



# Estudio de la contaminación por descargas de aguas residuales en la Bahía de Chetumal Quintana Roo

## Acerca de los autores...

<sup>1</sup> Departamento de Ingeniería Ambiental  
Universidad de Quintana Roo, México  
(jmcarrion@uqroo.mx)

<sup>2</sup> División de Ingeniería Bioquímica,  
Tecnológico de Estudios Superiores de  
Ecatepec, Ecatepec de Morelos, Edo de  
México

<sup>3</sup> Departamento de Biotecnología y  
Bioingeniería, CINVESTAV, México D.F.  
(gcalva@cinvestav.mx)

Carrión Jiménez José Manuel<sup>1</sup>, González Bucio José Luis<sup>1</sup>, Rivero Rodríguez  
Martín<sup>1</sup>, Delgado Blas Víctor Hugo<sup>1</sup>, Canche Uuh José Alfonso<sup>1</sup>, Josefina  
Pérez Vargas<sup>2</sup>, Calva Calva Graciano<sup>3</sup>



## Resumen

La contaminación por materia orgánica, fósforo, y microorganismos coliformes fecales fue estudiada en seis puntos de descarga de agua residual en la Bahía de Chetumal. Los estudios se realizaron anualmente durante un periodo de tres años, de acuerdo con los procedimientos de la Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996. Los datos obtenidos de la concentración de fósforo en cinco descargas exceden los límites máximos permisibles establecidos en dicha Norma. Para el caso de la materia orgánica y coliformes fecales, también se presentaron valores que excedían los límites máximos estipulados.

**Palabras clave:** DBO (Demanda Bioquímica de Oxígeno), DQO Demanda Química de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>), aguas domésticas, bahía.

## Introducción

La Bahía de Chetumal está situada entre las coordenadas 18° 33' Norte y 88° 08' Oriente, y políticamente se encuentra dividida entre México y Belice, cuya frontera se delimita por la mitad de sus aguas. Tiene profundidad muy baja, por lo que no tiene puertos de alto calado y en ella se encuentra una sola isla, Tamalcab. Está separada del mar Caribe por una gran saliente



continental de la península en México y por el cayo Ambergris en Belice. En la Bahía de Chetumal desemboca el río Hondo que señala parte de la frontera entre México y Belice y es una de las pocas corrientes superficiales de la península de Yucatán. En el punto de la desembocadura del río en la Bahía se encuentra la ciudad de Chetumal, que le da nombre a la misma, y es la ciudad más importante de la región y la capital de Quintana Roo. La Bahía de Chetumal está considerada como santuario para el manatí, un mamífero acuático en peligro de extinción, que además es considerado símbolo de esta región. Asimismo, en ella habita una amplia variedad de especies

ícticas (Miller, 1992; Miller, 2005). Aunque hay estudios previos que analizan la contaminación en la Bahía de Chetumal, como Herrera *et al.* (2002), que realizaron un estudio de la calidad del agua en la Bahía por medio de indicadores tróficos; Rojas y Morales (2002), que analizaron la contaminación por metales presentes en la sangre y huesos de manatí; Día *et al.* (2006), que estudiaron la contaminación del agua por metales pesados, y Ortiz y Sáenz (2007, 2009) quienes analizaron la contaminación por coliformes y nutrientes en descargas de agua residual en la Bahía.

En años recientes, se han ubicado nuevos puntos de descargas de aguas residuales a lo largo de la zona conocida como Boulevard de la Bahía, lo que aunado al crecimiento poblacional en la Ciudad, ha originado un incremento en la cantidad de contaminantes en el agua de la Bahía. En este trabajo se cuantificaron los niveles de coliformes fecales, materia orgánica y fósforo en las descargas, para determinar si no excedían los límites que según la Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-199 pudieran representar un peligro para las poblaciones que dependen de las aguas de esa bahía.

## Materiales y Métodos

**Área de Estudio.** Los estudios se realizaron durante los años 2010, 2011 y 2012, en el periodo de septiembre a noviembre, en seis puntos de descarga de la Bahía de Chetumal. Los puntos de descargas fueron referenciados con respecto a lugares ampliamente conocidos en la zona de la siguiente manera: A, Glorieta de Sams; B, Megaescultura; C, Hotel Hacienda Bahía; D, Punta Estrella; E, Muelle Fiscal, y F, Restaurant Drinks.

**Determinaciones Analíticas.** Las cantidades de materia orgánica en las descargas de agua residual fueron medidas a través de de la Demanda Bioquímica de Oxígeno ( $DBO_5$ ), la Demanda Química de Oxígeno (DQO), los métodos de incubación por diluciones (Norma Mexicana NMX-AA-028 Aguas), y por el método de reflujo cerrado descrito por la American Public Health Association (APHA, 1995), respectivamente. La DQO se determinó con kits comerciales Hach y un espectrofotómetro UV visible Hach. Los coliformes fecales se determinaron como el Número Más Probable (NMP) mediante el método de tubos múltiples de fermentación (Norma Mexicana NMX-AA-042



Aguas). El fósforo total se determinó por el método de digestión ácida con persulfato de potasio. Para las muestras de agua se utilizaron botellas de 150 ml de capacidad y tapón de rosca, las muestras fueron mantenidas en refrigeración hasta el momento en que fueron procesadas para el análisis de las poblaciones de coliformes de acuerdo a los métodos estandarizados (American Public Health Association, 1975). Dado que en la Bahía de Chetumal habita el manatí además de una gran variedad de especies ícticas, se eligió el apartado de protección de vida acuática descrito en la Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996 para definir los límites máximos permisibles.

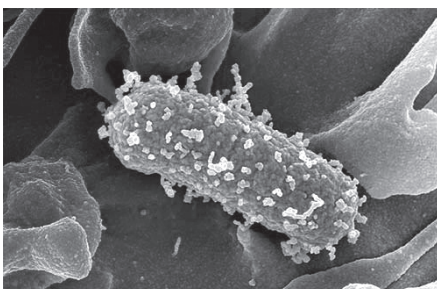
## Resultados y Discusión

La Tabla 1 presenta los resultados de la medición del contenido de microorganismos coliformes fecales en los seis puntos de descargas de agua residual de la Bahía de Chetumal analizadas en este trabajo. Los datos corresponden a la media geométrica calculada para cada estudio, según lo indicado por la NOM-001-ECOL-1996. Como puede observarse, el NMP más bajo de coliformes fecales se encontró en el punto de descarga C, Hotel Hacienda Bahía, del estudio realizado en el 2010, mientras que el máximo de coliformes correspondió al punto de descarga E, ubicado en el Muelle Fiscal en el estudio de 2012. No obstante, en todos los puntos de descargas se encontraron valores que en algún momento excedieron el límite máximo permisible marcado por la Norma Oficial (datos señalados en rojo), la cual establece un NMP máximo de 1,000 para coliformes fecales por cada 100 ml de agua. Es notable también que el agua descargada en ese punto del muelle, excedió los límites de la norma en los tres años, mientras que los ubicados en C y D (Hotel Hacienda y Punta Estrella), siempre estuvieron dentro de la norma.

Punto de descarga	Septiembre 2010 (NMP/100 ml)	Septiembre 2011 (NMP/100 ml)	Septiembre 2012 (NMP/100 ml)
<b>A</b> Glorieta de Sams	1600	960	1220
<b>B</b> Megaescultura	920	1290	1300
<b>C</b> Hotel Hacienda Bahía	116	142	220
<b>D</b> Punta Estrella	480	840	450
<b>E</b> Muelle Fiscal	1850	1400	2240
<b>F</b> Restaurant Drinks	1300	980	1400

**Tabla 1**

Contenido de microorganismos coliformes fecales (NMP) en los sitios de descarga de aguas residuales de la Bahía de Chetumal a lo largo de tres años.



La DBO<sub>5</sub> medida en las seis descargas de la Bahía (Tabla 2), ratificó lo observado para el contenido de microorganismos coliformes, mostrando que los valores mínimos de descargas se obtuvieron de sitio C, ubicado en el Hotel Hacienda Bahía, mientras que los valores máximos se presentaron en el sitio de descarga E, localizado en el muelle fiscal. Otra vez, los datos marcados en rojo corresponden a valores que excedieron el límite máximo permitido por la Norma (60 mg L<sup>-1</sup> DBO<sub>5</sub> para protección de vida acuática). Igual que con el contenido de microorganismos, el punto E de descarga excedió el límite máximo en los tres estudios, mientras que en los puntos A y F, instalados en la Glorieta del Sams y en el Restaurant Drinks, respectivamente, nuevamente

sólo en dos años se excedieron los límites máximos, aunque no en los mismos parámetros excedidos para el contenido de microorganismos.

La DQO total medida en las seis descargas correspondientes al estudio realizado en septiembre del 2012, se muestra en la Figura 1. Con excepción del punto C, todos presentaron valores arriba de 100 mg L<sup>-1</sup>, los cuales para este tipo de aguas representan cifras muy altas si se considera que las aguas residuales industriales contienen valores de DQO entre 50 -2000 mg L<sup>-1</sup> (Manunga *et al.*, 2012), pero los valores para los puntos en el Muelle Fiscal (E) y el Restaurant Drinks (F) sobre los cuales la NOM-001-ECOL-1996 no establece un límite máximo permisible para esta prueba de medición de materia orgánica, sin embargo, puede observarse una correspondencia con las cantidades de la DBO<sub>5</sub>. Con estos datos se obtiene una relación DBO<sub>5</sub>/DQO promedio de 0.29 3 0.08, lo que indica que el contenido de materia orgánica biodegradable es muy baja en relación a la materia orgánica total contenida en el agua de esa descarga, si se considera que las aguas residuales urbanas mantienen un DBO<sub>5</sub> alrededor del 60% de la DQO (Trang *et al.*, 2010).

Estos resultados contrastan con los de un estudio realizado a finales de los años noventa en la Bahía de Chetumal, por Ortiz y Saenz (1999) donde cuantificaron la DBO<sub>5</sub> en nueve puntos de descargas de agua residual y encontraron valores para la DBO<sub>5</sub> en el intervalo de 22.61 a 38.96 mg L<sup>-1</sup>, valores que no excedieron la Norma Oficial Mexicana, como en el presente trabajo. Esto puede ser atribuido al crecimiento poblacional que se ha presentado en la ciudad de Chetumal.

**Tabla 2**

DBO<sub>5</sub> en las descargas de agua residual de la Bahía de Chetumal.

Punto de descarga	Septiembre 2010 (mg O <sub>2</sub> L <sup>-1</sup> )	Septiembre 2011 (mg O <sub>2</sub> L <sup>-1</sup> )	Septiembre 2012 (mg O <sub>2</sub> L <sup>-1</sup> )
<b>A</b> Glorieta de Sams	66.21	75.36	58.42
<b>B</b> Megaescultura	52.12	45.28	63.95
<b>C</b> Hotel Hacienda Bahía	14.53	14.28	18.32
<b>D</b> Punta Estrella	35.56	40.74	38.13
<b>E</b> Muelle Fiscal	71.32	66.26	67.83
<b>F</b> Restaurant Drinks	48.59	63.37	66.18

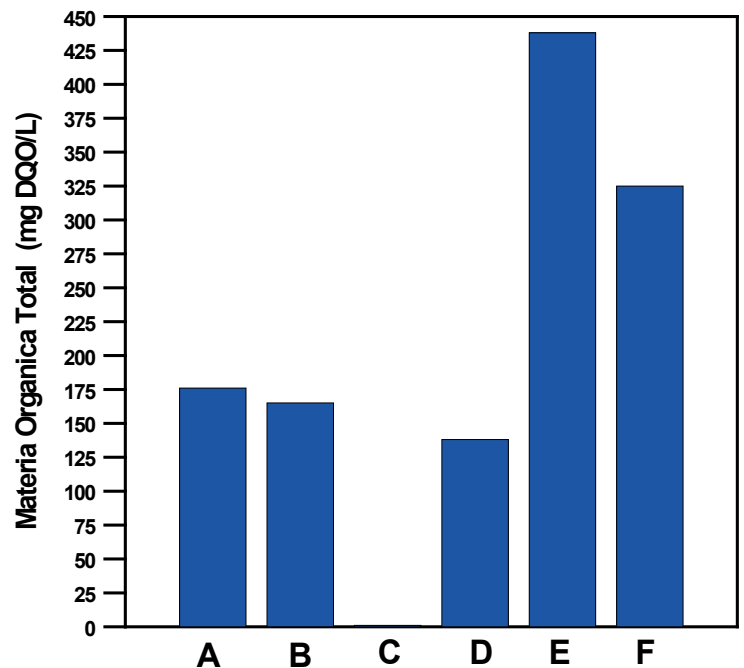


Finalmente, en la Tabla 3 se presentan los valores obtenidos para la medición de fósforo total en las seis descargas de agua residual. Los datos marcados con rojo indican los valores que excedieron el límite máximo permisible según la Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996 ( $P 5 \text{ mg L}^{-1}$ , considerando el promedio mensual para protección de vida acuática). Se puede observar que a excepción del punto ubicado en el Hotel Hacienda Bahía, todas las descargas presentaron valores que excedieron el límite máximo permisible. Notablemente, al igual con los parámetros anteriores, el sitio E del Muelle Fiscal presentó los valores más altos. En el estudio realizado por Ortiz y Saenz (1997) mencionado arriba encontraron concentraciones donde las cantidades de fosfato, junto con las de  $\text{NO}_2^-$ ;  $\text{NO}_3^-$ , sobrepasaban los máximos valores permisibles en ocho puntos de descargas de la Bahía según los criterios ecológicos de calidad del agua de SEDUE. Así, los resultados sobre el contenido de P en el presente estudio, están de acuerdo con lo observado por Ortiz y Saenz, quienes atribuyeron el contenido de fosfatos en la bahía a la presencia de detergentes en las aguas residuales descargadas a la bahía.



**Figura 1**

Contenido de Materia Orgánica Total medidas como DQO ( $\text{mg O}_2 \text{ L}^{-1}$ ) en los puntos de descarga de agua residual en la Bahía de Chetumal. A, Glorieta de Sams; B, Megaescultura; C, Hotel Hacienda Bahía; D, Punta Estrella; E, Muelle Fiscal; F, Restaurant Drinks



Punto de descarga	Septiembre 2010 ( $\text{mg P L}^{-1}$ )	Septiembre 2011 ( $\text{mg P L}^{-1}$ )	Septiembre 2012 ( $\text{mg P L}^{-1}$ )
<b>A</b> Glorieta de Sams	7.6	6.3	7.2
<b>B</b> Megaescultura	4.8	7.7	5.8
<b>C</b> Hotel Hacienda Bahía	1.2	N.D.	N.D.
<b>D</b> Punta Estrella	5.1	3.8	6.7
<b>E</b> Muelle Fiscal	8.5	10.4	6.3
<b>F</b> Restaurant Drinks	5.6	7.3	6.8

**Tabla 3**

Contenido de fósforo en las descargas de agua residual de la Bahía de Chetumal.

## Conclusiones

La contaminación por materia orgánica, coliformes fecales y fósforo total, fue estudiada en seis descargas de aguas residuales ubicadas a lo largo del boulevard Bahía de Chetumal. La descarga de agua residual ubicada en el Muelle Fiscal fue la que presentó las concentraciones más altas de los contaminantes analizados, sobrepasando en la mayor parte de ellas los valores máximos permisibles para la protección de vida acuática indicadas en la Norma Oficial Mexicana. Considerando que en la Bahía de Chetumal habitan diferentes especies autóctonas de peces, además del manatí, y que en esta bahía se ubica el balneario "Dos Mulas", es necesario establecer un sistema de recolección de estas aguas residuales para su adecuado tratamiento en una planta, especialmente en los puntos de descarga del Muelle Fiscal y el Restaurant Drinks, donde los índices de contaminación excedieron las normas establecidas por las Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996.



### Bibliografía

American Public Health Association APHA, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. American Public Health Association Inc., 14th ed. Washington, D.C. 1975.

Díaz-López, C., Carrión-Jiménez, J.M., González-Bucio, J.L., (2006) "Estudio de la contaminación por Hg, Pb, Cd y Zn en la Bahía de Chetumal, Quintana Roo, México". *Revista Sociedad Química del Perú*, **72**, 19-31.

Herrera-Silveira, J.A., Jiménez-Zaldívar, A., Aguayo-González, M., Trejo-Peña, J., Medina-Chan, I., Tapia-González, F., Medina-Gómez & Vázquez-Montiel, O. (2002). "Calidad del Agua de la Bahía de Chetumal a través de indicadores de su estado trófico". En: Rosado-May, Romero-Mayo, R. & De Jesús-Navarrete, A. (Eds.) *Contribuciones de la Ciencia al Manejo Costero Integrado de la Bahía de Chetumal y su Área de Influencia*. Universidad de Quintana Roo. P. 185-196.

Manunga, T., Rodríguez-Victoria, J. A., y Torres-Lozada, P. (2012). Tratamiento de agua residual doméstica sin clarificación primaria en un sistema de lodos activados en la modalidad de estabilización por contacto. *Ing. Desarro.* [online]. **30 (2)**: 246-260. Disponible en: [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0122-34612012000200007&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0122-34612012000200007&lng=en&nrm=iso).

Miller R. R. (1992) Aquatic biota of México, Central America and the West Indies. In S.H. Hulbert and Villalobos-Figueroa (eds), *EUA*. 468-501.

Miller R. R., Minckley W., y Norris S. (1995) Freshwater fishes of México. *Aquaculture* **153**: 301-313.

Trang N.T.D., Konnerup D., Schierup H. H., Chiem N. H., Tuan L. A., Brix H. (2010) Kinetics of pollutant removal from domestic wastewater in a tropical horizontal subsurface flow constructed wetland system: Effects of hydraulic loading rate, *Ecological Engineering*, **36** (4): 527-535. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoleng.2009.11.022>.

Ortiz Hernández, M.C., & Sáenz Morales, R. (1997), Detergents and orthophosphates inputs from urban discharges to Chetumal Bay, Quintana Roo, Mexico: *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, **59**, 486-491.

Ortiz Hernández, M.C., & R. Sáenz Morales R. (1999). Effects of organic material and distribution of faecal coliforms in Chetumal Bay, Quintana Roo, Mexico. *Environ. Monit. Assessm.* **55**: 423-434.

Rojas Mingüer A., Morales Vela B. (2002). "Metales en hueso y sangre de manatíes (*Trichechus manatus manatus*) de la Bahía de Chetumal, Quintana Roo, México". En: Rosado-May F.J., Romero Mayo R., De Jesús Navarrete A. (Eds.). *Contribuciones de la ciencia al manejo costero integrado de la Bahía de Chetumal y su área de influencia*. Serie Bahía de Chetumal No. 2. Universidad de Quintana Roo. P. 133-138.