

# Efecto de las precipitaciones en la calidad de las aguas de la bahía de Cienfuegos.

Autores: Mabel Seisdedo, Alain Muñoz.

Centro de Estudios Ambientales de Cienfuegos. E-mail: mabel@ceacgm.peria.inf.cu

## Resumen:

Se estudió el efecto de las precipitaciones sobre las características hidroquímicas de la Bahía de Cienfuegos mediante el análisis de las correlaciones entre los valores promedio por año de precipitaciones y de algunos parámetros hidroquímicos de esta bahía. Los datos fueron tomados desde 1994 hasta el 2001 y se analizó la distribución espacial y el comportamiento temporal de este sistema. El análisis temporal distinguió dos grupos de meses asociados a los períodos climáticos imperantes sobre esta bahía (seca y húmeda), aunque mostró retardo en el cambio de las características hidroquímicas de la estación seca a la estación húmeda. Por otro lado, el análisis espacial reflejó la influencia lluvial en el empeoramiento de la calidad de las aguas de este sistema en el período lluvioso con respecto al período más seco.

**Palabras claves:** bahía, precipitaciones, análisis de correlaciones, grupos, estación seca, estación húmeda, hidroquímica.

## Introducción:

La bahía de Cienfuegos, al igual que el resto de las bahías del país constituye un elemento fundamental en la estructura, planificación y manejo de las costas. Este sistema se caracteriza por presentar condiciones estuarinas, asociado a la mezcla del agua del mar adyacente con la incorporada por los 4 ríos que al mismo desembocan (Caonao, Salado, Damují y Arímao).

Dado a ciertas diferencias observadas en sus características oceanográficas entre los períodos de seca y lluvia, se considera que esta bahía presenta influencia estacional (Arecas, 1986; Tomzack, 1975), y es éste un factor que suele determinar la regionalización en un ecosistema a partir de ser discriminado en base a algunas variables hidroquímicas, de acuerdo a lo planteado por Sánchez-Santillán y De la Lanza (1993) y De la Lanza *et al.* (1998). También, constituye un elemento importante de cuya interacción y equilibrio con otros factores de tipo físicos, químicos, geológicos y biológicos depende el ciclo característico de un buen número de compuestos químicos (Pérez *et al.*, 2004, Moreira *et al.*, 2003).

Basado en lo anterior, el presente trabajo tiene como objetivo estudiar el efecto de las precipitaciones sobre las características hidroquímicas de la bahía de Cienfuegos.

## Materiales y métodos

### Área de estudio:

La bahía de Cienfuegos se encuentra ubicada en los 22° 9' LN y 80° 27' LO en la región centro y sur de Cuba (Figura 1). La misma constituye una típica bahía de bolsa por la presencia de un estrecho canal de aproximadamente 3 Km que la conecta con el Mar Caribe. La configuración de sus costas es irregular. Su topografía incluye además, un bajo natural entre Cayo Carenas y Punta la Cueva, el cual divide a ésta en dos lóbulos con características hidrográficas bien definidas. Este sistema cuenta con un área de 90 km<sup>2</sup> y una profundidad media de 9 m, lo que determina un volumen medio de aproximadamente 810 millones de m<sup>3</sup>.

Sobre el mismo imperan dos períodos climatológicos fundamentalmente (Arecas, 1986). Un período poco lluvioso, desde Noviembre hasta Abril, con un valor promedio de precipitaciones entre 1994 y 2001, de 59.6 mm; mientras que el período más lluvioso, que abarca los meses restantes, presenta un valor promedio cuatro veces superior al anterior, de 217.6 mm.

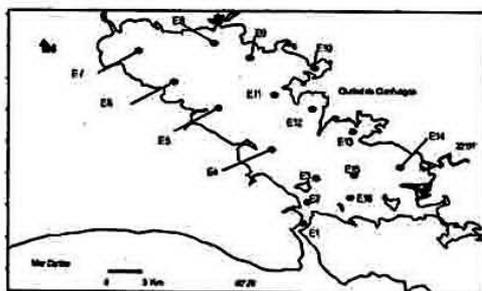


Fig. 1: Distribución de las estaciones de muestreo del Programa de Monitoreo Hidrológico de la Bahía de Cienfuegos.

## Métodos de muestreo y análisis

Los muestreos se realizaron durante el vaciante, con una frecuencia mensual durante el período 1994-2001. Se emplearon botellas tipo Nansen para la colecta de las muestras, establecidas en 16 estaciones hidrológicas, en los niveles de fondo y superficie para las determinaciones de oxígeno disuelto y salinidad, mientras que para el resto de los indicadores sólo se colectó en superficie.

Las determinaciones de los nutrientes ( $N-NO_3$ ,  $N-NH_4$ ,  $P-PO_4$  y  $Si-SiO_4$ ) se realizaron utilizando las metodologías expuestas por Strickland y Parsons (1972), y por Johnstone y Preston (1993). Los valores de oxígeno disuelto se obtuvieron empleando el Método Winkler, modificado por Carriet y Carpenter (1966) y los registros de salinidad, por medio de una sonda digital del modelo YSI 30. Se emplearon tres réplicas para las determinaciones analíticas por estación.

Los grados de relación entre los promedios anuales de precipitaciones y los parámetros hidroquímicos (nutrientes, oxígeno disuelto, transparencia y salinidad) desde 1994 y 2001 se determinaron a partir

del coeficiente de correlación de Pearson ( $p < 0.01$ ). Antes de determinar el coeficiente de correlación se inspeccionaron los datos para detectar valores atípicos que pudieran producir resultados equívocos y evidencias de una relación lineal. Se asumió que cada pareja de variables es normal divariada.

Se empleó el análisis de agrupamiento con vista a identificar grupos de meses (casos) relativamente homogéneos (Chatfield y Collins, 1980). En el mismo se utilizó el método de análisis de cluster jerárquico del vecino más cercano y como medida de similitud, las distancias euclidianas. Para este análisis fueron considerados los parámetros hidroquímicos relacionados significativamente con el comportamiento del régimen de lluvias. Se utilizaron además, pruebas de hipótesis (prueba t) para analizar las diferencias significativas entre las medias obtenidas en ambas estaciones climáticas ( $p < 0.05$ ).

## Resultados

Los resultados (Tabla I) indicaron significativas correlaciones entre los niveles de precipitaciones y de oxígeno disuelto del fondo ( $r = -0.81$ ,  $p < 0.01$ ) y salinidad superficial ( $r = -0.86$ ,  $p < 0.01$ ).

Tabla 1: Correlaciones significativas entre los valores promedio por año de precipitaciones y parámetros hidrológicos de la bahía de Cienfuegos (1994 – 2001).

	Sal F	Sal S	N-NH <sub>4</sub>	N-NO <sub>2</sub>	Oxí.F	Oxí.S	P-PO <sub>4</sub>	Si-SiO <sub>4</sub>
Precip	-,292	-,862**	,523	,274	-,807**	-,444	,434	,171

N=12 en todos los casos, (\*\*) La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral)

El análisis de agrupamiento entre los comportamientos mensuales para la variable salinidad superficial (Figura 2) definió dos grupos. Uno, que comprende los meses característicos del período poco lluvioso o seco y la inclusión de Mayo (Noviembre-Mayo) y el otro, los meses restantes correspondientes al período húmedo (Junio-Octubre.).

Un comportamiento similar se obtuvo en el análisis de agrupamiento de la otra variable relacionada significativamente con los niveles de precipitaciones (oxígeno disuelto de fondo).

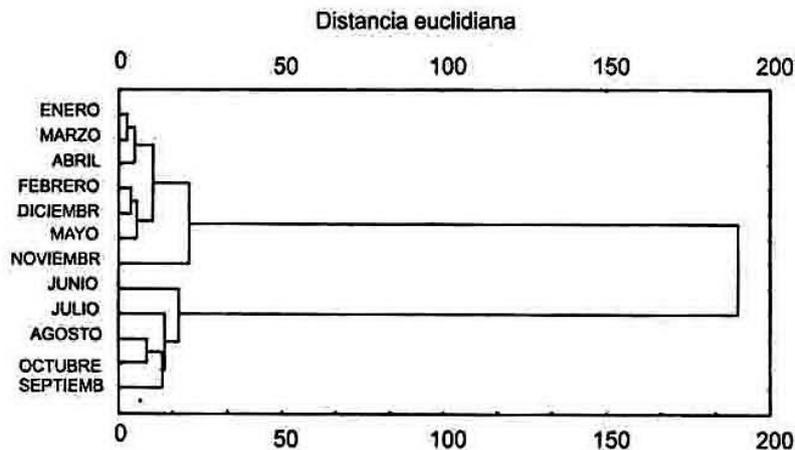


Fig. 2. Dendrograma del agrupamiento por meses de la salinidad superficial (1994 – 2001).

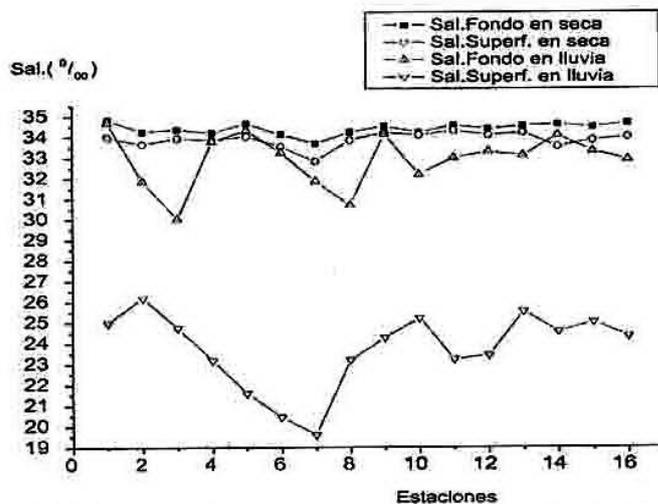


Fig. 3. Distribución estacional y espacial (por sitio y nivel de muestreo) de la salinidad en la bahía de Cienfuegos en el período entre 1994-2001.

El análisis de los comportamientos estacionales y espaciales mostró la presencia de gradientes verticales en la columna de agua para los niveles de salinidad (Figura 3) y oxígeno disuelto (Figura 4),

durante la estación húmeda principalmente. En esa misma estación climática se constataron variaciones espaciales, las cuales fueron más pronunciadas para las concentraciones de oxígeno disuelto del fondo.

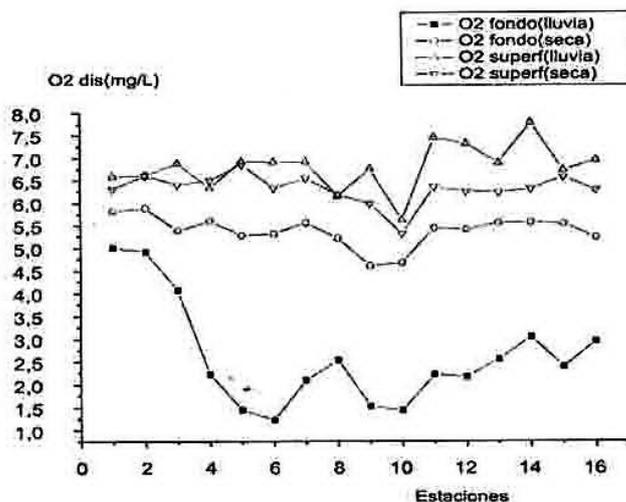


Fig. 4. Distribución estacional y espacial (por sitio y nivel de muestreo) del oxígeno disuelto en la bahía de Cienfuegos en el período entre 1994-2001.

## Discusión

La significativa relación positiva obtenida entre los niveles de oxígeno de fondo y de precipitaciones puede vincularse con el proceso de estratificación de este sistema, el cual está asociado a la mayor incorporación de materia orgánica suspendida por la remoción de sedimentos incrementada durante el período lluvioso. La degradación de la materia incorporada conlleva una reducción significativa ( $t=9.4$ ,  $p<0.05$ ), desde concentraciones promedio

de oxígeno disuelto de 5.77 mg/L hasta 3.38 mg/L (Figura 4), resultando este último valor inferior a lo normado ( $> 5$  mg/L) para aguas de buena calidad según la NC.25:1999; mientras el vínculo entre la salinidad superficial y los niveles de precipitaciones evidencia la influencia de las lluvias en la disminución de la salinidad en la capa superficial desde promedios 33.9 hasta 28.7 ‰ (Figura 3), debido al incremento en el aporte de agua dulce a este sistema estuarino.

Respecto a los resultados del análisis de agrupamiento, la inclusión del mes de mayo dentro del grupo de meses del período más seco muestra un cierto retardo en la respuesta de este sistema ante el cambio que sufre el nivel de precipitaciones. Esto pudiera deberse a una lenta acumulación de las aguas dulces en este acuatorio, dado a su gran área y a la velocidad nada despreciable de sus aguas. Al aumentar los niveles de precipitaciones y también la acumulación, se forma un sistema estratificado cuyo contenido de materia en suspensión debido al lavado de las tierras adyacentes es mayor (Ochoa, 1977), y esto pudiera traer consigo la reducción de los valores de oxígeno disuelto en el nivel más profundo; así como de la salinidad superficial.

Las variaciones espaciales obtenidas durante el período húmedo, tanto para la salinidad superficial como para los niveles de oxígeno disuelto en el fondo, pueden asociarse a la magnitud de la influencia fluvial en las mismas, ya que las estaciones con menores niveles de salinidad superficial y oxígeno disuelto en el fondo presentan un mayor aporte de agua dulce que trae consigo materia orgánica; a diferencia de las estaciones E1, E2 y E3 que se encuentran relativamente próximas al mar adyacente, lo cual favorece la renovación de las aguas y la mezcla del estrato profundo (Arecas, 1986).

#### **Conclusiones:**

- Se encontraron significativas correlaciones entre los niveles de precipitaciones y de los parámetros hidroquímicos: salinidad superficial y oxígeno disuelto en fondo.
- Se observó el empeoramiento de la calidad hidroquímica durante el período más húmedo a partir de significativas reducciones en los niveles de oxígeno disuelto en fondo.
- Se evidenció un cierto retardo en el cambio de la calidad de las aguas de esta bahía de la estación climática más seca a la más húmeda.

#### **Bibliografía:**

Carriet, D. E., y Carpenter, J. H. (1966). Comparison and evaluation of the Winkler method for determining dissolved oxygen in sea water. *Jour. Mar. Res.*, 24(3):286-318pp.

Strickland, D.H. y Parsons, T.R. (1972) A practical handbook of seawater analysis. Bulletin Fish Research Board, Canada: 310p

Tomzack, M., García, C. (1975). A numerical model of the circulation in Cienfuegos Bay, Cuba. *Estuarine Coast. Mar. Sci.*, 3(4):391-412pp

Ochoa, S. (1977). Estudio de corrientes en las Bahías de Cuba: Bahía de Cienfuegos: *Rev. Voluntad Hidráulica* No. 43: 26-30pp

Chatfield, C. y Collins, A.J. (1980) *Introduction to multivariate analysis*. Chapman and hall. Londres:245p

Arecas, A. (1986). Bahía de Cienfuegos: Eutroficación y planeamiento ambiental. *Rep. Invest. Inst. Oceanología*. No.51:1-36pp.

Johnstone, R. y Preston, M. (1993). *Nutrient analysis in tropical marine waters*. IOC. Manual and Guides 28. UNESCO.

Sánchez-Santillán, N. y De la Lanza, G. (1993) Aspectos climáticos en una laguna costera (Ejemplo de caso: Laguna de Huizache y Caimanero). *Lagunas Costeras y el litoral Mexicano*. (Eds):199-219pp

De la Lanza, G., Sánchez, N., Esquivel, A. (1998). Análisis temporal y espacial fisicoquímico de una laguna tropical a través del análisis multivariado. *Hidrobiología*, 8(2):89-96pp

N.C.25:1999. Evaluación de los objetos hídricos de uso pesquero. Sistema de Normas para la Protección del Medio Ambiente. Hidrosfera. República de Cuba.

Moreira, A., Gómez, M., Suárez, A.M., León, A. R., Castellanos, M.E. (2003) Variación de la composición y abundancia de las macroalgas en la Bahía de Cienfuegos, Cuba. *Rev. Invest. Mar.* 24(2):83-94 pp

Pérez, S., Alonso, C., Morabito, R., Brunori, C., Cremisi, C. (2004). Evaluación de la distribución de los metales en los sedimentos superficiales de la Bahía de Cienfuegos, Cuba. *Rev. Inv. Pesq. E (2004). Edición Especial*.

#### **Abstract:**

*It was studied rainfall effect on the hydrochemical characteristics of the Cienfuegos Bay by correlations analysis between mean values from rainfall and some hydrochemical parameters of this bay. The data were taken since 1994 until 2001 and were analyzed the spatial distribution and the temporal behavior of this system. The temporal analysis highlighted two clusters of months related to predominant climatic seasons on bay (dry and humid seasons), however it showed delay in change of hydrochemical characteristics from dry season to humid season. On the other hand, spatial analysis reflected the fluvial influence a worsening of waters quality of this system in the humid season in contrast with driest season.*

**Key words:** bay, rainfall, correlations analysis, cluster, dry season, humid season, hydrochemical