

EVALUACIÓN DE LA CALIDAD AMBIENTAL DE LAS AGUAS DEL LITORAL DE LA CIUDAD DE LA HABANA EN EL PERÍODO LLUVIOSO DEL AÑO 2009

Liseth García, Ana Julia Martínez, Marlén Pérez, Lisse López,
Mismel Ruiz, Felix Solar y Jesús Beltrán.

Centro de Ingeniería y Manejo Ambiental de Bahías y Costas (CIMAB),
Carretera del Cristo No. 3, Casablanca, Regla, Ciudad de La Habana,
Cuba, Teléf.: 862-3051, ext. 255 ó 254, E-mail: lgarcia@cimab.transnet.cu

RESUMEN

Las actividades de origen antropogénico en las zonas costeras han tenido efectos dramáticos y negativos sobre la composición química del agua de mar en muchas áreas. Con el objetivo de evaluar el grado de contaminación de las aguas del litoral de Ciudad de La Habana se realizaron análisis físicos, químicos y microbiológicos de calidad de agua. Los resultados obtenidos demuestran que los ríos están ejerciendo la mayor influencia sobre la zona costera del litoral habanero en cuanto a aportes de contaminantes en términos de nitrógeno amoniacal, fósforo y altas concentraciones de materia orgánica no biodegradable. En la mayoría de las estaciones se observó una tendencia a la disminución de los coliformes fecales y una tendencia al incremento de los valores puntuales de hidrocarburos procedentes del petróleo. Se concluye que las alteraciones de la mayoría de los parámetros físico-químicos y microbiológicos evaluados indican que se mantiene el deterioro en la calidad de las aguas del litoral habanero.

Palabras clave: calidad de agua, parámetros físico-químico y microbiológicos, contaminación marina.

EVALUATION OF THE ENVIRONMENTAL QUALITY OF THE WATERS OF THE COAST OF HAVANA CITY IN THE RAINY SEASON OF THE YEAR 2009

ABSTRACT

Anthropogenic activities in coastal zones, has had dramatic and negative effects on the seawater chemistry of many areas. In order to evaluate the water pollution degree of the coast of Havana city it was carry out some physical, chemical and microbiological analysis of water quality. The results demonstrate that the rivers are making the main influence over the coastal zone of Havana regarding contamination that includes pollutants fluxes of inorganic nitrogen (ammonium), phosphorus and high concentrations of organic non biodegradable matter from terrestrial to coastal ecosystems. In most of the sampling stations it was observed a decreasing tendency of the fecal coliforms and an incrementing tendency of the punctual values of petroleum hydrocarbons. It is concluded that the alterations of most of the physico-chemical and microbiological evaluated parameters indicate that there persists water pollution in the Havana coast.

Key words: Water quality, physico-chemical and microbiological parameters, marine pollution.

INTRODUCCIÓN

El deterioro de los ecosistemas acuáticos debido a la contaminación constituye una problemática en la actualidad. Las producciones y emisiones de los contaminantes hacia las zonas costeras son usualmente derivados de las actividades humanas y el uso inapropiado de los recursos; tales como: desarrollo de infraestructura y construcción, actividades agrícolas, desarrollo industrial, urbanización y turismo, entre otras. (Shahidul Md. and Tamaka M., 2004)

El control de la contaminación marina ha sido identificado como una necesidad inmediata, debido al aumento del valor económico, social y ecológico de las bahías y de las zonas costeras; por lo que se hace cada día más importante la realización de nuevos estudios de la calidad ambiental del cuerpo de agua de estos ecosistemas, logrando con ello la actualización y completamiento de su situación ambiental. En este estudio, se evaluó el litoral habanero desde el río Jaimanitas hasta la zona de Playas del Este, para lo cual se plantearon los siguientes objetivos:

Realizar el diagnóstico de la calidad hidroquímica y bacteriológica en las aguas superficiales de la zona costera propuesta.

Determinar el grado de deterioro de las comunidades naturales a través de estudios con indicadores biológicos.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio de diagnóstico de calidad de las aguas marinas se realizó en una etapa de muestreo durante el mes de agosto, correspondiente al período lluvioso; el mismo incluyó el análisis de parámetros físico-químicos, biológicos y bacteriológicos. La zona de muestreo comprendió desde la Marina Hemingway al Oeste de Ciudad de La Habana hasta el Rincón de Guanabo al Este de la misma. La red de estaciones se muestra en la figura 1.

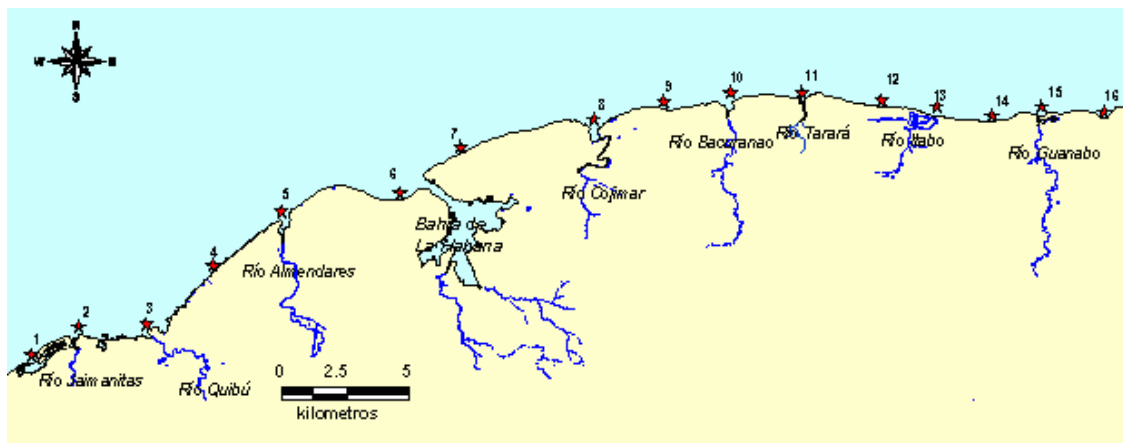


Fig. 1 Red de estaciones de muestreo.

Además, para conocer el grado de deterioro bacteriológico de las aguas en las zonas comúnmente utilizadas para el baño en el Oeste del litoral habanero, se seleccionó otra red de estaciones que incluyó los Círculos Sociales Obreros (CSO).

El estudio se realizó seleccionando los indicadores requeridos por las normas cubanas de calidad Norma Cubana NC 22: 1999 "Requisitos higiénico-sanitarios para lugares de baño en costas y en masas de aguas interiores" (ONN,

1999a), y Norma Cubana NC 25: 1999 “Evaluación de los objetos hídricos de uso pesquero. Especificaciones” (ONN, 1999b), así como otros indicadores importantes. A continuación se relacionan los diferentes métodos analíticos empleados para su determinación.

Parámetros físico-químicos

pH, medido *in situ* utilizando un pH-metro digital portátil pH/Oxi 340i. Método electrométrico (ISO 10523: 1994),

turbidez, medida *in situ*. Método nefelométrico. Methods Water Pollution (FAO, 1975),

temperatura (T), medida *in situ*, Standard Methods for the Examination for Water and Wastewater, 2550 A, B (APHA, 1998),

salinidad: Método electrométrico, con un salinómetro digital inductivo Tsrumi Seiki. Methods Water Pollution (FAO, 1975),

oxígeno disuelto (OD): Método volumétrico. Methods Water Pollution (FAO, 1975),

demanda química de oxígeno (DQO): Método volumétrico. Oxidabilidad al permanganato. Methods Water Pollution (FAO, 1975),

demanda bioquímica de oxígeno después de cinco días (DBO5): Método volumétrico para muestras no diluidas (EN-1899-2: 1998).

La concentración de saturación (CS) de oxígeno disuelto se calculó a partir de los datos de salinidad y temperatura de cada estación, mediante la ecuación:

$$CS = \frac{475 - 2.65(S)}{33.5 + T}$$

Donde:

S: salinidad en cada estación de muestre.

T: temperatura en cada estación de muestreo.

Nutrientes

nitrógeno amoniacal (N-NH₃): Método colorimétrico, Methods Water Pollution (FAO, 1975),

fósforo total (PT): Método colorimétrico (Grasshoff *et al.*, 2002)

Tóxicos orgánicos

hidrocarburos del petróleo disueltos y dispersos (HPDD): Método espectroscópico (UV de fluorescencia). Manual of Petroleum Pollution Monitoring (Programa CARIPOL, 1980)

Parámetro bioquímico

clorofila-a: Método espectroscópico (espectroscopía UV) (ISO 10260: 1992)

Parámetros bacteriológicos

coliformes fecales (CF): Técnica del Número Más Probable (NMP) en series de cinco tubos, Standard Methods for the Examination for Water and Wastewater, Part 9221 APHA (1998),

estreptococos fecales (EF): Técnica del Número Más Probable (NMP) en series de tres tubos, NC 93-01-130:1990 (ONN, 1990).

Análisis estadístico

Para la evaluación integral de los resultados se aplicó el programa estadístico STATISTICA 6.0, donde se aplicaron herramientas de estadística multivariada tales como, el análisis de componentes principales y el análisis de cluster, con el propósito de establecer una “jerarquización” de las estaciones con respecto a las concentraciones de los indicadores de calidad del agua estudiados, estandarizadas antes del análisis, mediante la transformación:

$$Xi = \frac{X}{Max(Xt)}$$

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados de la caracterización de los parámetros físico-químicos de la calidad del agua superficial se presentan a continuación.

Los valores de pH obtenidos durante el estudio en las estaciones del Este se encontraron en el intervalo adecuado para aguas de baño según la NC 22: 1999 (ONN, 1999a) y las estaciones del Oeste tuvieron algunos valores que clasifican como calidad dudosa para aguas de uso pesquero. No obstante todos los valores de pH resultaron típicos de ecosistemas marinos (Riley and Chester, 1978).

Los resultados de temperatura oscilaron entre 28,1-33,1, siendo el río Itabo el de mayor temperatura encontrada. En el caso de la turbidez los resultados más elevados fueron detectados en las estaciones de los ríos Cojímar, Quibú y Jaimanitas.

Durante este estudio se obtuvieron valores de pH y temperatura similares a los obtenidos en el estudio anterior realizado por Beltrán *et al.*, 2004. Así mismo, se mantienen los ríos Quibú y Jaimanitas con los mayores valores de turbidez.

Las variaciones de salinidad encontradas evidencian la influencia de los ríos sobre este indicador en todo el litoral. Las estaciones ubicadas en los ríos Quibú y Cojímar mostraron los menores valores de salinidad quedando clasificadas como aguas de calidad mala y dudosa respectivamente de acuerdo con los criterios de la Norma Cubana NC 25: 1999 (ONN,1999b). Las estaciones del río Itabo y la calle 494 correspondientes a áreas de baño de la zona Este, mostraron resultados por debajo del límite mínimo requerido para aguas de contacto directo (ONN, 1999a).

En la figura 2 se presentan los valores de oxígeno disuelto y la concentración de saturación que le corresponde a cada una de las estaciones muestreadas. Se observa que las estaciones ubicadas en las desembocaduras de los ríos, el dren de Alamar y el Rincón de Guanabo presentaron valores por debajo del límite mínimo de 5 mg L⁻¹, recomendado para aguas marinas de calidad buena en la Norma Cubana NC 25: 1999 (ONN, 1999b). Además en las estaciones de la zona Este también se cumple con lo que establece la Norma Cubana NC 22: 1999, (ONN, 1999a) para aguas de contacto directo; ya que los valores se encuentran por encima del 70 % de la concentración de saturación, excepto en el rincón de Guanabo que solo alcanzó 50 %.

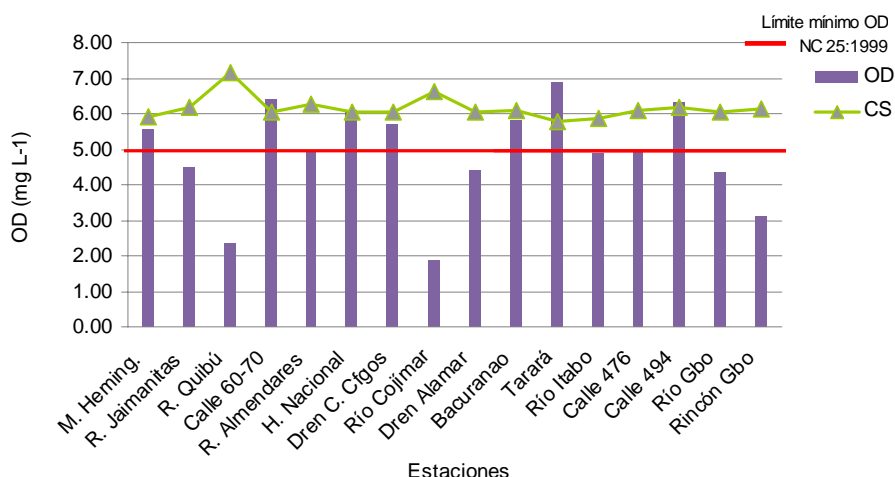


Fig. 2 Valores de oxígeno disuelto y concentración de saturación por estaciones de muestreo del litoral habanero.

En relación con el estudio anterior (Beltrán *et al.*, 2004) se mantienen las estaciones de los ríos Cojímar y Quibú con las condiciones más desfavorables en cuanto al oxígeno disuelto; lo cual indica contaminación con materia orgánica, calidad mala del agua e incapacidad para mantener ciertas formas de vida (<http://Www.wikipedia.org screenshot.png>). En la zona Oeste del litoral (Tabla 1) se presentaron concentraciones de DBO₅ que clasifican, las estaciones de la calle 60-70 y del río Almendares, como de buena calidad. En los casos de la M. Hemingway, de los ríos Jaimanitas y Quibú y del hotel Nacional mostraron valores en el intervalo de 1-2 mg L⁻¹ por lo que se catalogan como aguas de calidad dudosa. Las mayores concentraciones se obtuvieron en los drenes C. Cienfuegos y Alamar y en el río Cojímar, clasificando estas aguas como de mala calidad para uso pesquero. En la zona Este todas las concentraciones de DBO₅ se encontraron por debajo del límite requerido en la NC 22: 1999. (ONN, 1999a)

La materia orgánica expresada como oxidabilidad al permanganato (DQO) se comportó de manera similar en ambas zonas del litoral con valores por encima del límite establecido en la NC 22: 1999 (ONN, 1999a). Estos resultados pudieran asociarse a la influencia que ejerce el vertimiento de los residuales líquidos con escaso tratamiento, los cuales presentan elevada concentración de materia orgánica no biodegradable.

Tabla 1. Materia orgánica (DBO₅ y DQO) en las estaciones del litoral habanero

Estación	Indicadores	
	DBO ₅	DQO
	(mg L ⁻¹)	(mg L ⁻¹)
Zona Oeste		
M. Heming.	1.37	6.65*
R. Jaimanitas	1.03	8.78*
R. Quibú	1.16	9.23*
Calle 60-70	0.14	3.73*
R. Almendares	0.92	6.38*
H. Nacional	1.69	8.47*
Dren C. Cfgos	2.86	5.62*
Río Cojímar	> 6.0	14.3*
Dren Alamar	3.95	7.08*
Valores Normados (para la calidad del agua)	Buena < 1	^
	Dudosa 1-2	
	Mala > 2	
Referencia	NC 25: 1999	^
Zona Este		
Bacuranao	0.49	2.72*
Tará	1.45	5.29*
Río Itabo	1.02	6.26*
Calle 476	1.83	6.32*
Calle 494	2.19	6.19*
Río Gbo	0.25	2.59*
Rincón Gbo	0.63	5.12*
Valores Normados	< 3	< 2
Referencia	NC 22: 1999	NC 22: 1999

En la tabla 2 aparecen los resultados de los nutrientes evaluados. En la mayoría de las estaciones del litoral se detectaron valores de nitrógeno amoniacal dentro del rango establecido para aguas de uso pesquero de calidad dudosa. Los mayores valores fueron encontrados en las estaciones ubicadas en los ríos Quibú, Almendares y Cojímar, en los drenes de Alamar y Camilo Cienfuegos y en la estación frente al Hotel Nacional, que al estar por encima de 3,57 $\mu\text{mol L}^{-1}$, estas aguas se clasifican de calidad mala según lo establecido en la NC 25: 1999. (ONN, 1999b)

Tabla 2. Nutrientes evaluados en las estaciones de muestreo del litoral habanero

Estaciones	Indicadores	
	N-NH ₃ ($\mu\text{mol L}^{-1}$)	PT ($\mu\text{mol L}^{-1}$)
Zona Oeste		
M. Heming.	2.97	0.33
R. Jaimanitas	2.53	1.67
R. Quibú	12.42*	4.21
Calle 60-70	2.39	0.44
R. Almendares	10.36*	2.24
H. Nacional	7.31*	0.29
Dren C. Cfgos	5.43*	0.47
Río Cojímar	7.47*	6.93
Dren Alamar	17.44*	0.92
Zona Este		
Bacuranao	2.45	0.28
Tarará	1.5	0.46
Río Itabo	2.43	0.78
Calle 476	2.35	0.42
Calle 494	2.44	1.92
Río Gbo	1.17	0.96
Rincón Gbo	2.74	0.34
Valores Normados (para la calidad del agua)	Buena < 2.14	^
	Dudosa 2.14 < 3.57	
	Mala > 3.57	
Referencia	NC-25: 1999	^

Para el fósforo total, al igual que en el estudio anterior realizado por Beltrán *et al.* (2004), se mantienen los ríos Quibú, Almendares y Cojímar con los mayores valores de concentración.

Estos resultados demuestran que los ríos están ejerciendo la mayor influencia sobre la zona costera del litoral habanero en cuanto a aportes de contaminantes en términos de nitrógeno amoniacal y fósforo.

En todas las estaciones la concentración de HPDD se mantuvo por debajo de $10 \mu\text{g L}^{-1}$, valor límite requerido por el Programa CARIPOL, para considerar la zona ligeramente contaminada por hidrocarburos procedentes del petróleo. (CARIPOL, 1987) Los mayores valores se obtuvieron en las estaciones de los ríos Almendares y Cojímar con 7,81 y

7,96 $\mu\text{g L}^{-1}$ respectivamente. Estos resultados muestran una tendencia al incremento de los valores puntuales con respecto a los detectados en el estudio anterior.

En las ocho estaciones en las que la clorofila-a sobrepasó el límite de $1,1 \text{ mg m}^{-3}$, a partir del cual las aguas se clasifican como eutróficas, (Margalef, 1974) se detectaron concentraciones altas de nitrógeno amoniacal y, en cinco de ellas, muy por encima del límite establecido en la norma cubana NC 25: 1999 (ONN, 1999b), a partir del cual las aguas se consideran de calidad mala.

Según McCarthy *et al.* (1977) el fitoplancton prefiere el consumo de las formas más reducidas del nitrógeno, por no tener que incurrir en gastos de energía para llevar el nitrato a nitrito y después a amonio antes que la célula lo pueda incorporar a los aminoácidos; todo lo cual pudo favorecer el aumento de la concentración de este pigmento en las estaciones estudiadas. Resultados similares fueron encontrados en el estudio anterior realizado por Beltrán *et al.* (2004).

En el resto de las estaciones las concentraciones de clorofila-a fueron bajas, aún cuando en algunos casos coinciden con la salida de drenajes de aguas residuales, lo que puede deberse a la rápida dispersión de los nutrientes debido a una menor carga total de contaminantes en zonas con alta energía marina originada por el oleaje y corrientes costeras.

Estos resultados indican que las principales fuentes de contaminación por aporte de nutrientes son los ríos que vierten en la zona de estudio, principalmente los ríos Jaimanitas, Quibú, Almendares y Cojímar; lo que coincide con lo planteado por Stirn (1981).

Los resultados de coliformes fecales (Fig. 3), en la mayoría de las estaciones de la zona Oeste del litoral, se encontraron por encima del límite máximo para este indicador establecido para aguas de contacto directo y clasifican como aguas de calidad mala para uso pesquero. Por el contrario, en la mayoría estaciones de la zona Este del litoral los valores detectados para este indicador cumplieron con los límites establecidos en las dos normas de referencia, a excepción de la estación ubicada en la calle 494 donde se evidencia la contaminación fecal que aporta el dren cercano a la misma, el cual tiene un alto contenido de aguas residuales de origen doméstico.

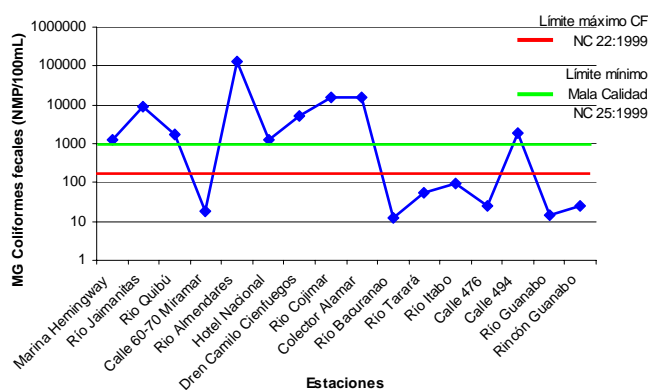


Fig. 3 Concentración de coliformes fecales en las zonas de baños al Oeste del litoral habanero.

En las estaciones ubicadas en las principales zonas de baño al Oeste del litoral se encontraron concentraciones de coliformes fecales por debajo del límite de la norma de referencia (ONN, 1999a), excepto en las estaciones de los círculos sociales Aracelio Iglesias y Jose Luis Tassende. También se detectaron concentraciones de estreptococos fecales muy por debajo del límite normado (100 NMP/100mL).

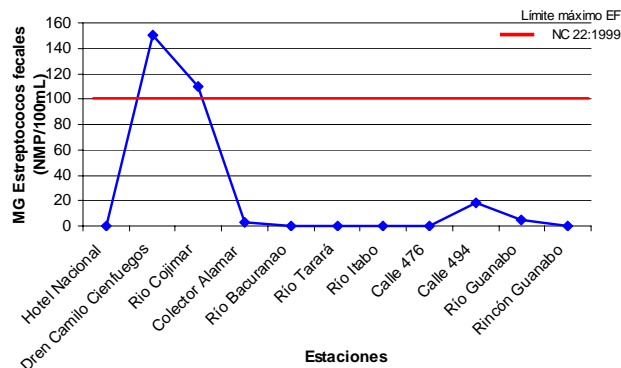


Fig. 4 Concentración de estreptococos fecales en las zonas de baños al Oeste del litoral habanero.

Al comparar estos resultados con los obtenidos en el período lluvioso del año 2004, se observa un aumento de la concentración de coliformes fecales en el CSO Aracelio Iglesias, de 2 NMP/100 mL en el año 2004, a $2,47 \times 10^2$ NMP/100 mL en el 2009; lo cual evidencia una tendencia al deterioro de la calidad del agua en esta zona. Sin embargo, de forma general, en la mayoría de las estaciones se observa una tendencia a la disminución de los coliformes fecales con respecto al estudio anterior. (Beltrán *et al.*, 2004)

Los resultados obtenidos al aplicar un análisis de cluster (Fig. 5) demuestran que existe un grupo de estaciones, cuyos resultados de los indicadores de calidad del agua, tuvieron valores similares.

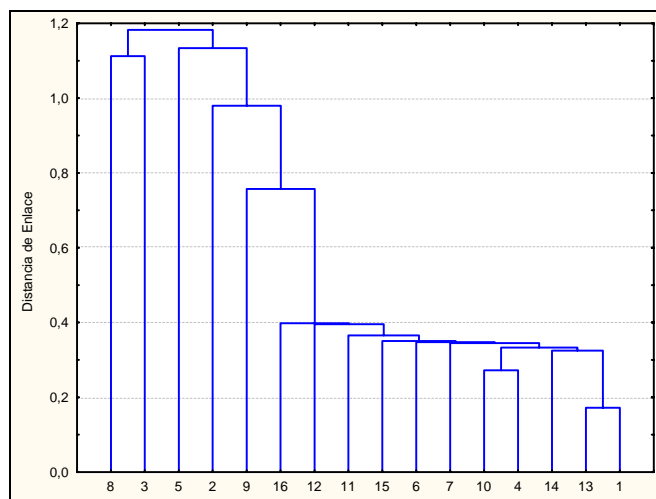


Fig. 2 Resultados del análisis de cluster de los indicadores de calidad de agua de las estaciones del litoral habanero.

En este grupo se encuentran las estaciones: 8, 3, 5, 2, 9, 12, ubicadas en las desembocaduras de los ríos de la zona Oeste y el dren de Alamar, siendo éstos los lugares de mayor contaminación del litoral estudiado.

El análisis de componentes principales, realizado con dos factores, explica el 57 % de la varianza de los datos. Los resultados obtenidos (Fig. 6) muestran que los menores valores de oxígeno disuelto y salinidad se corresponden con

los mayores de DBO₅, DQO, PT y Turbidez. Este comportamiento predomina en las estaciones ubicadas en las desembocaduras de los ríos, principalmente Jaimanitas, Quibú, Almendares y Cojímar.

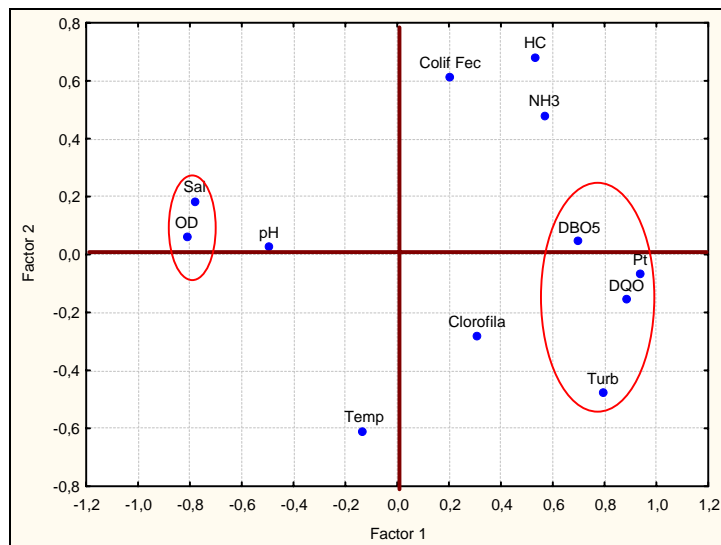


Fig. 3 Resultados del análisis de componentes principales de los indicadores de calidad de agua de las estaciones del litoral habanero.

Los resultados anteriores corroboran la influencia negativa que ejercen las corrientes fluviales sobre el litoral habanero ya que son portadoras de aguas residuales domésticas (sin tratar), introduciendo al medio marino nutrientes (nitrogenados y fosforados) y microorganismos; unido al manejo incorrecto de los residuales industriales y residuos sólidos urbanos, lo que contribuye al deterioro de estas zonas.

CONCLUSIONES

Las alteraciones de la mayoría de los parámetros físico-químicos y microbiológicos evaluados indican que se mantiene el deterioro en la calidad de las aguas del litoral habanero.

Las corrientes fluviales son las que más influencia negativa están ejerciendo sobre la calidad de las aguas del litoral habanero, principalmente los ríos Jaimanitas, Quibú, Almendares y Cojímar.

En la mayoría de las estaciones se observa una tendencia a la disminución de los coliformes fecales, pero aún no se cumplen los requisitos de calidad bacteriológica, que exigen las normas de referencia, para aguas tanto de uso pesquero como de contacto directo.

REFERENCIAS

- APHA (1998). "Standard Methods for the examination of Water and Wastewater". American Public Health Association, 20th Edition, 210 pp.
- Beltrán, J.; H. Mancebo, A. Martín and R. Regadera (2004). Monitoreo de la Calidad Ambiental del Litoral Norte de Ciudad de La Habana. PRCT Desarrollo Sostenible del Transporte y Medio Ambiente, MITRANS. Informe final, CIMAB, 36 pp.

- CARIPOL (1980). "Manual of Petroleum Pollution Monitoring". LAB (4301) Rickenbaker, Causeway Miami, Fla. 33149, 14 pp.
- CARIPOL (1987). "Proceeding of Symposium on the Results of the CARIPOL Petroleum Monitoring Project". *Caribbean Journal of Science*, 23 (1): 1-14.
- EN-1899-2:1998. Determinación de la demanda bioquímica de oxígeno después de n días (DBO_n). Parte 2: Método para muestras no diluidas.
- FAO (1975). "Manual of methods in Aquatic Environmental Research". Part.1. Methods in Aquatic Measurement and Monitoring of Water Pollution, FAO Fish. Tech. Pap., 137: 238 pp.
- Grasshoff KM, Ehrhardt K and Kremling K (2002). "Methods of Seawater Analysis". Third completely revised and extended edition, 600p.
- <http://Www.wikipedia.org> screenshot.png). Wikipedia actualizado 7 oct 2009.
- ISO 5667-3: 1994. "Calidad del agua. Muestreo". Parte 3. Guía para la conservación y la manipulación de muestras. London, 647 pp.
- ISO 10260: 1992. Water quality - Measurement of biochemical parameters - Spectrometric determination of the chlorophyll-a concentration.
- ISO 10523: 1994. Water quality- Determination of pH.
- Margalef, R. (1974). Ecología. Ed. Omega. Barcelona, 951 pp.
- McCarthy, J. J.; W. R. Taylor and J. L. Taft (1977). Nitrogenous nutrition of the plankton in the Chesapeake Bay I. Nutrient availability and phytoplankton preferences. *Limnol. Oceanogr.*, 22 (6): 996-1011.
- ONN (1990). "Sistema de normas de protección del Medio ambiente. Hidrosfera. Determinación de estreptococos fecales". (NC 93-01-130:1990). Oficina Nacional de Normalización. La Habana. Cuba.
- ONN (1999 a). "Lugares de Baño en Costas y Masas de Aguas Interiores. Requisitos Higiénicos Sanitarios". Norma Cubana (NC 22:1999). Oficina Nacional de Normalización. La Habana.
- ONN (1999 b). "Evaluación de los objetos hídricos de uso pesquero". Norma Cubana (NC 25:1999) Oficina Nacional de Normalización. La Habana. Cuba.
- ONN (2006). Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayos y calibración. Norma Cubana (NC ISO/IEC 17025:2006). Oficina Nacional de Normalización. La Habana.
- Riley, J. A. and R. Chester (1978). *Chemical Oceanography*. Academy Press, 2nd ed., vol. 7.
- Salas, H. (1995). "Emisarios submarinos alternativa viable para la disposición de aguas negras de ciudades costeras en América Latina y el Caribe". OPS/CEPIS/PUB/95. Lima, Perú, 12, 22p.
- Shahidul, Md. and M. Tamaka (2004). Impacts of pollution on coastal and marine ecosystems including coastal and marine fisheries and approach for management: a review and síntesis. *Marine Pollution Bulletin* 48: 624-649.
- Stirn, J. (1981). *Manual of methods in aquatic environment research*. Part 8. Ecological assessment of pollution effects. FAO Fish. Tech. Pap., 209: 70 pp.