# VARIACIONES ESPACIALES Y TEMPORALES EN INDICADORES DE LA CALIDAD AMBIENTAL DE LAS AGUAS DE LA BAHÍA DE CIENFUEGOS, CUBA.

Mabel Seisdedo Losa

Centro de Estudios Ambientales de Cienfuegos (CEAC), Calle 17 s/n esq. Ave 46, Reparto Reina, Cienfuegos 55100, Cuba. Email: mabel@ceacgrn.perla.inf.cu.

**RESUMEN**

Desde 1990, la Bahía de Cienfuegos tiene un Programa de Monitoreo Hidrológico (PMH) para el control de la calidad del agua, el cual fue modificado luego de evaluarse su eficacia. En este trabajo se presentan los valores promedios de los indicadores hidrológicos: salinidad, temperatura, pH, oxígeno disuelto, N-$NH_4$, N-$NO_2$, P-$PO_4$ y $DBO_5$, los cuales fueron obtenidos a partir de 4 muestreos realizados en el 2004 y se evalúan de acuerdo con la NC.25:1999. Se compara la variación espacial y temporal teniendo en cuenta datos históricos (1990-2001). Los resultados mostraron la influencia de la estacionalidad climática (seca y lluvia) sobre este sistema, un mejoramiento en la calidad de las aguas de esta bahía relacionado con el N-$NH_4$ y con el oxígeno disuelto. También se observó que los niveles de $DBO_5$ continúan siendo altos y que el actual PMH permite observar nuevos procesos.

Palabras clave: calidad de las aguas; indicadores hidrológicos; bahías; ASW, Cuba.

**ABSTRACT**

From 1990, Cienfuegos Bay has a Hydrological Monitoring Program (HMP) for the water quality control, which was modified after being evaluated its effectiveness. In this work the average values of the hydrological indicators are presented: salinity, temperature, pH, dissolved oxygen, N-$NH_4$, N-$NO_2$, P-$PO_4$ and $DBO_5$, which were obtained from 4 samplings carried out in 2004 and they are evaluated with regard to NC.25:1999. It is compared the spatial and temporal variation taking into account historical data (1990-2001). The results showed the seasonal influence (dry and rainy) on this system, an improvement in the waters quality of this bay related with the N-$NH_4$ and with the dissolved oxygen. It was also observed that the levels of $DBO_5$ continue being high and that HMP at present allows to observe new processes.

Key words: waters quality; hydrological indicators; bays; ASW, Cuba.

La Bahía de Cienfuegos constituye uno de los más importantes ecosistemas del país, toda vez que es elemento determinante en el desarrollo industrial (Areces, 1986). En sus márgenes se encuentran importantes industrias como: la Central Termoeléctrica (CTE) "Carlos Manuel de Céspedes" y la Refinería de Petróleo "Camilo Cienfuegos"; así como también se desarrollan otros usos, entre ellos: la pesca, el turismo, deportes náuticos y el urbano.

A menudo, estos sistemas acuáticos se encuentran amenazados debido a que la actividad antropogénica los convierte en receptores de toda clase de desechos. Es por ello que muchos de estos sistemas son monitoreados periódicamente, tales como la Bahía de Matanzas (Ruiz *et al.*, 2005) y la Bahía de La Habana (Beltrán *et al.* 2005).

Desde 1990, este sistema cuenta con un Programa de Monitoreo Hidrológico para control de su calidad, con el fin de garantizar a los tomadores de decisiones información fidedigna de lo que ocurre en la misma, lo cual es imprescindible para cualquier acción de manejo. En el 2004, este programa sufre algunas modificaciones al evaluar su eficacia para el control de la incidencia de las actividades en su entorno (Seisdedo *et. Al.*, 2004). Tales modificaciones incluyeron la reducción de la frecuencia de muestreo de acuerdo a la influencia de la estacionalidad climática (Seisdedo y Muñoz, 2004), la eliminación de 3 estaciones de muestreo (5, 6, 16) y la adición de una nueva (12 A), así como la determinación de los nutrientes en el nivel más profundo. Teniendo en cuenta lo anterior, el presente trabajo tiene como objetivo presentar los resultados hidroquímicos obtenidos en el 2004 y comparar los mismos con la data histórica.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Área de estudio

La Bahía de Cienfuegos se encuentra ubicada entre los 20° 1´ y 22° 11´´ N y 80° 23´ 30´´ y 80° 33´ 42´´ W en la región centro y sur de Cuba. 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.

Este sistema cuenta con un área de 90 $km^2$ y una profundidad media de 9 m, lo que determina un volumen medio de aproximadamente 810 millones de $m^3$. En él desembocan 4 ríos, los cuales son: el Damují, el Caonao, el Salado y el Arimao. Su topografía incluye un bajo natural entre Cayo Carenas y Punta la Cueva, el cual divide a ésta en dos lóbulos con características hidrográficas bien definidas. El lóbulo norte abarca el área de mayor actividad industrial y urbana, mientras el lóbulo se halla más próximo canal de entrada.

**Muestreo y análisis**

El muestreo de sus aguas se llevó a cabo con una frecuencia trimestral, abarcando cada período climático (seco y lluvioso) dos campañas. El conjunto de estaciones hidrológicas fueron 14, todas representativas de las actuales actividades inmersas en este sistema (Fig. 1).

La colección de las muestras de agua se realizó durante el vaciante de marea a dos niveles de profundidad (superficie y fondo) según las especificaciones de APHA (1998), excepto para la determinación de la $DBO_5$ que fue solo en el nivel superficial y se utilizó para ello botellas Nansen. En los casos requeridos las muestras fueron preservadas en frío antes de su análisis.

Las determinaciones de los indicadores de la calidad del agua evaluados se realizaron mediante diversos métodos. El oxígeno disuelto se analizó mediante el Método Winkler, modificado por Carriet y Carpenter (1966). Los nitritos y el amonio se determinaron de acuerdo con la metodología de la UNESCO (1983). El análisis de los fosfatos se realizó a partir de una modificación expuesta por Koroleff, del método de Murphy y Riley, expuesto por la UNEP (1991). La salinidad y la temperatura se determinaron in situ empleando una sonda digital modelo YSI-30, para el análisis del pH se utilizó un pH-metro digital marca HANNA, mientras que para la determinación de la $DBO_5$, se empleó el método de incubación a 20° C durante 5 días.

La evaluación de la calidad del agua se realizó teniendo en cuenta los criterios establecidos por indicador en la NC.25:1999. Se utilizaron además, pruebas de hipótesis (prueba t) para analizar las diferencias significativas entre las medias obtenidas en ambas estaciones climáticas ($p<0.05$).

Se utilizaron como datos históricos, los valores promedios por indicador correspondientes al período 1990-2001 expuestos en el informe del CEAC (2004). Teniendo en cuenta esto, se decidió expresar los resultados obtenidos en el 2004 como valores promedio por indicador en aras de establecer una comparación representativa.

**RESULTADOS**

El análisis de la salinidad entre los niveles considerados no arrojó diferencias significativas durante el período seco ($p<0.05$). Sin embargo, tal análisis durante el período lluvioso sí resultó positivo. Los valores de salinidad en la estación de seca oscilaron entre 32.9 y 33.5 $^o/_{oo}$, mientras en la estación de lluvias se registraron niveles entre 27.1 y 32.8 $^o/_{oo,.}$ El valor mínimo obtenido correspondió a la etapa lluviosa, específicamente a la E7, con influencia del Río Damují (Fig. 2).

La temperatura de las aguas de este acuatorio se caracterizó durante el 2004 por diferencias significativas ($p< 0.05$) entre los valores obtenidos en las dos estaciones climáticas (seca y lluvia). En el período seco se registró un rango de valores entre 25.6 y 27.45 $^0$C, el cual resultó inferior al obtenido en el período lluvioso que osciló entre 29.45 y 32.95 $^0$C. En todas las campañas realizadas en el 2004, los registros máximos correspondieron a la E 10, ubicada en un área próxima a la desembocadura del Arroyo Inglés y de la CTE.

Los valores de pH en la bahía no presentaron diferencias significativas ($p>0.05$) entre los dos niveles de profundidad analizados en el período de seca, con 8.18 y 8.19 unidades en superficie y fondo, respectivamente, mientras en el período de lluvias se evidenciaron diferencias a partir de los promedios de 8.3 y 8.19 registrados en superficie y fondo (Tabla 1).

Las concentraciones obtenidas de oxígeno disuelto presentaron mayor fluctuación en la etapa de lluvias (de 3.58 a 7.27 mg/L) que en la de seca (de 5.1 a 6.88 mg/L) (Fig. 3). Los valores mínimos se caracterizan por predominar en el nivel más profundo de algunas regiones del lóbulo norte (E4, E8-9 y E10) con incidencia fluvial, industrial y urbana, en la estación lluviosa.

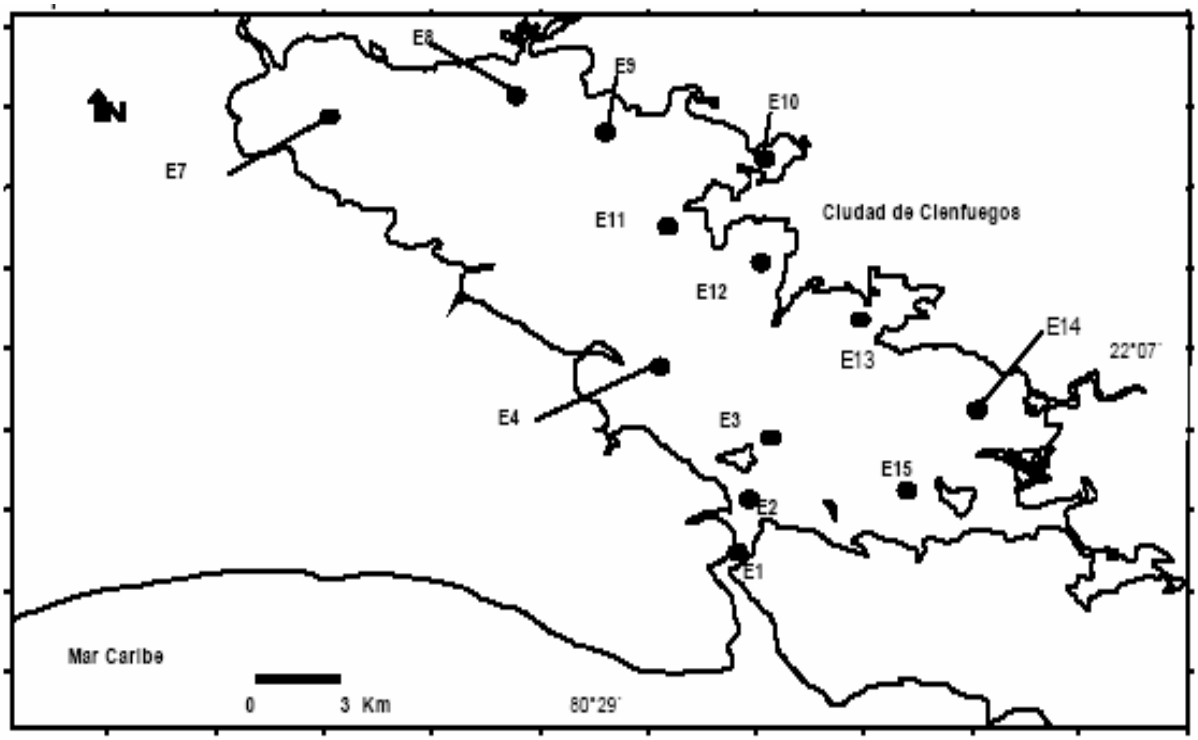


Fig. 1. Red de estaciones hidrológicas del programa de monitoreo de la Bahía de Cienfuegos.

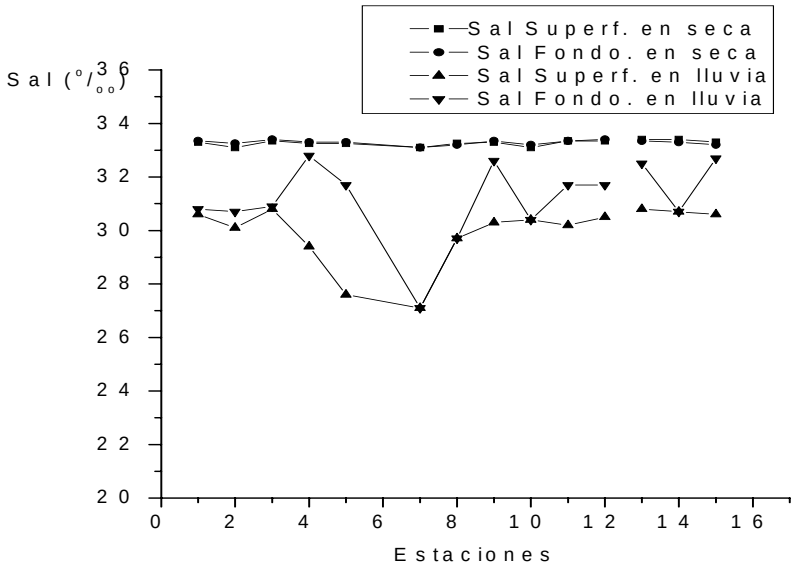


Fig. 2. Variación espacial y por período climático de la salinidad en la Bahía de Cienfuegos en el año 2004.

Entre los nutrientes determinados se encuentra el fósforo en forma de ortofosfato disuelto. Los valores en superficie oscilaron desde cantidades indetectables (< 0.1µmol/L) hasta 0.61 µmol/L, con promedios de 0.29 µmol/L, mientras los valores en fondo, con mayor fluctuación oscilaron entre cantidades indetectables hasta 1.45 µmol/L, arrojando un promedio de 0.31 µmol / L. Las

Tabla 1: Valores medios de los indicadores hidrológicos evaluados en el período (1990-2001) y durante el año 2004 en la Bahía de Cienfuegos.

| INDICADOR | UNIDAD | NIVEL | MEDIA (2004) | | MEDIA (1990-2001) | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | SECO | LLUVIAS | SECO | LLUVIAS |
| OD | $mg.L^{-1}$ | s | 6,22 | 6,53 | 5,67 | 6,78 |
| | | f | 6,04 | 5,56 | 5,46 | 2,61 |
| Salinidad | ‰ | s | 33,27 | 29,97 | 33,85 | 23,70 |
| | | f | 33,33 | 31,12 | 34,40 | 32,8 |
| Temp | ° C | s | 26,44 | 30,73 | 27,55 | 29,88 |
| | | f | 26,32 | 30,41 | 26,43 | 29,90 |
| pH | uds | s | 8,18 | 8,30 | 8,04 | 8,11 |
| | | f | 8,17 | 8,19 | 8,07 | 8,00 |
| $N\text{-}NH_4$ | $\mu mol.L^{-1}$ | s | 0,43 | <0,21 | 93,0 | 91,9 |
| | | f | 0,96 | <0,21 | - | - |
| $N\text{-}NO_2$ | $\mu mol.L^{-1}$ | s | 0,06 | 0,12 | 5,25 | 2,07 |
| | | f | 0,05 | 3,04 | - | - |
| $P\text{-}PO_4$ | $\mu mol.L^{-1}$ | s | 0,28 | 0,55 | 0,06 | 0,09 |
| | | f | 0,33 | 0,87 | - | - |
| DBO | $mg.L^{-1}$ | s | 2,67 | 7,67 | 2,28 | 5,42 |

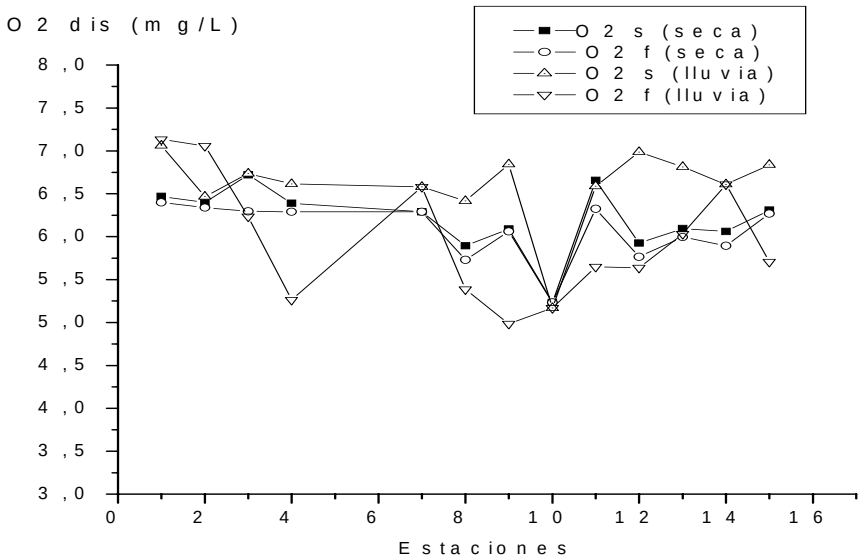


Fig. 3. Variación espacial y por período climático del oxígeno disuelto en la Bahía de Cienfuegos en el año 2004

concentraciones máximas obtenidas en superficie se hallaron en las regiones influenciadas por el Arroyo Inglés (E10), mientras que en el nivel más profundo, se concentraron en regiones próximas al drenaje de Reina (E11). Sin embargo, en la estación climática lluviosa, los valores promedios globales, si bien cumplieron con los requisitos normados, resultaron superiores a los de obtenidos en seca; así como también las diferencias entre los dos niveles de profundidad analizados fueron más notables, con 0.55 µmol/L en superficie y 0.87 µmol/L en fondo.

Respecto a las especies nitrogenadas, los niveles nitrógeno amoniacal arrojaron en casi toda la bahía, tanto en fondo como en superficie, valores

inferiores al límite de detección (<0.21 µmol/L), excepto en las zonas próximas a la desembocadura de Río Salado (E 8) y a la desembocadura del Arroyo Inglés (E10)

De forma similar se distribuyeron los niveles de nitrógeno de nitritos en superficie durante la época de seca, con concentraciones máximas de 0.07 µmol/L (inferiores a lo normado, < 3.57 µmol/L). La distribución en el nivel más profundo reflejó las mayores concentraciones (de 1.07 a 1.92 µmol/L) en una extensa área del lóbulo norte que abarca desde la desembocadura del Río Damují (E7) hasta la desembocadura del Arroyo Inglés (E10). No obstante, tales niveles aún resultan inferiores a los establecidos por la NC.25:1999. Este mismo indicador, en la época lluviosa, se comportó de manera diferente, oscilando en las aguas superficiales de toda la bahía en un rango entre 0.06 y 0.21 µmol/L. Las mayores concentraciones se obtuvieron, en el lóbulo sur, desde las áreas con influencia de la Laguna Guanaroca hasta la entrada al Canal (E 15, E 1 y E 2), mientras en el lóbulo norte, se obtuvieron en las regiones próximas al Arroyo Inglés (E10). En el nivel de fondo, las más altas concentraciones de este indicador se obtuvieron en el área cercana a Jucaral, incluso superiores a lo establecido (6.0 µmol/L) en la NC.25:1999.

Respecto a la $DBO_5$, este indicador presentó niveles promedios superiores a lo normado (< 1mg/L) tanto en seca con 2.67 mg/L, como en lluvias con 7.67 mg/L.

## DISCUSIÓN

Los diferentes resultados en las pruebas de diferencias significativas para el la salinidad evidencian la influencia estacional sobre este sistema expuesto por Seisdedo y Muñoz (2004) a partir del análisis de datos obtenidos en el período 1994-2001. Dicha influencia se refleja con la homogeneidad de este indicador en la columna de agua durante la estación seca, y la estratificación característica de esta bahía en esta etapa más lluviosa.

En cuanto a las diferencias obtenidas para la temperatura de las aguas, éstas pueden ser relacionadas con la temperatura atmosférica presente en los meses comprendidos en cada período, ya que la etapa lluviosa se corresponde con los meses más calurosos del año y la seca, con los de menor temperatura. Los valores máximos son vinculados a la influencia de las aguas calientes generadas en el sistema de enfriamiento de la CTE "Carlos Manuel de Céspedes", lo cual coincide con los resultados obtenidos históricamente (1990-2001).

Del análisis comparativo del comportamiento histórico (1990-2001) y el de 2004 para el caso del oxígeno disuelto, se pudo constatar una mejoría de los niveles de este indicador fundamentalmente durante el período lluvioso, ya que los resultados históricos arrojaban valores en fondo inferiores a 1 mg/L, representativos de un estado casi anóxico (CEAC, 2004).

Respecto al ortofosfato disuelto, la obtención en ambas estaciones climáticas, de niveles promedios inferiores a los normados por la NC.25:1999 para agua marina de buena calidad, tiene correspondencia con los resultados arrojados durante más de una década. De igual forma, se relacionan las áreas de mayores concentraciones con los resultados históricos que reflejaron la mayor incidencia antropogénica en el sector norte de la bahía fundamentalmente (CEAC, 2004).

El análisis del comportamiento del $N\text{-}NH_4$ refleja una mejoría en la calidad de las aguas de este acuatorio relacionado con este indicador respecto a los primeros años de la década del 90', ya que se obtuvieron valores promedio de nitrógeno de amonio en la bahía superiores a 50 umol/L, y actualmente los promedios oscilan entre concentraciones indetectables (<0.21 umol/L) y valores de 0.96 umol/L, inferiores estos últimos a lo normado por la NC. 25:1999. Esto es vinculado al cambio de funciones de la Empresa de Fertilizantes Nitrogenados, considerada por algunos autores (Areces, 1986; Villasol, 1990) como el principal responsable de tal impacto.

La obtención de altas concentraciones de $N\text{-}NO_2$ en el nivel más profundo, en el área cercana a Jucaral, resulta interesante, ya que esa estación hidrológica apenas presenta incidencia antropogénica. Este resultado pudiera estar reflejando procesos de acumulación en el fondo relacionado con la dinámica de las aguas y la batimetría de esa zona de la bahía, pues se encuentra próxima al bajo natural que separa ambos lóbulos y es punto de confluencia de las aguas durante el vaciante. También evidencia una contribución en información del actual PMH, al incluirse en el mismo la determinación de nutrientes en el nivel de fondo.

Por su parte, los valores promedio de $DBO_5$ reflejan el notable empeoramiento de la calidad producto del incremento de materia orgánica incorporada

durante el período lluvioso. Teniendo en cuenta los resultados históricos, vale mencionar que en este sistema los niveles registrados de $DBO_5$ se han caracterizado por ser superiores a lo normado, lo que pudiera estar sugiriendo la necesaria adecuación de las normas de calidad para sistemas estuarinos como el de esta bahía.

**CONCLUSIONES**

De forma similar al comportamiento histórico, durante el año 2004 se observaron diferencias entre los dos períodos climáticos estudiados (seca y lluvia) en cuanto al comportamiento de la salinidad, la temperatura y el oxígeno disuelto.

Se constató una notable mejoría respecto al período 1990-2001, en cuanto a los niveles de oxígeno disuelto obtenidos en el nivel más profundo durante la estación climática lluviosa.
Los indicadores hidroquímicos evaluados cumplieron de forma global con los criterios de buena calidad normados por indicador, excepto la $DBO_5$ que continúa siendo mayor de 1 mg/L, lo que pudiera estar sugiriendo la necesaria adecuación de las normas de calidad para sistemas estuarinos como el de esta bahía.

Se constató la notable mejoría en la calidad de las aguas de este acuatorio relacionado con el N-N-$NH_4$ respecto a los primeros años de la década del 90'. El mismo es asociado al cambio de funciones de la Empresa de Fertilizantes Nitrogenados, considerada por algunos autores como el principal responsable de tal impacto.

Se observaron algunas diferencias entre las concentraciones de nutrientes existentes en los niveles de fondo y superficie, lo cual refleja una contribución en cuanto a información de la reciente adecuación del programa de monitoreo hidrológico.

**REFERENCIAS**

APHA-WPCF-AWWA (1998): *Standard* Methods for the examination of Water and Wastewater. American Public Health Association. 20th Edition. 210p

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

Beltrán, J., A. Martín, F. Ruiz, M. Pérez, M. Mancebo, M. Ramírez, O. Pérez, I. Torres y R. Rodríguez (2005): Control y evolución de la contaminación en la bahía de la Habana. *Memorias de la V Convención Internacional sobre medio Ambiente y Desarrollo*. MEC 001

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

CEAC (2004): *Calidad Ambiental de la Bahía de Cienfuegos. Período 1990-2001*. Informe interno. Centro de Estudios Ambientales de Cienfuegos, 130 pp.

N.C.25: 1999 (1999): *Evaluación de los objetos hídricos de uso pesquero*. Sistema de Normas para la Protección del Medio Ambiente. Hidrosfera. República de Cuba, 9pp.

Ruiz, F., M. Pérez, J. Beltrán, H. Mancebo, R. Regadera, A. Martín, M. Ramírez y F. Solar (2005). Calidad ambiental de la Bahía de Matanzas, Cuba. *Memorias de la V Convención Internacional sobre medio Ambiente y Desarrollo.* MEC 072

Seisdedo, M y A. Muñoz (2004): Influencia de la estacionalidad climática en la calidad hidroquímica de la Bahía de Cienfuegos. *Rev. Cub. Invest. Pesq., Edición Especial,* III Taller Internacional CONYMA 2004. La Habana.

Seisdedo, M, A. Muñoz y M.E. Castellanos (2004): Propuesta de actualización del programa de Monitoreo Hidrológico de la Bahía de Cienfuegos. *Rev. Cub. Invest. Pesq., Edición Especial,* III Taller Internacional CONYMA 2004. La Habana.

UNEP (1991). Standard chemical methods for marine environmental monitoring. *Reference Methods for Marine Pollution Studies*. No.50.

UNESCO (1983). *Chemical oring. Manual and Guides*. IOC. No. 12. Methods for use in Marine Enviromental Monit, 25 pp.

Villasol, A. (1990). *Estudios de la Contaminación en la Bahía de Cienfuegos*. Informe Final. La Habana: Ministerio del Transporte, 66 pp.

Aceptado: 3 de abril de 2006