

ESTADO ACTUAL DE LA CALIDAD AMBIENTAL DE LA BAHÍA DE MATANZAS Y SU EVOLUCIÓN EN EL TIEMPO.

Fernando Ruiz *, Marlén Pérez, Jesús Beltrán, Hortensia Mancebo, Reinaldo Regadera, Arlene Martín, Martha Ramírez y Félix Solar.

Centro de Ingeniería y Manejo Ambiental de Bahías y Costas (CIMAB), Carretera del Cristo No.3, Casablanca, Regla, Ciudad Habana, Cuba.

(*) Autor correspondiente: E.mail: fernando@cimab.transnet.cu

RESUMEN

Se establece el estado actual de la calidad ambiental de la bahía de Matanzas a través de un estudio realizado en septiembre de 2004 (período lluvioso) en una red de estaciones representativa de toda la bahía. Es objetivo del trabajo brindar el estado actualizado de la calidad ambiental de la bahía, reflejando las variaciones de la calidad en el tiempo. Los problemas de contaminación detectados, están localizados en la parte más interna de la bahía, en particular en las desembocaduras de los ríos San Juan y Yumurí, donde se mantienen los mayores compromisos ambientales, desde el punto de vista sanitarios; tanto respecto a los indicadores físico químico de calidad de agua, como a los microbiológicos. En sentido general los índices de calidad obtenidos en este estudio resultan similares a los presentados por García y col. (1987) y Tur y col. (2000) y no manifiesta un aumento en el deterioro de la calidad del ecosistema.

Palabras claves: calidad ambiental; coliformes fecales; clorofilas; hidrocarburos; bahías; ASW, Cuba.

ABSTRACT

The current state of the environmental quality of the Bay of Matanzas settles down through a study carried out in September of 2004 (rainy period) in a representative net of stations of the whole bay. It is objective of the work to offer the upgraded state of the environmental quality of the bay, reflecting the variations of the quality in the time. The problems of pollution, are located in the most internal part of the bay, in particular in the outlets of the rivers San Juan and Yumurí, where they stay the biggest environmental commitments, so much regarding the indicators of water quality, including microbiological ones. In general sense, the quality indexes obtained in this survey is similar to those reported by García *et. al.* (1987) and Tur *et. al.* (2000) and those don't manifest an increase in the deterioration of the quality of the ecosystem.

Key words: environmental quality; fecal coliformes; chlorophylls; hydrocarbons; bays; ASW, Cuba.

Las zonas costeras y ecosistemas marinos en general, son frecuentemente afectados a causa de las diversas actividades en que se ven comprometidas por la actividad humana, entre éstas se encuentran las descargas sin tratar de aguas residuales domésticas e industriales, actividades de exploración, extracción y transporte de petróleo, así como el desarrollo turístico (UNEP, 1999).

Cuba, con sus características geográficas particulares posee amplias y diversas zonas costeras, entre las cuales se encuentran las bahías, las que generalmente son destinadas a diversos usos socio-económicos y que en la mayoría de los casos conlleva en mayor o menor medida a la introducción de contaminantes al ecosistema, la bahía de Matanzas es un ejemplo.

Las condiciones geomorfológicas que presenta la bahía, abierta y de gran profundidad, facilita las posibilidades de intercambio de la masa de agua interior con el mar abierto, lo que la sitúa en una posición privilegiada con respecto a otras bahías del país.

La bahía de Matanzas se encuentra ubicada (CNNG, 2000) en la costa Norte de Cuba, en los 23° 03' de Latitud Norte y los 81° 34' de Longitud Oeste, tiene 5 km de ancho y un largo aproximado de 9 km, 36 km² de área y 200 metros de profundidad media.

A la bahía tributan los ríos Buey Vaca, Canimar, Yumurí y San Juan, destacándose este último por ser el de mayor escurrimiento.

Como antecedentes de este trabajo fueron utilizados los estudios realizados por García y col.

(1987), Rey y col. (1990) y Tur y col. (2000) en el mismo ecosistema.

El objetivo fundamental de este estudio fue el diagnóstico y actualización de las condiciones hidroquímicas y microbiológicas, así como brindar el estado actualizado de la calidad ambiental de la bahía, reflejando las variaciones en el tiempo.

MATERIALES Y MÉTODOS.

Los trabajos de campo se ejecutaron en septiembre de 2004, colectando las muestras de agua a dos niveles de profundidad (superficie y fondo) en vaciante de marea (GEOCUBA 2004), La red de estaciones (Fig. 1) se estableció haciendo coincidir las estaciones con los trabajos precedentes, con el objetivo de poder compararlas.

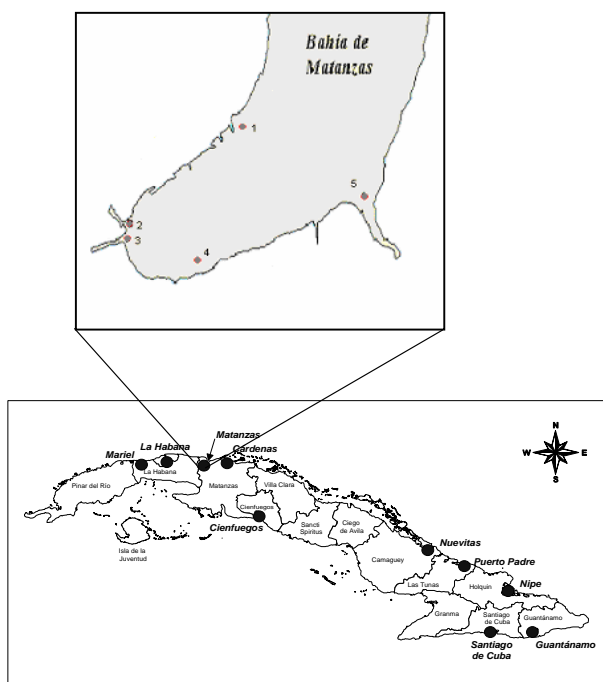


Fig. 1. Red de estaciones ubicadas en la Bahía de Matanzas, Cuba.

Las estaciones 2, 3 y 5, corresponden a la desembocadura de los ríos Yumurí, San Juan y Canimar, respectivamente. La estación 1 corresponde a la zona industrial, la 4 situada al sureste de la bahía, se encuentra ubicada en una zona influida por vertimientos de aguas residuales de la ciudad.

Los indicadores de calidad evaluados en las aguas fueron: oxígeno disuelto (OD), método iodimétrico; APHA (1998), el pH y la temperatura (°C) se determinaron *in situ* utilizando un pH-metro digital portátil, marca HANNA, éste último según los criterios de la norma ISO 10523:1994. Los compuestos nitrogenados (N-NH₄; N-NO₂; N-NO₃) y fosforados (P; P-PO₄), se determinaron por espectrofotometría según Grasshoff (2002); la salinidad (ups) se midió electrométricamente con un salinómetro digital inductivo marca Tsrumi Seiki y los sólidos suspendidos totales (SST), por gravimetría según APHA (1998).

Las muestras para análisis microbiológicos se colectaron en la bahía y además en las zonas de baño: El Mamey, Buey Vaca, El Tenis y El Judío. El indicador evaluado fue la presencia y cuantificación de coliformes fecales en las aguas superficiales, según Dutka (1989) y APHA (1998).

La extracción de los pigmentos para la determinación de clorofila -a- se realizó siguiendo la metodología descrita en APHA (1998).

Los hidrocarburos del petróleo disueltos y dispersos (HPDD) se determinaron utilizando la técnica reportada por el Programa CARIPOL (1980).

Para los sedimentos (Fig. 1), corresponden a sedimentos recientes colectados por medio de una draga Van Veen, Las muestras fueron preservadas según recomendaciones de (APHA, 1998).

Los sedimentos para la determinación del contenido de hidrocarburos totales CARIPOL (1980) fueron secados por liofilización, refluados con hidróxido de potasio metanólico, extraídos con n-hexano y llevados a sequedad. Luego reconstituidas con tetracloruro de carbono (CCl₄). La cuantificación se realizó por espectroscopia IR no dispersiva mediante un equipo ATI Mattson Génesis FTIR.

Los métodos de ensayo para la determinación de los metales fueron: IA 6746:10 Materiales Biológicos. Voltametría de Redisolución Anódica e IA 6746-16 Sedimentos EAA.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la [Tabla 1](#), se presentan los valores de cada uno de los indicadores hidroquímicos evaluados en los niveles de superficie y fondo.

Tabla 1. Valores y estadígrafos fundamentales de los indicadores hidroquímicos evaluados

Indicador	Unidad	Nivel	Estaciones					Valor Medio	DS
			1	2	3	4	5		
OD	mg L ⁻¹	s	6.42	6.98	6.17	7.32	6.44	6.67	0.47
		f	7.33	5.70	6.19	6.50	6.17	6.38	0.60
Salinidad	ups	s	36.03	32.75	10.73	34.26	31.57	29.07	10.39
		f	36.18	36.26	35.76	36.15	36.10	36.09	0.19
Temp.	° C	s	30.8	31.3	30.6	31.2	32.3	31.24	0.66
		f	32.0	31.3	30.9	33.4	32.3	31.98	0.91
pH	uds	s	8.49	8.45	8.29	8.62	8.50	8.47	0.12
		f	8.56	8.64	8.52	8.70	8.56	8.60	0.07
Si-SiO ₄	μmol L ⁻¹	s	15.55	10.70	16.93	31.30	12.26	17.35	8.19
		f	10.72	4.93	3.59	6.36	3.18	5.76	3.04
N-NH ₄	μmol L ⁻¹	s	2.54	4.38	2.59	1.77	0.41	2.32	1.41
		f	7.28	2.40	1.47	0.91	1.22	2.68	2.69
N-NO ₂	μmol L ⁻¹	s	0.048	0.073	0.033	0.013	0.013	0.036	0.025
		f	0.073	0.053	0.023	0.023	0.018	0.038	0.024
N-NO ₃	μmol L ⁻¹	s	0.064	0.116	0.104	0.039	0.064	0.077	0.032
		f	0.082	0.110	0.097	0.046	0.042	0.075	0.030
Pt	μmol L ⁻¹	s	2.06	1.21	1.36	1.13	1.16	1.38	0.39
		f	0.96	1.03	0.86	0.94	0.63	0.89	0.15
P-PO ₄	μmol L ⁻¹	s	0.57	0.18	0.36	0.16	0.15	0.28	0.18
		f	0.05	0.07	0.04	0.09	0.01	0.05	0.03
SST	mg L ⁻¹	s	29	20	91	13	13	33	33
		f	20	18	22	18	20	20	1.7

La concentración de oxígeno disuelto en las aguas superficiales de cada una de las estaciones de muestreo alcanzó valores superiores a 5.0 mg.L⁻¹, límite mínimo requerido para aguas costeras de buena calidad según la Norma Cubana NC 25: 1999, para la Evaluación de los objetos hídricos de uso pesquero, que de hecho es la norma más rigurosa que se aplica en Cuba (ONN, 1999).

Los valores de pH (figura 2) oscilaron entre 8.29 y 8.70, valores típicos de ecosistemas marinos (Riley and Chester, 1978) y cumplen con los requisitos de la Norma Cubana NC 25: 1999, para aguas costeras de buena calidad (ONN; 1999).

La salinidad presentó los menores valores en las estaciones cercanas a las desembocaduras de los ríos (Fig. 2), observándose el menor valor (10.73 ups) en la estación 3, correspondiente a la desembocadura del río San Juan, donde es más evidente la influencia del aporte de agua dulce.

La temperatura osciló entre 30.6 °C y 33.4 °C, valores adecuados para el período climático y la hora de la colecta.

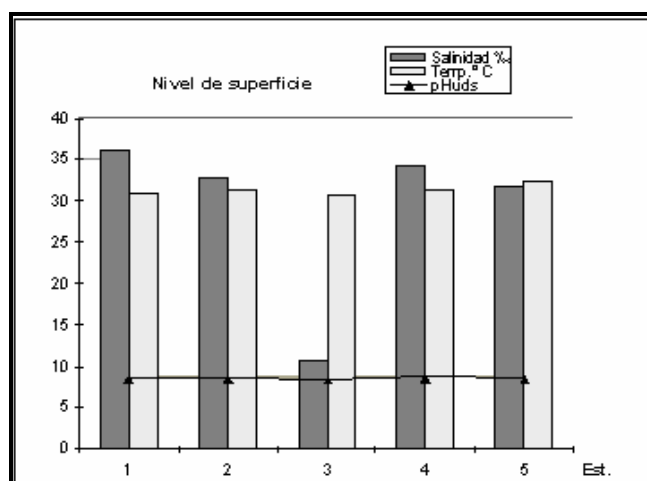


Fig. 2. Salinidad, temperatura y pH por estaciones.

Las concentraciones de nitrógeno amoniacal (nivel superficial) resultaron bajas (0.41 – 4.38 μmol.L⁻¹), en comparación con otras bahías del país estudiadas recientemente por el CIMAB, como por ejemplo las bahías de Nipe con un intervalo de 1.0 – 9.14 μmol.L⁻¹ (Martín y col., 2002) y Mariel con un intervalo de 8.80 - 15.06 μmol.L⁻¹ (García y col., 2002). El mayor valor de concentración de

nitrógeno amoniacal ($N-NH_4$) en superficie, se obtuvo en la estación 2 (desembocadura del río Yumurí) con un valor de $4.38 \mu mol.L^{-1}$. Los valores obtenidos en este estudio aunque fueron bajos, resultaron por lo general, superiores (Fig. 3) a los reportados por Tur y col. (2000) para el mismo periodo del año.

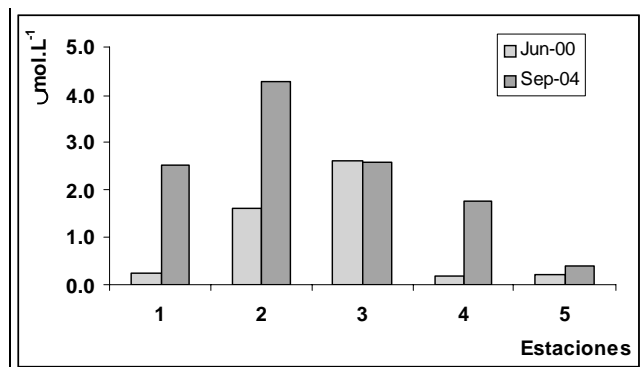


Fig. 3. Valores de concentración de nitrógeno amoniacal ($\mu mol L^{-1}$) correspondientes a junio 00 y 04.

Los valores de concentración de nitrógeno en forma de nitritos y de nitrógeno en forma de nitratos fueron bajos en todos los puntos de muestreos. Los máximos valores en el nivel superficial para ambos indicadores se obtuvieron en la desembocadura del río Yumurí, tal y como sucedió con el nitrógeno amoniacal. En este estudio se obtuvieron valores de nitrógeno de nitrato menores que los reportados por García y col. (1987) en el período 1985 -1987 y significativamente menores que los obtenidos por Tur y col. (2000).

El valor medio de concentración de fósforo total (Fig. 4), obtenido para el nivel superficial ($1.36 \mu mol.L^{-1}$) supera ligeramente el criterio de eutrofización para aguas costeras (concentraciones entre 0.7 y $1.2 \mu mol.L^{-1}$), de acuerdo con los lineamientos de Wheatland y col. (1971). Comportamiento similar al obtenido con el fósforo total presentó el ortofosfato disuelto. Al comparar los resultados actuales con los tres estudios precedentes se observa una disminución en los valores de concentración, excepto en la estación 3 correspondiente a la desembocadura del río San Juan.

Las concentraciones de sólidos en suspensión obtenidas durante este estudio fueron inferiores a las reportadas por García y col. (1987) y Tur y col. (2000), excepto en la desembocadura del río San Juan, similar comportamiento al obtenido para el fósforo total (Fig. 5).

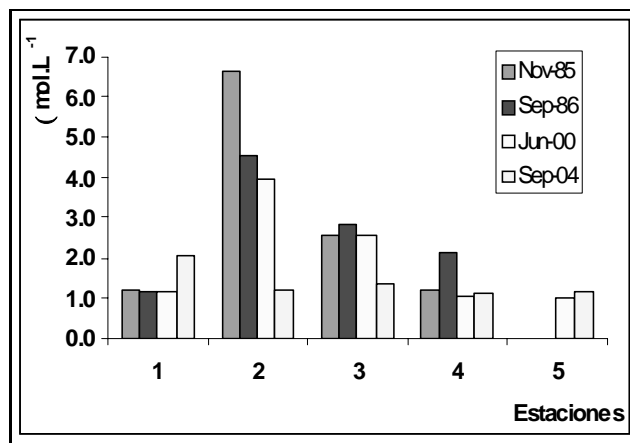


Fig. 4. Comparación del fósforo total en cuatro estudios realizados en la bahía

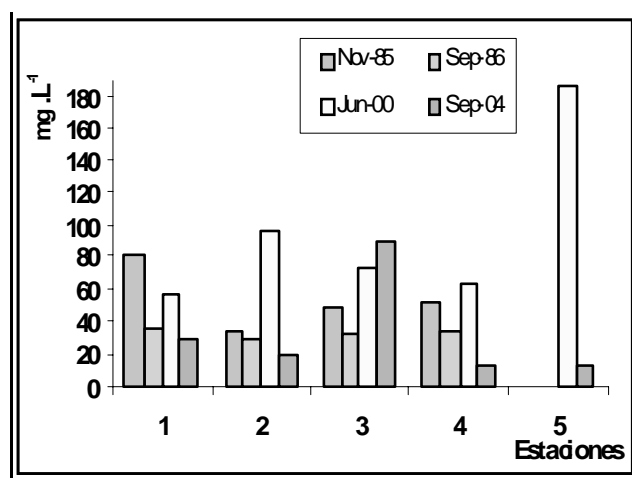


Fig. 5. Concentración de sólidos suspendidos en cuatro estudios realizados en la bahía

La Fig. 6, muestra el resultado del Análisis Cluster realizado con todos los indicadores hidroquímicos normalizados con respecto al valor mínimo de cada uno de ellos. Las estaciones 4 y 5 (desembocadura río Canimar) aparecen en un nivel de agrupamiento diferente a las demás. Este resultado permite clasificar en orden creciente la

calidad de las aguas de estas estaciones (3 → 1 - 2 → 4 - 5). Se mantiene, al igual que en los estudios precedentes, como zonas de mayor afectación, la desembocadura de los ríos San Juan, Yumurí y la zona industrial.

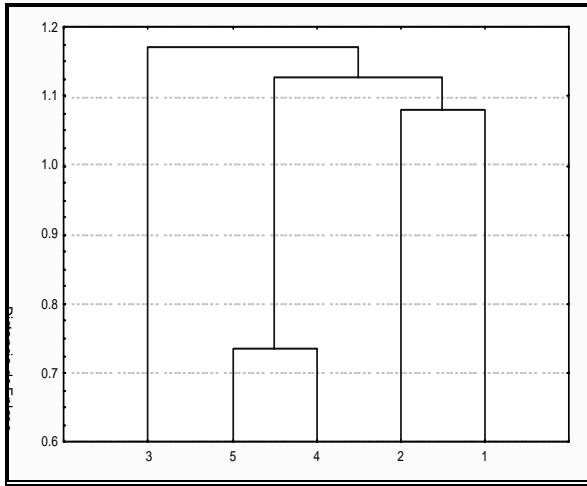


Fig. 6. Análisis Cluster Análisis Cluster teniendo en cuenta todos los indicadores hidroquímicos.

Las mayores concentraciones (Fig. 7) de clorofila *a* se alcanzaron en las estaciones 2 (río Yumurí) y 5 (río Canimar), únicas donde se sobrepasó el límite para aguas eutróficas (más de 1.0 mg.m⁻³) propuesto por Margalef (1980). En el punto correspondiente a la actual estación 2, Tur y col. (2000) también encontraron las mayores concentraciones de clorofila -*a*-, y señalaron que esta era la zona más afectada por eutrofización, debido al aporte de nutrientes a través del río Yumurí, así como del cercano río San Juan.

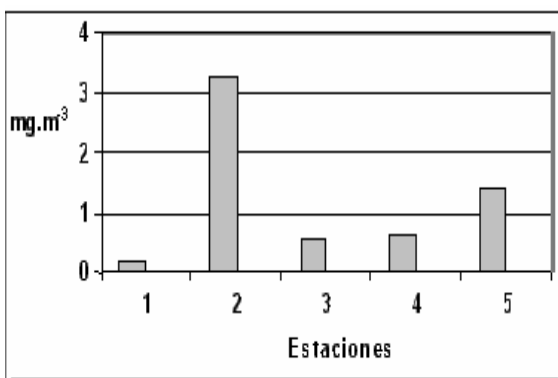


Fig. 7. Concentraciones de clorofila *a*

Las concentraciones más elevadas de coliformes fecales (Fig. 8) corresponden con las estaciones ubicadas en la desembocadura de los ríos Yumurí y San Juan, estos ríos reciben el aporte directo de aguas negras sin ningún tratamiento provenientes de poblaciones aledañas. Los valores medios exceden los criterios higiénicos - sanitarios establecidos en la Norma Cubana NC 22: 1999 para lugares de baño en costas y en masas de aguas interiores (ONN; 1999) y sobrepasan los valores obtenidos en el estudio del 2000, realizado por Tur y col.

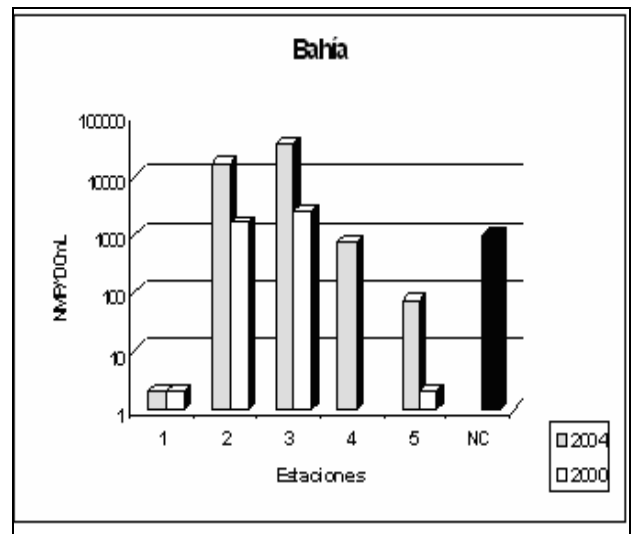


Fig. 8. Comparación con la Norma Cubana de las concentraciones de coliformes fecales en la bahía, años 2000 y 2004.

En la Fig. 9, se muestra los valores de la media geométrica (G) de las concentraciones de coliformes fecales obtenidas en las principales zonas de baño ubicadas en el margen de la bahía, puede verse un aumento en la calidad bacteriológica, con respecto al estudio precedente, aunque la playa El Judío, aún mantiene valores que supera los criterios higiénicos - sanitarios establecidos en la Norma Cubana NC 22: 1999 (ONN, 1999).

Las concentraciones de hidrocarburos del petróleo disueltos y dispersos (HPDD) oscilaron entre 2.8 y 5.9 µg L⁻¹ (Fig. 10), valores relativamente bajos y que deben estar influidos por el gran poder de depuración que posee la bahía. En todos los casos, los resultados obtenidos son considerados según las normas evaluativas propuestas por el Proyecto

CARIPOL, como típicos de zonas costeras ligeramente contaminadas por petróleo (CARIPOL, 1987; IOC/UNED, 1991).

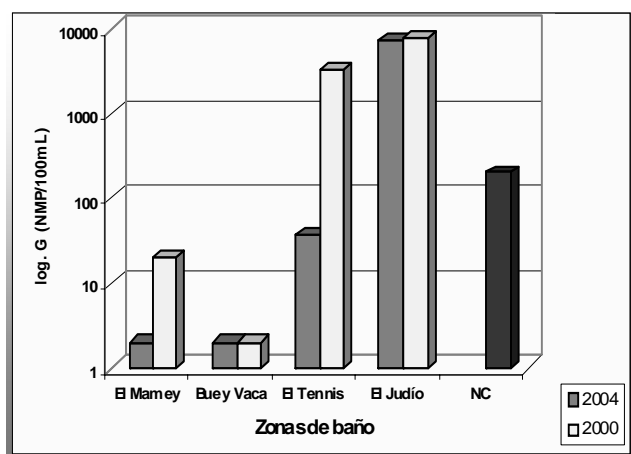


Fig. 9. Comparación con la Norma Cubana de las concentraciones de coliformes fecales en zonas de baño, años 2000 y 2004

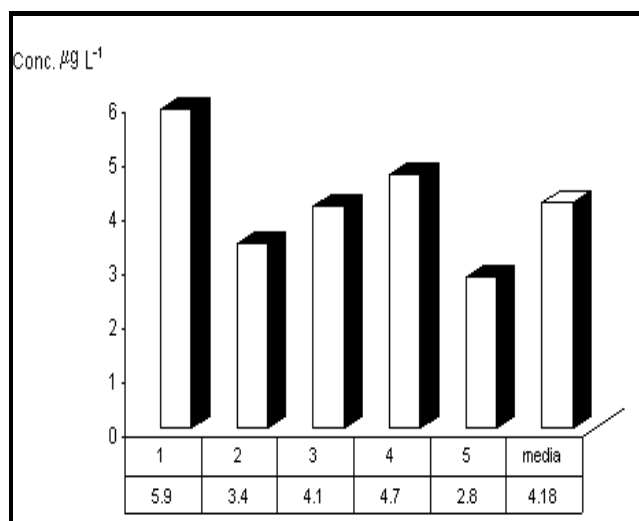


Fig. 10. Distribución de hidrocarburos ($\mu\text{g L}^{-1}$) en aguas de la bahía.

Al comparar el resultado de concentración de hidrocarburos petrogénicos obtenidos en este estudio, con los valores reportados por García y col. (1987) donde se registraron, en general, concentraciones por debajo de 0.05 mg.L^{-1} (límite de detección de la técnica IR en ese entonces) y los obtenidos por Tur y col. (2000), se puede afirmar que la contaminación por petróleo en las aguas de esta bahía, se ha mantenido en niveles muy bajos

y no constituye por el momento un problema relevante. Sin embargo, se reitera que las condiciones físico - geográficas de esta zona marina, juegan un papel primordial en la remoción y dilución de contaminantes.

Calidad de los sedimentos

Los hidrocarburos totales en los sedimentos superficiales (Fig. 11), arrojaron valores de concentraciones que no resultan elevados (valor medio 35 mg.kg^{-1}), lo cual reafirma la poca influencia de este contaminante en la bahía. Es de destacar que el valor más sobresaliente (74.4 mg.kg^{-1}) en cuanto a este contaminante, se localiza en la estación ubicada en la desembocadura del río San Juan, vía mayor de aportes contaminantes al ecosistema. Al comparar estos resultados con los reportados por García y col. (1987) y Tur y col. (2000), se puede afirmar que los niveles de contaminación por petróleo en la bahía se han mantenido bajos y al igual que en los estudios precedentes (en todos los casos) los mayores valores detectados han estado asociados al río San Juan.

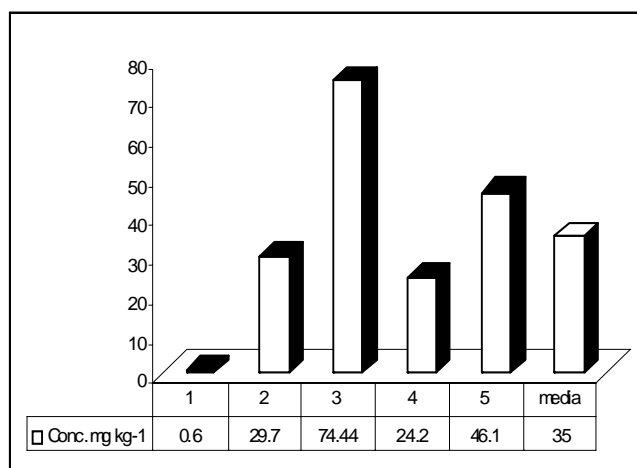


Fig. 11. Concentración de hidrocarburos (mg kg^{-1}) en sedimentos recientes de la bahía.

En la [Tabla 2](#), se presenta una comparación de valores de concentración de hidrocarburos en sedimentos (matriz más conservativa) en bahías y zonas costeras de Cuba con diferentes grados de contaminación por petróleo y puede apreciarse que los menores valores corresponden a la bahía de Matanzas, aún cuando éstos son el resultado de las estaciones más afectadas históricamente.

Tabla 2. Valores medios de hidrocarburos del petróleo en sedimentos recientes (materia seca) de bahías y zonas costeras cubanas

Bahías y zonas costeras	Intervalo de valores mg Kg ⁻¹ materia seca	Valor medio mg Kg ⁻¹ materia seca	Calidad Ambiental	Referencias
Bahía de La Habana	885 - 1212	1026	Altamente contaminada	Beltrán y col. 2003
Zona de Playa del Chivo	108-250	158	Moderadamente contaminada	Beltrán y col. 1999
Bahía de Cienfuegos	61 - 224	141	Moderadamente contaminada	Pérez y col. 2004
Zona de Varadero - Cárdenas	27 - 188	67	Ligeramente contaminada	Regadera y col. 2001
Bahía de Nipe	53 - 268	112	Moderadamente contaminada	Martín y col. 2002
Bahía de Mariel	85 - 357	98	Ligeramente contaminada	García y col. 2002
Bahía de Puerto Padre	8 - 482	202	Moderadamente contaminada	Quintana y col. 2003
Bahía de Nuevitas	52 - 476	169	Moderadamente contaminada	Ruiz y col. 2003
Bahía de Matanzas	0.6 - 74.4	35	Muy poco influida	Presente estudio

En la Fig. 12, se presentan las concentraciones de Cr, Cu, Ni Pb y Zn, metales considerados buenos indicadores de contaminación urbana e industrial (Forstner and Wittmann, 1974; Salomons and Forstner, 1984, González, 1989). Se observa una mayor concentración en las estaciones correspondientes a las desembocaduras de los ríos Yumurí y San Juan con respecto al resto de las estaciones, que, como ya se ha comentado, esos ríos están influidos por los aportes crudos de residuales líquidos que reciben en sus trayectos.

Considerando que los sedimentos superficiales proporcionan información acerca de las características actuales del sistema evaluado, se infiere que la Tenería "Mártires de Ñancahuazú" a dejado de ser la principal fuente de vertido de cromo a la bahía, dado la notable disminución del contenido de este metal en los sedimentos de la estación 1, ubicada en la zona costera cercana al vertimiento de esta instalación.

Estudios realizados en 1987 por González y col. (1991), reportaron en estaciones muy cercanas a la

zona de vertimiento de la tenería concentraciones muy superiores (365 - 7915 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$) a las actuales.

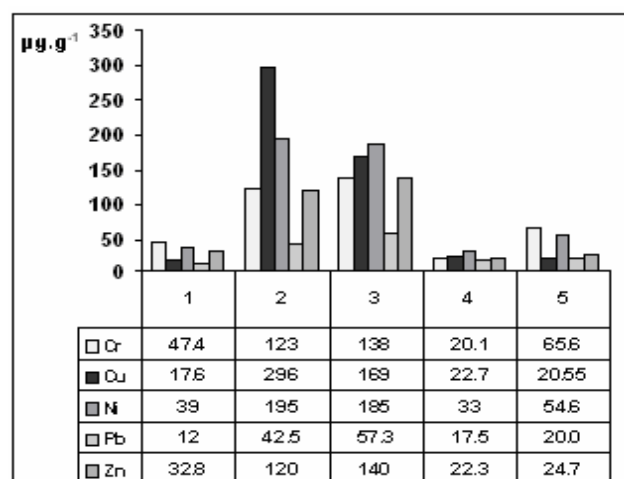


Fig. 12. Concentraciones de metales pesados en sedimentos recientes de la bahía.

CONCLUSIONES

- Los problemas de contaminación de la bahía de Matanzas pueden considerarse puntuales y se localizan en la parte más interna de la bahía, en particular en la desembocadura de los ríos San Juan y Yumurí.
- Las aguas de la bahía se clasifican de mesotróficas a ligeramente eutróficas, especialmente en la desembocadura de los ríos, de acuerdo con la concentración de clorofila *a*.
- Las concentraciones de hidrocarburos petrogénicos en agua y sedimentos superficiales, son indicativos de zonas marino - costeras muy poco influidas por vertimientos de este contaminante.
- Se detectaron concentraciones de coliformes fecales por encima de los criterios de calidad de la Norma Cubana NC 22: 1999, en las Playas El Tenis y El Judío.
- Las concentraciones de los metales pesados en los sedimentos superficiales muestra que los ríos San Juan y Yumurí siguen siendo fuentes potenciales de contaminación.

REFERENCIAS

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

Beltrán, J., F. Ruiz, A. Vega, I. Torres y A. Villasol (1998): Impacto Ambiental causado por un derrame de hidrocarburos en la bahía de Matanzas, Cuba". Informe técnico, CIMAB, CITMA, 36 pp.

Beltrán, J., F. Ruiz y L. Saborido (1999): Niveles de hidrocarburos del petróleo en la zona marino - costera de Playa del Chivo, Ciudad de La Habana. Memorias del V Taller de la Cátedra de Medio Ambiente "Contribución a la educación y la protección ambiental", Instituto Superior de Ciencias y Tecnología Nucleares, Cátedra de Medio Ambiente, Editorial Academia, pp: 135-139.

Beltrán, J., A. Martín, H. Mancebo, F. Ruiz, R. Regadera y M. Ramírez (2003): Control y evolución de la calidad ambiental de la Bahía de La Habana y el litoral adyacente. Informe Final, Vigilancia

ambiental para la Bahía de La Habana, Cuba, Centro de Ingeniería y Manejo Ambiental de Bahías y Costas, 61 pp.

CARIPOL (1980): Manual of Petroleum Pollution Monitoring. LAB (4301), Rickenbaker, Causing Miami, Fla. 33149, 14 pp.

CARIPOL (1987): Proceeding of Symposium on the Results of the CARIPOL Petroleum Monitoring Project". Caribbean Journal of Science. Vol. 23 No 1: 1-14.

CNNG (2000): Comisión Nacional de Nombres Geográficos. Oficina Nacional de Hidrografía y Geodesia, 250 pp.

Dutka, B.J. (1989): Microbiological and Toxicological Analysis of Water, Wastewater and Sediment. National Water Research Institute, 32 pp.

Ensayo Acreditado (2004): IA6746:10 Materiales Biológicos. "Determinación de Cu, Zn, Cd, y Pb. Voltametría de Redisolución Anódica. Ensayos acreditados en el Laboratorio de Análisis Químico del Centro de Estudios Aplicaciones Tecnológicas y Desarrollo Nuclear (CEADEN).

Ensayo Acreditado (2004), IA6746:16 Sedimentos "Determinación de Al, K, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Sr, Ba". EAA. Ensayos acreditados en el Laboratorio de Análisis Químico del Centro de Estudios Aplicaciones Tecnológicas y Desarrollo Nuclear (CEADEN).

Forstner, U. and G. Wittmann (1979): Metal pollution in the aquatic environment. Springer Verlag, berlin- Heidelberg, 486 pp.

García, R., H. Quintana, H. Mancebo, M. Valdés y A. Tur (2002): Diagnóstico de la calidad ambiental del Ecosistema Bahía de Mariel. PRCT: Evaluación y control de la contaminación marina en las bahías de Cienfuegos, Zona Varadero-Cárdenas, Matanzas, Mariel, Nuevitas, Nipe, Puerto Padre y Santiago de Cuba. Resultado 11. Informe final, CIMAB, CITMA, 69 pp.

García-Galocha, R. (2002): Diagnóstico de la calidad ambiental del Ecosistema Bahía de Mariel. Programa Científico-Técnico Ramal: Protección del Medio Ambiente y el Desarrollo Sostenible Cubano. Proyecto: Evaluación y Control de la Contamina-

- ción Marina en las Bahías de Cienfuegos, zona Cárdenas-Varadero, Matanzas, Mariel, Nuevitas, Nipe, Puerto Padre y Santiago de Cuba. Resultado 11. Informe Final, Cuba, Centro de Ingeniería y Manejo Ambiental de Bahías y Costas, 69 pp.
- GEOCUBA (2004): Tablas de Marea, Costas de Cuba". Servicio Hidrográfico y Geodésico de la República de Cuba, 240 pp.
- González, H. y L. Brugmann (1989): Heavy metals in sediments of Matanzas Bay, Cuba. *Chemistry and Ecology*, Vol. 4, pp: 37- 45.
- Grasshoff, K., M. Ehrhardt, K. Kremling (2002): *Methods of Seawater Analysis*, Third completely revised and extended edition, 600 pp.
- IOC/UNEP (1991): Report of the Caribbean Environmental Programme for the Assessment and Control of Marine Pollution. Caribbean Environmental Programme, *Technical Report 8*, 41 pp.
- ISO 10523:1994: Determination of pH. Water quality, ISO.
- Margalef, R. (1980): *Ecología*, Ed. Omega. Barcelona, 951 pp.
- Martín, A., O. García, G. Arencibia, J. Beltrán, F. Ruiz y H. Mancebo (2002): Evaluación y control de la contaminación marina en las bahías de Cienfuegos, Zona Varadero-Cárdenas, Matanzas, Mariel, Nuevitas, Nipe, Puerto Padre y Santiago de Cuba. Resultado 21. "Control de la calidad del Ecosistema Bahía de Nipe", Informe final, CIMAB, CITMA, 69 pp.
- ONN (1999): Requisitos higiénicos sanitarios en lugares de baño en costas y en masas de aguas interiores. Norma Cubana (NC 22: 1999) Oficina Nacional de Normalización, Cuba, 10 pp.
- ONN (1999): Evaluación de los objetos hídricos de uso pesquero. Norma Cubana (NC 25: 1999). Oficina Nacional de Normalización, Cuba, 9 pp.
- Pérez, M., O. García, A. Muñoz, I. Periles, M. Seisdedo, A. Martín y H. Mancebo (2004): Evaluación y control de la contaminación marina en las bahías de Cienfuegos, zona Varadero-Cárdenas, Matanzas, Mariel, Nuevitas, Nipe, Puerto Padre y Santiago de Cuba. Programa Científico-Técnico Ramal: Protección del Medio Ambiente y el Desarrollo Sostenible Cubano. Resultado 06. "Diagnóstico de la calidad ambiental del ecosistema Bahía de Cienfuegos", Informe final, CIMAB, CITMA, 57 pp.
- Quintana, H., R. García, E. García, L. Domínguez, A. Martín, R. Regadera, J. Beltrán y H. Mancebo (2003): Evaluación y control de la contaminación marina en las bahías de Cienfuegos, Zona Varadero-Cárdenas, Matanzas, Mariel, Nuevitas, Nipe, Puerto Padre y Santiago de Cuba. Resultado 21. "Control de la calidad del Ecosistema bahía de Puerto Padre", Informe final, CIMAB, CITMA, 67 pp.
- Regadera, R., A. Martín, M. Ramírez, J. Beltrán y F. Ruiz (2001): Evaluación y control de la contaminación marina en las bahías de Cienfuegos, zona Varadero-Cárdenas, Matanzas, Mariel, Nuevitas, Nipe, Puerto Padre y Santiago de Cuba. Programa Científico-Técnico Ramal: Protección del Medio Ambiente y el Desarrollo Sostenible Cubano. Resultado 02. "Diagnóstico de la calidad ambiental del ecosistema de la zona Varadero-Cárdenas", Informe final, CIMAB, CITMA, 61 pp.
- Rey, A. y F. Lorenzo (1990): Antecedentes históricos de la contaminación de la Bahía de Matanzas". Instituto Superior Pedagógico Juan Marinello. Matanzas, Cuba, 5 pp.
- Riley, J.A. and R. Chester (1978): *Chemical Oceanography*, Academy Press, 2nd Edition, Vol. 7, 647 pp.
- Ruiz, F., A. Martín, J. Beltrán, R. Regadera y M. Ramírez (2003): Evaluación y control de la contaminación marina en las bahías de Cienfuegos, Zona Varadero-Cárdenas, Matanzas, Mariel, Nuevitas, Nipe, Puerto Padre y Santiago de Cuba. Programa Científico-Técnico Ramal: Protección del Medio Ambiente y el Desarrollo Sostenible Cubano Resultado 16. "Control de la calidad del Ecosistema Bahía de Nuevitas", Informe final, CIMAB, CITMA, 82 pp.
- Ruiz, F., A. Tur, R. García, A. Martín, J. Beltrán, R. Regadera y M. Ramírez (2004): Diagnóstico de la calidad ambiental de la bahía de Nuevitas. III Taller Internacional Contaminación y Protección del Medio Ambiente. Publicado en CD ISSN CUB 0138-8452.
- Salomons, W. and U. Forstner (1984): *Metals in the hydrocycle*, Springer-Verlag, Berlin - Heidelberg, 31 pp.

SCOR-UNESCO (1980): Determination of chlorophyll in sea water. Technical Papers in Marine Science. 35 pp.

Tur, A., A. Martín, F. Palacios, J. Beltrán, M. Ramírez, R. Regadera y F. Ruiz (2000): Control de la Calidad Ambiental del Ecosistema Bahía de Matanzas. PRCT: Protección del Medio Ambiente y el Desarrollo Sostenible Cubano. Proyecto: Evaluación y Control de la Contaminación Marina en las Bahías de Cienfuegos, Zona Cárdenas-Varadero, Matanzas, Mariel, Nuevitas, Nipe, Puerto

Padre y Santiago de Cuba. Resultado 02. Informe final, CIMAB, CITMA, 58 pp.

UNEP (1999): Global Environment Outlook 2000. Earth scans publications, <http://www.unep.org/geo>.

Wheatland, A.B., A.M. Inste, A.R. Aag and A.M. Bruce (1971): Some observations on the dispersion of sewage from sea out falls. *UK. Wat. Pollut. Res. Lab. Ref.* 452, 27 pp.

Aceptado: 23 de julio del 2007