

CONTAMINACIÓN DE LA BAHÍA DE CHETUMAL POR METALES PESADOS, MATERIA ORGÁNICA Y NUTRIENTES PRODUCIDOS POR LAS DESCARGAS DE AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES

José Luis González Bucio¹, José Manuel Carrión Jimenez¹, Omar Yam Gamboa¹, Cristina Díaz López²

¹Departamento de Ciencias e Ingeniería, Universidad de Quintana Roo, México
Blvd. Bahía s/n Esq. Ignacio Comonfort, Col Del Bosque, Chetumal Quintana Roo
Tel. 983-503-24. Email: buciojos@uqroo.mx

²Departamento de Química, Universidad de la Habana.
EdifHabana, Cuba

RESUMEN

Para evaluar los contenidos de metales pesados, materia orgánica y nutrientes en la bahía de Chetumal, se determinaron las concentraciones de los metales pesados (Cd, Pb, Hg y As) en sedimentos superficiales, así como algunos parámetros ambientales (materia orgánica y nutrientes) en sedimento y agua. La perturbación ambiental encontrada se relacionó con la descarga de las aguas del río Hondo y de la ciudad que desembocan a la bahía estudiada. Las concentraciones más elevadas de metales en las 9 estaciones de muestreo, se encontraron en los puntos 6, 7, 8 y 9, encontrándose los niveles más elevados de Cd (1.00 g/g), de Pb (5.63 g/g), de Hg (2.25 g/g) y de As (0.63 g/g) en temporada de lluvia en todos los casos. Los parámetros analizados PO₄, NO₃, CO₃ y MO generalmente, no presentan variación significativa y sus valores referenciales pueden compararse con los establecido por las normas oficiales nacionales.

Palabras clave: Metales_Nutrientes_Bahía

INTRODUCCIÓN

Debido a los graves problemas de contaminación de ambientes marinos en todo el mundo, se hace imprescindible la protección de los recursos marinos. Sin embargo, muchos de los ecosistemas acuáticos se encuentran contaminados, por producto de la actividad humana, algunos incluso, con sustancias tóxicas como los metales pesados.

La bahía de Chetumal, está situada en el extremo Sur del Estado de Quintana Roo, al Sureste de la península de Yucatán en México. También es una zona fronteriza que comparten México y Belice. Frente a la ciudad del mismo nombre, tiene conexión con el Río Hondo el cual sirve como límite fronterizo con el país de Belice, Centro América, y comunica con el mar Caribe, pasando a través de varios cayos; Esta limitada por los paralelos 18° 21" y 18° 52" N y los meridianos 87° 54" y 88° 23" de longitud Oeste (Figura 1)

El caso particular de la bahía de Chetumal, por sus características y en particular por la amplia variedad de especies marinas que albergan, entre las que destacan el manatí antillano (*Trichechus manatus manatus*) y una especie de delfines, ha sido declarada desde 1996 como Área Natural Protegida, "Santuario del manatí" (NOM-059-ECOL-1994).

Es evidente que el desarrollo poblacional, turístico e industrial, está ocasionando daños a las diferentes especies marinas y también a la población que utiliza esta bahía como balneario. Es estratégico mencionar que el 1996 se encontraron más de 20,000 bagres (*Ariopsis assimilis*) muertos, debido a una contaminación de fuentes no localizadas, por plaguicidas organoclorados (Ortiz-Hernández, et al., 1997).

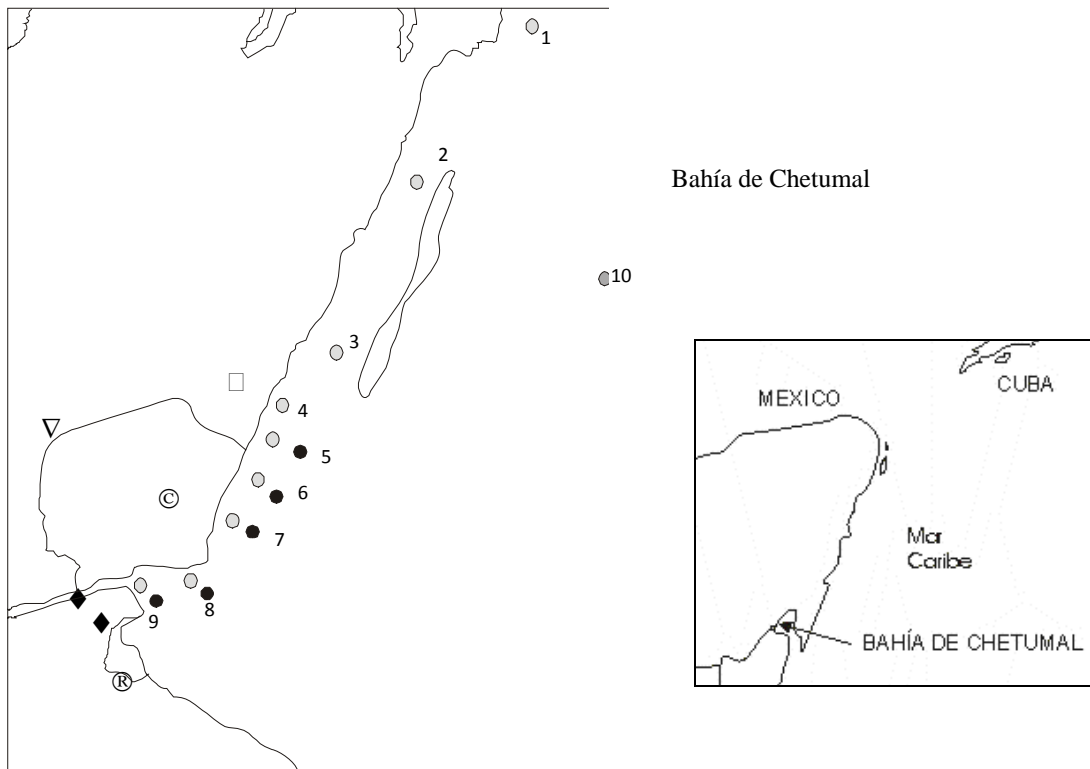
(Rojas et al., 2002), realizó estudios de niveles de concentración de metales pesados en hueso y sangre de manatíes (*Trichechus manatus manatus*) de la Bahía de Chetumal y río Hondo y

Contaminación de la bahía de Chetumal

se hallaron 14 metales en huesos de manatíes de la Bahía y un ejemplar de la Isla Holbox; las concentraciones de Ni, Cu, Cd, Pb y Hg fueron superiores a las reportadas en otros mamíferos marinos.

En el 2001 se realizó un estudio de especiación de metales pesados en sedimentos de la bahía de Chetumal, Quintana Roo y la acumulación en el músculo de bagres (*Ariopsis assimilis*), como

resultado, el Zn y el V fueron los metales más biodisponibles en las dos épocas del año y el Fe menos biodisponible tanto en sedimentos como en los organismos. También las relaciones mineralógicas entre el Fe, Zn, Pb, Cu, Cd, Ni y V sugirieron los aportes de estos metales de diferentes fuentes adicionales (García-Ríos, 2001).



1. Boca de Laguna Guerrero
2. Norte de Isla Tamalcab
3. Sur de Isla Tamalcab
4. Balneario Calderitas
5. Universidad
6. Balneario Dos Mulas
7. Local Bellavista
8. Balneario Punta Estrella
9. Boca del río Hondo

- Vientos
- ⊙ . Ciudad
 - ◆ . Ingenio
 - . Relleno sanitario
 - ▽ . Laguna de oxidación

Figura 1, Mapa de la bahía de Chetumal.

La bahía de Chetumal es un cuerpo de agua que está altamente afectado por la contaminación de

sus aguas. Aunque existen algunas investigaciones que reportan los niveles de

metales pesados en sus componentes, fue importante hacer este estudio más detallado. En la zona costera existen aproximadamente 30 fuentes que vierten sus aguas a la bahía sin tratar, estas fuentes son provenientes de la ciudad. No obstante, el río Hondo descarga sus aguas a este cuerpo de agua y consigo trae arrastre de residuos agroquímicos e industriales (ingenios), por tanto, es de esperar que éste se encuentre contaminado con metales pesados, materia orgánica (ácidos fúlvicos y húmicos) así como, la presencia de nutrientes y mayoritarios.

MATERIAL Y MÉTODO:

En el 2004, se estudiaron los sedimentos y agua de la bahía de Chetumal en temporada de seca (Febrero-Abril) y lluvia (Septiembre-Noviembre), para evaluar los metales pesados, materia orgánica y nutrientes, contaminación producida por la descarga de aguas residuales de diferentes fuentes hacia la bahía. Las estaciones de muestreo se ubican (Figura 1) a lo largo de la zona costera de la bahía de Chetumal, a una distancia de 10 m. El recorrido se realizó con una lancha de motor fuera de borda propiedad de la Universidad de Quintana Roo, se colectaron alrededor de 27 muestras de sedimento y agua, 3 replicas por estación, las estaciones fueron; 1.- Boca de la Laguna Guerrero, 2.- Norte de la Isla Tamalcab, 3.- Sur de la Isla Tamalcab, 4.- Balneario Calderitas, 5.- Universidad, 6.- Balneario Dos Mulass, 7.- Local Bellavista, 8.- Balneario Punta Estrella y 9.- Boca del río

Hondo. Las muestras de sedimentos se secaron, liofilizaron y tamizaron empleándose la fracción menor de 63 µm para su posterior digestión (ISO-11466, 1994) y análisis (ISO-11047, 1998) de metales y mayoritarios. Se utilizaron otras muestras sin digerir para las determinaciones de nutrientes; carbonatos y materia orgánica (Rauret, 1999, Apha, et al., 2005), y PO4 y NO3 en muestras de agua (Bagrat, 1965, Apha, et al., 2005). Las concentraciones de los metales se determinaron con un Espectrofotómetro de Absorción Atómica (AA) de la marca Varian, modelo SpectrAA-220 acoplado con generador de vapor (VGAAS), modelo VGA 77, los metales analizados fueron Cd, Pb, Hg y As se utilizó una llama aire acetileno y para Hg se utilizó la generación de vapor. Para verificar la exactitud de los procedimientos de análisis empleados se utilizó el material de referencia para los sedimentos marinos calcáreo (CE-141). Los resultados obtenidos se procesaron con el programa XLSTAT-Pro versión 7.5.3 (1995-2005 Addinsoft), para establecer correlaciones lineales y realizar el análisis de componentes principales (ACP).

RESULTADOS Y DISCUSIONES:

En la exactitud del método, se encontró que los intervalos de confianza declarados para la muestra de referencia y los obtenidos en el laboratorio se solapan en todos los casos (Tabla 1).

Tabla 1. Resultados del análisis de los materiales de referencia en sedimentos en µg/g (n=3).

Metales pesados	CST CE-141	CL	(C _l - S)	(C _l + S)	S
Cd	0.36	0.4	0.33	0.47	0.07
Pb	27.32	28.5	27.27	29.73	1.23
Hg	0.06	0.06	0.05	0.07	0.01
As	26.28	25.8	24.57	27.03	1.23

CST = concentración de material de referencia, CL = concentración experimental, S = desviación estándar.

Tabla 2. Concentración media de metales pesados en µg/g. 2004 (n = 9).

Puntos	Cd		Pb		Hg		As	
	(A ± s)	(B ± s)	(A ± s)	(B ± s)	(A ± s)	(B ± s)	(A ± s)	(B ± s)
1	0.02±0.02	0.04±0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20±0.01	0.33±0.01
2	0.00	0.04±0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.08±0.03	0.36±0.05

3	0.01±0.01	0.08±0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.22±0.08	0.33±0.01
4	0.04±0.01	0.11±0.01	0.03±0.00	0.00	0.03±0.01	0.00	0.28±0.02	0.28±0.01
5	0.05±0.01	0.14±0.05	0.17±0.06	0.00	0.13±0.04	0.90±0.28	0.31±0.07	0.41±0.03
6	0.09±0.03	0.42±0.36	0.61±0.19	1.92±0.08	0.24±0.06	0.99±0.27	0.18±0.03	0.41±0.01
7	0.17±0.01	0.93±0.06	1.22±0.07	4.84±0.17	0.35±0.03	1.57±0.43	0.16±0.02	0.63±0.03
8	0.45±0.02	1.00±0.07	2.84±0.29	5.63±0.28	0.70±0.06	2.25±0.09	0.23±0.03	0.53±0.11
9	0.30±0.01	0.96±0.05	0.99±0.10	4.11±0.25	0.04±0.04	1.25±0.02	0.25±0.18	0.44±0.01

(A ± s); Concentración de metales pesados y desviación estándar en temporada de seca, (B ± s); Concentración de metales pesados y desviación estándar en temporada de lluvias, 2004.

Las concentraciones pseudototales de Cd, Pb, Hg y As se presentan en la Tabla 2 y Figura 2, observándose que generalmente presentan mayores concentraciones en la época de lluvia que en seca, probablemente debido a la ocurrencia de fenómenos de escurrimiento en época de lluvia, así como también se favorecen los fenómenos de mezcla de material suspendido en la columna de agua, que se arrastra hasta la bahía y las descargas de las aguas residuales no tratadas previamente.

Las concentraciones son relativamente mayores en los puntos del 6 al 9, estos puntos de muestreo corresponden al Balneario Dos Mulas, local Bellavista, Balneario Punta Estrella y la Desembocadura del río Hondo. Esta zona refleja una mayor influencia de las descargas de aguas residuales y contaminantes, debido a los fenómenos de transporte que ocurren en el punto 9, esto desencadena que ocurra un arrastre de los contaminantes hacia ese punto, lo cual podría deberse a la influencia de las corrientes marinas en esta bahía (Morales et al., 1996).

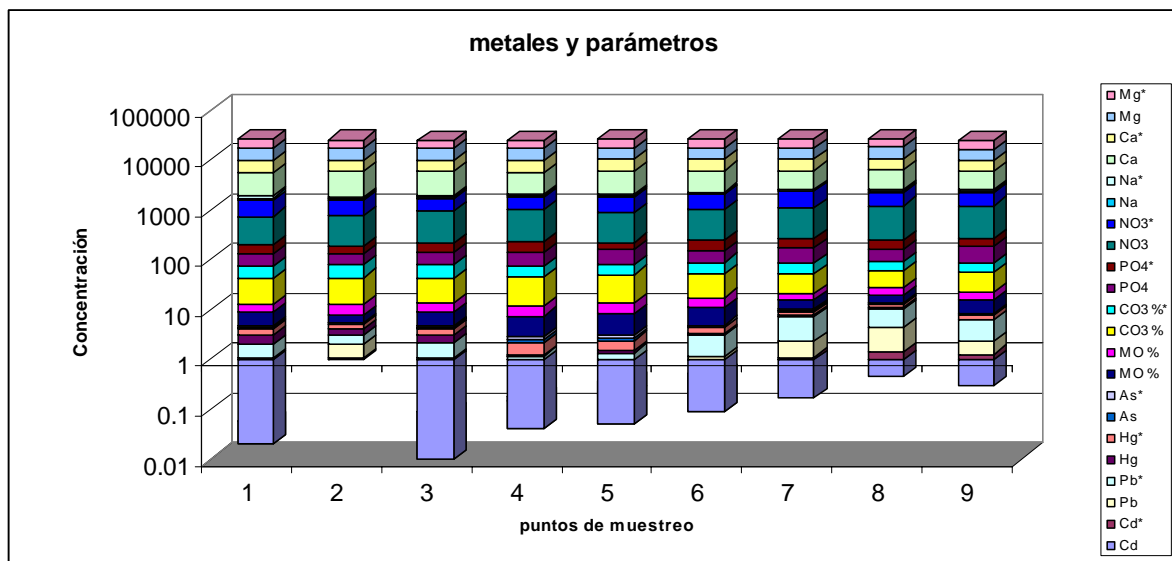


Figura 2, metales pesados ($\mu\text{g/g}$) en temporada de seca y * temporada de lluvias en 2004.

Los contenidos de Cd, Pb, Hg y As encontrados en los sedimentos son bastante elevados de acuerdo a la toxicidad de éstos metales. En el caso particular los contenidos de Hg encontrados en los sedimentos oscilan entre 0.00 y 2.25 $\mu\text{g/g}$, entre 0.00 y 5.63 $\mu\text{g/g}$ para el Pb, entre 0.00 y 1.00 $\mu\text{g/g}$ para Cd y entre 0.08 y 0.63 $\mu\text{g/g}$ para el As. En general los sedimentos reflejan

diferencias en concentración por estación climática, no obstante tenemos que tener en cuenta el relieve geográfico de la ciudad de Chetumal y la bahía.

Si hacemos una comparación con otras investigaciones del mundo, en general, podemos observar y comentar que los valores encontrados

para el Hg en los sedimentos son muy superiores a los publicados por Do Nascimento (López D., 2003) en un estudio realizado en Sudamérica en lugares con relativamente poca influencia antropogénica (hasta 0.1 µg/g) pero similares a los reportados por De Luca Rebello (menos de 2 µg/g) (De Luca Rebello, 1986). Las concentraciones de Cd encontradas en los sedimentos son también superiores a las publicadas por Do Nascimento, (hasta 0.5µg/g) (López D., 2003), e inferiores a las publicadas por Domínguez (hasta 2.12 µg/g) (Domínguez, 2001) en muestras contaminadas en la región del Caribe. Los valores de Cd son similares a las reportadas por De Luca Rebello en estudios de metales en un sistema tropical estuarino (De Luca Rebello, 1986), así como los encontrados por González, en los sedimentos del litoral de la

bahía de la Habana (González, H., 1989). Los valores de Pb encontrados son inferiores a los reflejados en las referencias anteriores. Los valores de As de la bahía no presentan mucha variación, los niveles de concentración se mantuvieron por debajo de 0.63 µg/g. Sin embargo, los valores de As son ligeramente superiores a los reportados por Bermejo-Barrera (Bermejo-Barrera, 1995) en muestras de sedimento.

Los resultados obtenidos para el análisis de componentes principales (ACP) en los sedimentos y agua, se representan en las Figuras 3 y 4. En la Figura 3, se puede observar que se explica el 68.26 % de la varianza total a través de dos componentes principales para el ACP-seca:

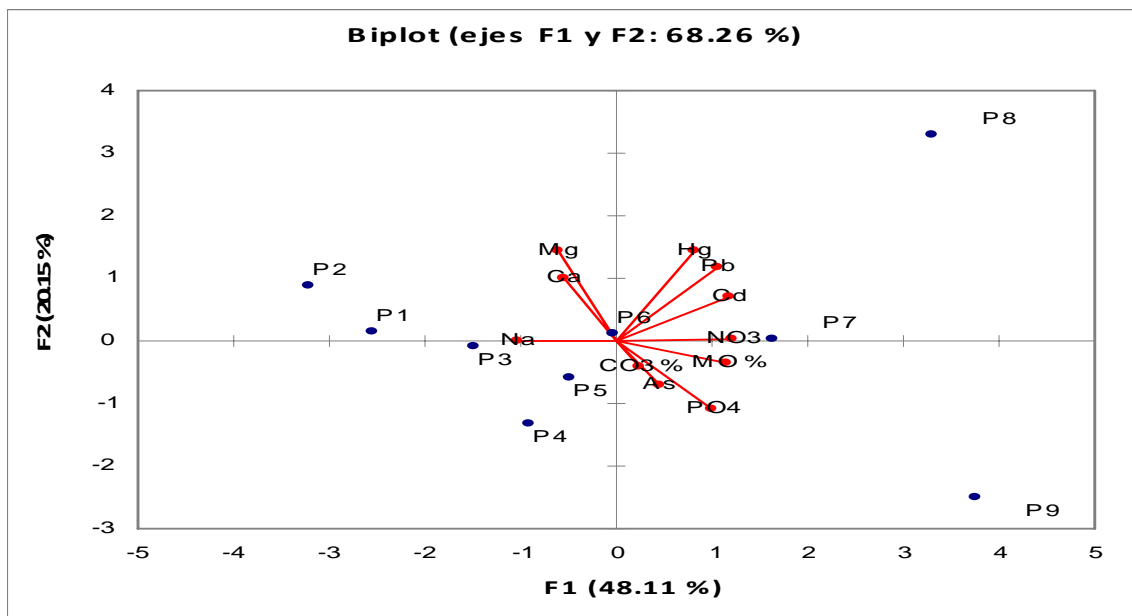


Figura 3, Análisis de Componentes Principales en sedimentos de la bahía (CP-I 46.24% y CP-II 18.73% de varianza) en temporada de seca 2004.

El primer componente principal (CP-I) en temporada de seca, está definido por los 4 metales Cd, Pb, Hg y As, así como por los nutrientes y la materia orgánica el cual explica el 48.11 % de la varianza total. El segundo componente principal (CP-II) está definido por el Na, Ca y Mg, y explica el 20.15 % de la

varianza total. Los vectores de estos parámetros se desplazan en otra dirección respecto a los que definen al primer componente. Según (Tsai et al., 1998) cuando los metales están agrupados, indican que tienen la misma fuente de contaminación.

Con el análisis factorial de los componentes principales también se ha evaluado la relación que guardan los puntos de muestreo en la bahía con respecto a los dos componentes principales. A partir de este estudio los puntos de muestreo se pueden clasificar en tres grupos.

1. El primer grupo está constituido por los sedimentos del punto 7, 8 y 9, las muestras de ésta zona presentan concentraciones más elevadas de los metales y parámetros estudiados.

2. El segundo grupo está formado por los sedimentos del punto 1 y 2. Las muestras de esta zona, en general, presentan concentraciones muy bajas o nulas de los metales, sin embargo, presentan elevaciones de metales mayoritarios.

3. El tercer grupo está formado por los puntos de muestreo 3, 4 y 5. En las muestras de estas zonas, las concentraciones de los metales pesados son menores y no guardan relación con los parámetros estudiados.

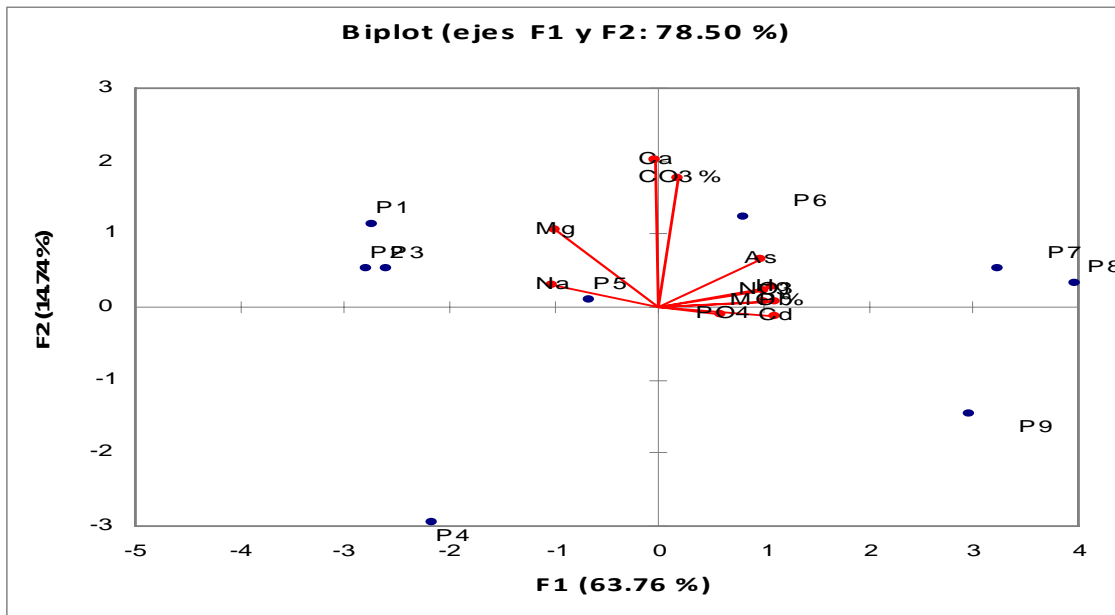


Figura 4, Análisis de Componentes Principales en sedimentos de la bahía (CP-I 61.30% y CP-II 13.44% de varianza) en temporada de lluvia 2004.

En la Figura 4, se muestran los resultados del ACP-lluvia; como se puede observar el comportamiento observado es ligeramente diferente al descrito anteriormente en el ACP-seca. En este ACP-lluvia, se relacionan los puntos de muestreo 6-9 con las mayores concentraciones de metales y algunos parámetros fisicoquímicos, mucha relación de la materia orgánica con los 4 metales pesados. No obstante, se guarda buena relación con los puntos de muestreo 1-5, presentándose mayor elevación de los componentes mayoritarios.

Con respecto a los parámetros analizados PO4, NO3, CO3 y MO generalmente no

presentan variación significativa alguna y sus valores referenciales pueden compararse con los establecido por las normas oficiales nacionales (Norma Mexicana NMX-AA-079, 1996), también podemos caracterizar el cuerpo de agua y nombrarlo un ecosistema salobre, estuarino con zonas eutrofizadas.

CONCLUSIONES:

Se hizo uso de técnicas de análisis estadístico multivariado para caracterizar la zona de muestreo y determinar la influencia de la contaminación, así como conocer cuales son las zonas más contaminadas y sus posibles fuentes

de contaminación. A partir de estos resultados se estableció que la zona establecida entre los puntos 5-9 (Calderas y desembocadura del río Hondo) resultó la zona más influenciada por la contaminación. Se encontró que los principales metales contaminantes resultaron el Hg y el Pb para los sedimentos estuarinos, atribuyéndose su origen a las descargas de aguas residuales y al aporte de residuos agroquímico provenientes del río Hondo (contaminación antropogénica), por lo tanto podemos atribuir que hablamos de una contaminación por metales con certidumbre puedan ser biodisponibles y bioacumulables en la biota y/o seres humanos.

BIBLIOGRAFIA:

Apha, *et al.* (1992): Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales, Madrid, España. 2-1, 2-20.

Bagrat, A.A. (1965): Análisis de suelo y agua, Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos.

Bermejo-Barrera, *et al.* (1995): Speciation of Arsenic by the determination of total arsenic and arsenic (III) in marine sediment samples by Electrothermal Atomic Absorption Spectrometry. *Journal of Analytical Atomic Spectrometry*. (10) 252.

Domínguez, F. (2001): Estudio Preliminar de la Contaminación por metales pesados de los Sedimentos del Río Martín Pérez, Mediante el Método de Extracción Secuencial "BCR". Cuba.

García-Ríos, V. (2001): Especiación de metales pesados en sedimentos de la bahía de Chetumal, Quintana Roo, y la acumulación en el tejido muscular de bagres (*Ariopsis assimilis*). 143-149.

González, H. (1989): Estudio de la contaminación marina por metales pesados en algunas áreas cubanas, tesis Doctoral, ciudad de la Habana, capítulo 1 y 2.

International Standard Soil Quality. (1998): ISO 11047. Determination of Cadmium, Chromium, Cobalt, Copper, Lead, Manganese, Nickel, and Zinc in Aqua Regia.

International Standard Soil Quality. (1994): ISO 11466. Soil Quality, Extraction of traces metals soluble in Aqua Regia.

López Do Nascimento M. (2003): Proporción de valores de Referencia para concentraciones de metales y metaloides en sedimentos límnicos y fluviales de la cuenca hidrográfica del río Tiete, sp. Tesis de doctorado.

Morales, B. *et al.* (1996): Distribución Especial y estimación poblacional de los manatíes en la Bahía de Chetumal, Quintana Roo, México. *Rev. Inv. Cient. UABCS*, 2.

NOM-059-ECOL/1994. (1994): Acuerdo por el que se establecen los criterios ecológicos que determinan las especies y subespecies de flora y fauna silvestres y acuáticas en peligro de extinción, amenazadas, raras y las sujetas a protección especial, y que establece especificaciones para su protección. *Diario Oficial de la Federación*, 16/05/1994.

Norma Mexicana NMX-AA-079 Aguas Residuales, publicada en el *Diario Oficial de la Federación* el 14 de abril de 1996

Ortiz, M. *et al.* (1997): Estudio emergente sobre la mortalidad de Bagres en la Bahía de Chetumal. Secretaría de Infraestructura, Medio Ambiente y pesca, Gobierno del Estado de Quintana Roo, El Colegio de la Frontera Sur- Unidad Chetumal, Q. Roo.

Rauret, G. *et al.* (1986): Estudio de los sedimentos del Río Carder I. Contaminación por plomo. *Tecnología del agua* 29, 89-96.

Rojas, A. y Morales, B. (2002): Metales en hueso y sangre de manatíes (*Trichechus manatus manatus*) de la bahía de Chetumal, Quintana Roo, México. *Contribución de la ciencia MIC*. 133-138.

Tsai, L. *et al.* (1998): Fractionation of Heavy metals in Sediments cores from the Ell-Ren River Taiwan. *Water Science Technology* 37, 217-224