\alpha = 0,05$). Estas diferencias se asocian a que los meses de seca del 2007 el contenido de CO_2 libre fue alto, favoreciendo los procesos de redisolución del carbonato tanto en agua como el sedimentado. La tasa de disolución de CaCO_3 en toda la columna de agua para todos los océanos es aproximadamente $0,5 \pm 0,2$ petagramos de $\text{CaCO}_3\text{-C}$ por año (Feely, Sabine, Lee, Berelson, Kleypas, Fabry y Sillero 2004).

CONCLUSIONES

La alta alcalinidad de la zona costera estudiada está condicionada por los aportes de bicarbonatos desde los ríos, los procesos de redisolución de los carbonatos y por la actividad fotosintética que se desarrolla en la misma.

Las concentraciones de bicarbonato y carbonato en la zona costera son similares, a zonas de la plataforma marina noroccidental y suroccidental del país.

BIBLIOGRAFIA

- Alvarez, M., Rios, A. F., Pérez, F. F., Bryden, H. L. y Roson, G. 2003. Transports and budgets of total inorganic carbon in the subpolar and temperate North Atlantic. *Global Biogeochemical Cycles*, 17: 1.
- Bakker, D. C. E., de Baar, H. J. W. y de Jong, E. 1999. The dependence on temperature and salinity of dissolved inorganic carbon in East Atlantic surface waters. *Marine Chemistry*, 65: 263 – 280.
- Boehme, S. E., Sabine, C. L. y Reimers, C. E. 1998. CO_2 fluxes from a coastal transect: a time-series approach. *Marine Chemistry*, 63: 49 – 67.
- Copin-Montéguta, C., Milena Bégovica, M. y Merlivatb, L. 2004. Variability of the partial pressure of CO_2 on diel to annual time scales in the Northwestern Mediterranean Sea. *Marine Chemistry*, 85: 169 – 189.
- De la Lanza, G. y Rodríguez, A. (1992) Nutrient exchange between subtropical lagoons and the marine environment. *Estuaries*. 16: 273 - 279.
- Feely, R. A., Sabine, C. L., Lee, K., Berelson, W., Kleypas, J., Fabry, V. J. y Millero, F. J. 2004. Impact of Anthropogenic CO_2 on the CaCO_3 System in the Oceans. *Science*, 305: 362 – 366.
- Gattuso, J. P. y Buddemeier, R. W. 2000. Calcification and CO_2 . *Nature*, 407: 311 - 312.
- Goyet, C., Metzl, N., Millero, F., Eischeid, G., Sullivan, D. O. y Poisson, A. 1998. Temporal variation of the sea surface CO_2 / carbonate properties in the Arabian Sea. *Marine Chemistry*, 63: 69 – 79.
- IPCC. 2000. Land Use, Land-Use Change, and Forestry: A Special Report of the IPCC, R.T. Watson, I.R. Noble, B. Bolin, N. H. Ravindranath, D.J. Verardo and D. J. Dokken, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, and New York, 377 pp.
- IPCC. 2007. Resumen para Responsables de Políticas. En, *Cambio Climático 2007: Impactos y Vulnerabilidad*. Contribución del Grupo de Trabajo II al Cuarto Informe

- de Evaluación del IPCC, M. L. Parry, O. F. Canziani, J. P. Palutikof, P. J. van der Linden y C.E. Hanson, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido.
- Joos, F. 1996. The atmospheric carbon dioxide perturbation. *Europhys News*, 27: 213 – 218.
- Lueker, T. J., Dickson, A. G. y Keeling, C. D. 2000. Ocean $p\text{CO}_2$ calculated from dissolved inorganic carbon, alkalinity, and equations for K_1 and K_2 : validation based on laboratory measurements of CO_2 in gas and seawater at equilibrium. *Marine Chemistry*, 70:105 – 119.
- Millero, F. J.; Dickson, A. G.; Eischeid, G., Goyet, K.; Guenther, P., Johnson, K. M., Key, R. M., Lee, K., Purkerson, D., Sabine, C. L.; Schottle, R. G., Wallace, D. W. R., Lewis, E. y Winn, C. D. 1998. Assessment of the quality of the shipboard measurements of total alkalinity on the WOCE Hydrographic Program Indian Ocean CO survey cruises 1994 –1996. *Marine Chemistry*, 63: 9 – 20.
- Montalvo, J. F., García, I. A. y Barrier, A. 2007. Régimen hidrológico y concentraciones de compuestos de carbón inorgánico en los golfos de Batabanó y Guanahacabibes y Bahía Honda, durante la etapa de lluvias del 2006. (Inédito) Informe Parcial de Proyecto: “Influencia de la variabilidad climática y los cambios globales sobre parámetros oceanográficos de la plataforma insular cubana, evaluación de los principales impactos sobre el medio ambiente marino costero”. PNCT: Cambios globales y evolución del medio ambiente cubano. 14 páginas, 8 figuras y 6 tablas.
- Nakićenović, N., Alcamo, J., Davis, G., de Vries, B., Fenhann, J., Gaffin, S., Gregory, A. Grübler, T.Y. Jung, T. Kram, E.L. La Rovere, L. Michaelis, S. Mori, T. Morita, K.; Pepper, W., Pitcher, H., Price, L., Raihi, K., Roehrl, A., Rogner, H. H., Sankovski, A., Schlesinger, M., Shukla, P., Smith, S., Swart, R., van Rooijen, S., Victor, N. y Dadi, Z. 2000. *Emissions Scenarios: A Special Report of Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, and New York, 599 pp.
- Orr, J. C., Fabry, V. J., Aumont, O., Bopp, L., Doney, S. C., Feely, R. A., Gnanadesikan, A., Gruber, N., Ishida, A., Joos, F., Key, R. M., Lindsay, K., Maier-Reimer, E., Matear, R., Monfray, P., Mouchet, A., Najjar, R. G., Plattner, G. K., Rodgers, K. B., Sabine, C. L., Sarmiento, J. L., Schlitzer, R., Slater, R. D., Totterdell, I. J., Weirig, M.-F., Yamanaka, Y. y Yool, A. 2005. Anthropogenic ocean acidification over the twenty-first century and its impact on calcifying organisms. *Nature*, 437: 681 – 686.
- Parry, M. L., Canziani, O. F., Palutikof, J. P. y Coautores. 2007. *Resumen Técnico. Cambio Climático 2007: Impactos, Adaptación y Vulnerabilidad. Aportes del Grupo de Trabajo II al Cuarto Informe de Evaluación del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático*. M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden y C.E. Hanson, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido.
- Pelejero, C., Calvo, E., McCulloch, M.T., Marshall, J. F., Gagan, M. K., Lough, J. M. y Opdyke, B. N. 2005. Preindustrial to Modern Interdecadal Variability in Coral Reef pH. *Science*, 309: 2204 - 2207
- Probst, J. L., Nkounkou, R. R., Krempp, G., Bricquet, J.P., Thibaux, J. P. y Olivry, J. L. 1992. Dissolved major elements exported by the Congo and the Ubangui rivers during the period 1987–1989. *Journal of Hydrology*, 135, 237– 257.
- Sabine, C. L., Key, R. M., Feely, R. A. y Greeley, D. 2002. Inorganic carbon in the Indian Ocean: Distribution and dissolution processes. *Global Biogeochemical Cycles*, 16: 4



- Strickland, J. D. H. y Parsons, T. R. 1968. *A practical Handbook of Seawater Analysis. Fisheries Research Board of Canada.* Editor: J. C. Stevenson. 311 pp.
- Watanabe, A., Kayanne, H., Nozaki, K., Kato, K., Negishi, A., Kudo, S., Kimoto, H., Tsuda, M. y Dickson, A. G. 2004. A rapid, precise potentiometric determination of total alkalinity in seawater by a newly developed flow-through analyzer designed for coastal regions. *Marine Chemistry*, 85: 75 – 87