

# Indicadores bacteriológicos de contaminación fecal

en la Bahía de la Habana

## Faecal indicator bacteria

at Havana Bay

Recibido para evaluación: 20 de diciembre de 2011  
Aceptación: 12 de septiembre de 2012  
Recibido versión final: 10 de junio de 2013

Lisse López Pérez<sup>1</sup>  
Yamiris Gómez D'Angelo<sup>2</sup>  
Jesús Beltrán González<sup>3</sup>  
Reinaldo Álvarez Valiente<sup>4</sup>

### RESUMEN

**Objetivos.** Cuantificar los indicadores bacteriológicos de contaminación fecal en la Bahía de La Habana. **Metodología.** En muestreos realizados desde abril/2010 hasta febrero/2011, mediante métodos de fermentación en tubos múltiples (NMP), se determinaron las concentraciones de coliformes termotolerantes (CTT), *Escherichia coli*, estreptococos fecales (EF), enterococos intestinales (ENT) en agua, y *Clostridium perfringens* en los sedimentos superficiales. **Resultados.** Las concentraciones de CTT y *E. coli* excedieron los valores límites de la normativa cubana para contacto indirecto con las aguas de la bahía, lo que demuestra la influencia negativa de los vertimientos de drenajes albañales y ríos de la ciudad. EF y ENT fueron buenos indicadores bacterianos, medidos en el lugar y al momento de la descarga del residual proveniente de los drenajes, aunque estos resultados desafían su uso como indicadores para evaluar la calidad microbiológica de la bahía. Este resultado se deriva de su bien conocida inactivación por la luz solar en zonas tropicales y la aparente presencia de ácidos húmicos en las aguas de la bahía. **Conclusiones.** Los indicadores bacterianos y la relación estadística encontrada entre ellos resultaron indicativos de una gran contaminación fecal reciente y crónica en la bahía y zonas costeras, que ha permanecido así desde años anteriores.

**Palabras clave:** Bahía de La Habana, indicadores de contaminación fecal, coliformes termotolerantes, estreptococos, enterococos, *Escherichia coli*, *Clostridium perfringens*, NMP.

### ABSTRACT

**Aims:** Faecal indicator bacteria concentrations were evaluated in Havana Bay. **Methods:** Concentrations of traditional faecal indicator bacteria were calculated between April 2010 and February 2011, by MPN methods. Concentrations of thermotolerant coliform (CTT), *Escherichia coli*, faecal streptococci (EF), intestinal enterococci (ENT) in seawater, and *Clostridium perfringens* in sediment surface, were determined. **Results:** CTT and *E. coli* levels were far above Cuban water quality standard for indirect contact with water, showing the negative influence of sewage and rivers on the bay. The EF and ENT were measured during sewage spills at the discharge site and they were suitable indicators of faecal contamination, but these indicators didn't show the same behavior in other selected sites. This result comes from its well-known inactivation by solar light in tropical zones and the presumable presence of humic acids in the waters of the bay. **Conclusion:** Faecal indicator bacteria and its statistical relationships reflect recent and chronic faecal contamination at the bay and near shores.

**Key words:** Havana Bay, faecal indicator, thermotolerant coliforms, faecal streptococci, enterococci, *Escherichia coli*, *Clostridium perfringens*, MPN.

---

1. Especialista, Lic. Microbiología

2. Investigador, MSc. Microbiología, Profesor-Investigador de la Universidad de La Habana.

3. Investigador, Director División Contaminación, Lic. Bioquímica, Investigador Auxiliar

4. Técnico. Químico Centro: Centro de Ingeniería y manejo Ambiental de Bahías y Costas (CIMAB). División de Contaminación. Laboratorio de Microbiología  
microbiologia@cimab.transnet.cu

## 1. INTRODUCCIÓN

Este estudio se llevó a cabo en la Bahía de La Habana, una típica bahía de bolsa con un área de 5.2 km<sup>2</sup> de superficie marina, una profundidad media de 9.2 m y un perímetro de unos 18 km. Esta bahía recibe un caudal aproximado de agua dulce de 330 000 m<sup>3</sup> día<sup>-1</sup> y presenta una renovación limitada de sus aguas, dificultada por el canal de entrada largo y estrecho de una longitud aproximada de 1 540 m y un ancho de 140 m (Valdés *et al.*, 2002).

La Bahía de La Habana constituye una fuente de preocupación constante del gobierno cubano, debido al serio detrimento de su entorno. En la misma se descarga el mayor volumen de las aguas residuales sin tratar que se generan en la ciudad de La Habana, provenientes de las cuencas hidrográficas de los ríos Luyanó, Martín Pérez y el Arroyo Tadeo. Conjuntamente, la ciudad cuenta con un sistema de alcantarillado y de desechos industriales que desaguan en el mar, y otro de evacuación de aguas pluviales con numerosas conexiones ilegales de aguas servidas. Se le suman las aguas procedentes de la zona de escurrimiento superficial de las alturas del Morro y la Cabaña, que descargan sus aguas directamente en la bahía, los que inciden negativamente en la calidad de sus aguas (García *et al.*, 2010). Diversas medidas ya en vigor han logrado reducir el volumen de fuentes contaminantes, como el cierre de algunos de los vertimientos industriales, mejora de procesos tecnológicos de fábricas y la construcción de plantas de depuración en los ríos Luyanó y Martín Pérez, entre otras (Pérez, 2008).

La salud humana ha sido afectada fuertemente por la contaminación de franjas costeras. El consumo de peces y otros organismos costeros y de agua dulce proveniente de áreas contaminadas con aguas residuales ha producido, a nivel global, millones de casos de hepatitis infecciosa y epidemias de cólera. Igualmente se han reportado enfermedades de transmisión hídrica por bacterias patógenas, enterovirus y protozoarios, debido al uso directo o indirecto de estas aguas. Estos son los casos de fiebre tifoidea, leptospirosis, gastroenteritis y diarreas y enfermedades que producen síntomas respiratorios y cutáneos, entre otros (Cabelli *et al.*, 1983; Figueras *et al.*, 1994; Prüss, 1998; Leclerc *et al.*, 2002; Escobar, 2002).

Por esta razón es necesario determinar la seguridad desde el punto de vista microbiológico de estas aguas, empleando los indicadores de contaminación fecal propuestos en las normas. Los criterios internacionales, como los de la USEPA, 1986 y WHO, 2000 se basan en el análisis de un grupo de organismos para indicar la presencia de contaminación fecal, entre los que se encuentran las bacterias coliformes termotolerantes, *Escherichia coli*, enterococos y *Clostridium perfringens*.

Según los requisitos higiénico sanitarios expuestos en la normativa cubana NC 22: 1999 para lugares de baño en costas y en masas de aguas interiores, la presencia de coliformes fecales (termotolerantes) en concentraciones superiores a 1000 NMP 100 mL<sup>-1</sup> para contacto indirecto, indican el deterioro de la calidad del agua (ONN, 1999), aunque no reporta valores de estreptococos fecales para este fin. Se reconoce que la salud pública no está protegida solamente con el empleo de este indicador, que no es suficiente para pronosticar la presencia de los patógenos provenientes de aguas residuales en las aguas naturales. Sin embargo, el uso combinado de estos indicadores y sus relaciones sí ha demostrado ser de mayor confianza y validez científica en la interpretación de los resultados con respecto a la contaminación fecal en los ambientes costeros (Cabelli *et al.*, 1983; Figueras *et al.*, 2000; Harwood *et al.*, 2005; Tyagi *et al.*, 2006).

El presente trabajo tiene como objetivo cuantificar los indicadores bacteriológicos de contaminación fecal en aguas y sedimentos superficiales de la Bahía de La Habana durante el período de estudio, como parte del Programa de Saneamiento Ambiental de la misma.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

Los muestreos fueron realizados en los meses de Abril, (período menos lluvioso), Junio, Septiembre y Noviembre de 2010 (lluvioso) y en Febrero del 2011 (menos lluvioso). La red de muestreo en la bahía incluyó la ubicación de una estación central y el resto de forma concéntrica, con estaciones localizadas cercanas a los puntos de descarga de residuales y representativa de cada zona de muestreo.

Las muestras se colectaron en el período de vaciante de marea a 0.50 m por debajo de la superficie del agua y de acuerdo a las especificaciones de APHA, 2006 y Grasshoff, 2002 en las

estaciones ubicadas en: Canal de Entrada, en las ensenadas de Marimelena, Guasabacoa y Atarés respectivamente, así como en el Centro (ver figura 1). En el mes de febrero se tomaron muestras de dos estaciones ubicadas en ambos lados a la salida de la bahía: Caleta de San Lázaro y Playa del Chivo. Se realizaron análisis por duplicado para el control de la calidad en la estación de Atarés. La preservación y almacenamiento de las muestras se realizó de acuerdo a las especificaciones de calidad de agua y muestreo ISO 5667-3: 1994 y recomendaciones de los Métodos Estándares (APHA, 2006; ISO 5667-3, 1994).

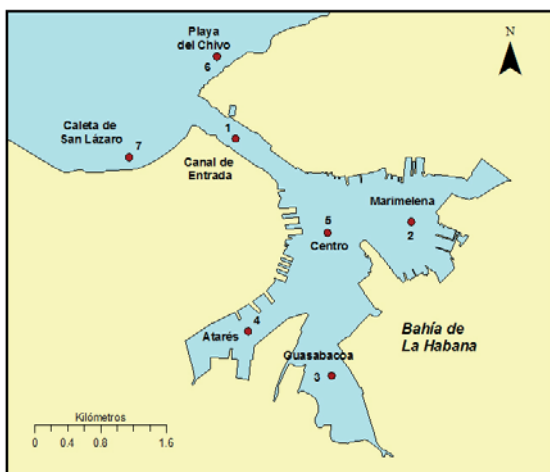


Figura 1. Bahía de La Habana. Red de estaciones.

Los indicadores de contaminación fecal evaluados en el agua fueron: coliformes termotolerantes (CTT), *Escherichia coli*, estreptococos fecales (EF) y enterococos intestinales (ENT) y se determinaron mediante la técnica de fermentación en tubos múltiples, en series de 5 y 3 tubos para detectar el Número Más Probable (NMP) en 100 mL de agua según las metodologías descritas en los Métodos Estándares, ISO 9308-2 y UNEP (APHA, 2006; UNEP, 1995; ISO, 1990).

En los sedimentos superficiales se determinó como indicador de contaminación fecal *Clostridium perfringens*, en medio DRCM con confirmación en Litmus Milk, en series de 5 tubos, expresando los resultados en NMP 20g<sup>-1</sup> de sedimento seco según Dutka, 1989. La transparencia fue medida con el disco Secchi y la salinidad, con un salinómetro digital (E-202 Tsurumi Seilki).

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Aguas. En la figura 2 se muestran las concentraciones de CTT en cada muestreo de la bahía en el período estudiado, comparándolas con la normativa cubana para contacto indirecto NC 22:1999 (salpicaduras por oleaje).

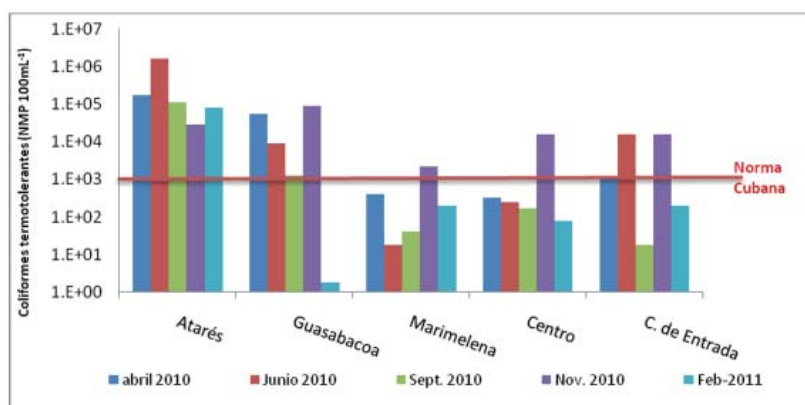


Figura 2. Concentración de coliformes termotolerantes (NMP 100 mL<sup>-1</sup>) en muestras de aguas de la bahía, en cada muestreo realizado.

Las concentraciones medias de CTT detectadas en las muestras de agua de las estaciones Atarés fueron de  $1.47 \times 10^5$  NMP 100 mL<sup>-1</sup> (con valor máximo de  $1.6 \times 10^6$  NMP 100 mL<sup>-1</sup>) y en Guasabacoa de  $2.5 \times 10^3$  NMP 100 mL<sup>-1</sup> (con valor máximo de  $9.2 \times 10^4$  NMP 100 mL<sup>-1</sup>); estos puntos de muestreo presentaron los mayores niveles detectados en la bahía en el tiempo estudiado y como puede apreciarse, estos valores están por encima del límite máximo permisible por la normativa de referencia (1000 NMP 100 mL<sup>-1</sup>) para contacto indirecto (ONN, 1999).

En los drenajes que vierten directamente a la ensenada de Atarés, García *et al.* (2010) reportaron concentraciones medias de  $3.6 \times 10^3$  NMP 100 mL<sup>-1</sup> para CTT, con posible influencia de la marea. En el año 2009, las concentraciones de CTT de  $3.5 \times 10^7$  NMP 100 mL<sup>-1</sup> en estos drenajes, coincidieron con los valores típicos encontrados en residuales domésticos sin tratamiento (García *et al.*, 2009; PNUMA, 2006). Es de suponer que, este es el valor actual de CTT que se vierte continuamente en esta ensenada, debido a que las muestras de agua en esta estación se mantienen elevadas para CTT. En relación a la ensenada de Guasabacoa, la misma recibe el impacto de las aguas procedente de los ríos Luyanó y Martín Pérez, con concentraciones máximas de CTT de  $1.5 \times 10^4$  NMP 100 mL<sup>-1</sup> y  $2.4 \times 10^5$  NMP 100 mL<sup>-1</sup> respectivamente (Sende y Potrillé, 2010), influyendo directamente en la calidad del agua de la bahía.

Las concentraciones medias de CTT en la ensenada de Marimelena fueron de  $1.66 \times 10^2$  (con valor máximo de  $2.2 \times 10^3$  NMP 100 mL<sup>-1</sup>). Esta estación recibe el vertimiento del Arroyo Tadeo, que recoge los desagües de aguas servidas y desechos industriales crudos, de una gran parte de la ciudad, con concentraciones de CTT mayores que  $1.1 \times 10^4$  NMP 100 mL<sup>-1</sup> (Sende y Potrillé, 2010).

Las muestras de agua en las estaciones del Centro y del Canal de Entrada mostraron concentraciones medias de CTT  $4.4 \times 10^2$  y  $1 \times 10^3$  NMP 100 mL<sup>-1</sup> respectivamente, aunque en el mes de noviembre ambas alcanzaron máximos de  $1.6 \times 10^4$  NMP 100 mL<sup>-1</sup>. En estas estaciones y en Marimelena, las concentraciones de CTT estuvieron por debajo de los límites, en 4 de los 5 muestreos realizados. Sin embargo, en el mes de noviembre mostraron los mayores niveles de este indicador, sobrepasando los límites para el uso de estas aguas por contacto indirecto (ONN, 1999).

En la figura 3 se muestran las concentraciones de CTT y EF en aguas y de *C. perfringens*, detectadas en los sedimentos superficiales de la bahía en el mes de noviembre.

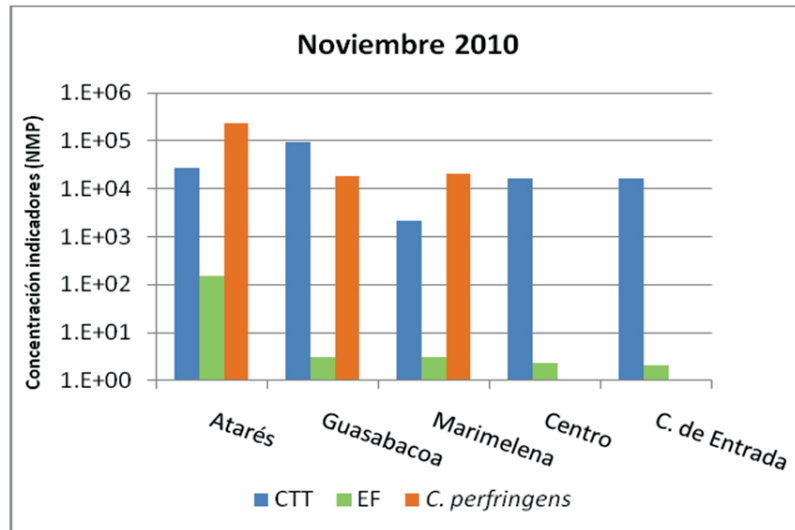


Figura 3. CTT y EF en agua y *C. perfringens* en sedimentos de la bahía en el mes de noviembre.

Este muestreo, sobresale por las altas concentraciones de CTT en la mayoría de las estaciones, comparado con el límite propuesto por la norma de referencia NC 22: 1999 (1000 NMP 100 mL<sup>-1</sup>). Las estaciones Marimelena, Centro y Canal de entrada mostraron concentraciones de CTT 10 y 100 veces superior con respecto a los encontrados en los meses restantes.

Los EF mostraron las mayores concentraciones en Atarés (ver tabla 1), en las demás estaciones, no se detectaron. Este indicador no se incluye en la norma referida (NC 22: 1999) para contacto indirecto, aunque para contacto directo establece un límite de 100 NMP 100 mL<sup>-1</sup>.

En este muestreo, el agua en la ensenada de Atarés, mostró valores de salinidad bajos con respecto al resto de las estaciones, se encontró muy turbia y con una coloración verde carmelita, observándose con machas oleosas y residuos sólidos flotantes en ella (tabla1). Los valores de transparencia, aunque menores, son similares a los encontrados en los otros muestreos realizados.

Estaciones	T (°C)	Transp. (m)	Sal. (‰)	CTT (NMP 100 mL <sup>-1</sup> )	EF (NMP 100 mL <sup>-1</sup> )	<i>C. perfringens</i> (NMP 20 g <sup>-1</sup> ps)
Atarés	27.5	0.8	24.91	2.8 x10 <sup>4</sup>	1.5 x10 <sup>2</sup>	2.6 x10 <sup>5</sup>
Guasabacoa	27.5	1.8	28.46	9.2 x10 <sup>4</sup>	3	2.0 x10 <sup>4</sup>
Marimelena	27.5	1.2	34.88	2.2 x10 <sup>3</sup>	3	2.2 x10 <sup>4</sup>
Centro	27.5	1.8	32.18	1.6 x10 <sup>4</sup>	2.3	ND
Canal de entrada	27.3	1.9	32.86	1.6 x10 <sup>4</sup>	2.1	-

Transp.: Transparencia, Sal.: salinidad, CTT: coliformes termotolerantes, EF: estreptococos fecales.

Al Centro y Canal de entrada de la bahía, llegan vertimientos del colector del muelle de Caballería, el cual retiene y extrae los sólidos contenidos en las aguas residuales antes de entrar en un sifón invertido que pasa por debajo de la bahía que, en ocasiones, reciben crecientes volúmenes de aguas negras que no puede evacuar, originándose desbordamientos (García *et al.*, 2010). La influencia de las fuentes fijas y difusas de la contaminación producida por las actividades que tienen lugar alrededor de la bahía y que son captadas por ella, generan efectos concentrados en los lugares de vertimiento directo, en las desembocaduras de los ríos y en las zonas costeras aledañas; lo cual se incrementó con los eventos de lluvia ocurridos en este período, específicamente en los días anteriores a este muestreo.

**Sedimentos.** En los sedimentos superficiales de las tres ensenadas, se encontraron altas concentraciones de *Clostridium perfringens* (ver tabla 1), siendo mayor en Atarés. Aunque los sedimentos de la bahía no se utilizan para estos fines, exponemos el valor límite según la Norma Cubana para peloides: < 0.2 NMP g<sup>-1</sup>ps (NC XX: 1998). Como se puede apreciar, los valores de este indicador superan en varios órdenes el criterio para el uso de los sedimentos con fines terapéuticos o cosméticos.

Esta bacteria está siempre presente en aguas residuales en el orden de 10<sup>4</sup> -10<sup>5</sup> ufc 100 mL<sup>-1</sup> y provienen de las heces del hombre donde se encuentran en concentraciones de 10<sup>5</sup> ufc g<sup>-1</sup>ps y en heces de animales de sangre caliente como el perro y el cerdo (Figueras *et al.*, 2000).

Las esporas de *C. perfringens* pueden persistir en el sedimento por tiempo indeterminado pudiendo resuspenderse en la columna de agua en eventos lluviosos. En este sentido, puede ser un indicador conveniente de la presencia de virus y parásitos protozoarios (*Cryptosporidium* y *Giardia*) cuando se sospecha que el alcantarillado es la causa de contaminación (Payment, 1998). Además, esta bacteria anaerobia y formadora de esporas es el agente causal de la gangrena gaseosa y la mayor causa de infección en heridas abiertas (Emerson y Cabelli, 1982). También se plantea que correlaciona bien con el coprostanol, principal esteroide fecal encontrado en heces humanas, lo cual es indicativo de presencia de aguas residuales (Cheryl *et al.*, 1995; Figueras *et al.*, 2000).

Todo lo anteriormente expuesto le da relevancia a *C. perfringens* como indicador de contaminación fecal reciente sobre todo en áreas como la bahía en estudio, donde es posible su acumulación por largos períodos.

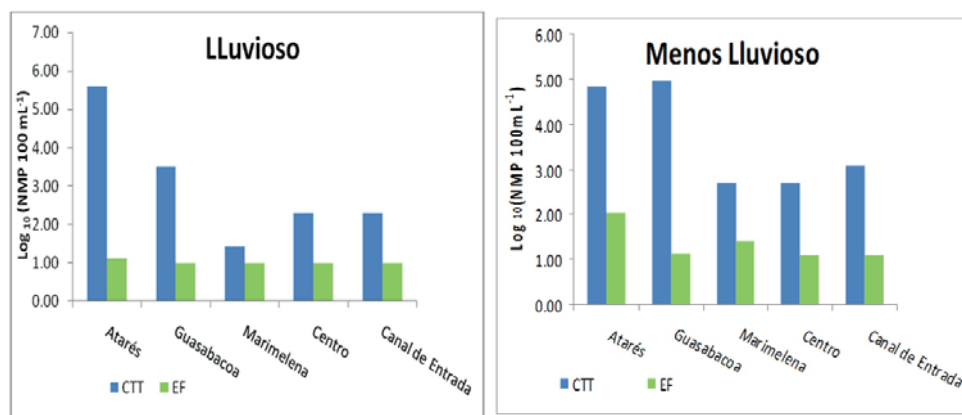
**Comportamiento de los indicadores bacterianos en períodos lluvioso y menos lluvioso.** En la figura 4 se muestra una comparación de ambos períodos. En el período lluvioso, sólo las estaciones de Atarés y Guasabacoa se encuentran por encima del valor límite para CTT según el criterio de NC 22: 1999 para contacto indirecto. En el menos lluvioso, las medias geométricas de CTT en todas las estaciones se encuentran por encima de este límite, manteniéndose con las mayores concentraciones las estaciones de Atarés y Guasabacoa.

Los EF no fueron detectados en el período lluvioso; en el menos lluvioso, sólo fueron detectados en la estación de Atarés y en menor cuantía en Marimelena. Estos resultados concuerdan con los de los 4 muestreos anuales realizados desde el 2006 hasta la fecha. (Beltrán *et al.*, 2007; Beltrán *et al.*, 2008 y Beltrán *et al.*, 2009; Beltrán *et al.*, 2010).

**Tabla 1.** Parámetros de interés determinados en la bahía en el mes de noviembre.

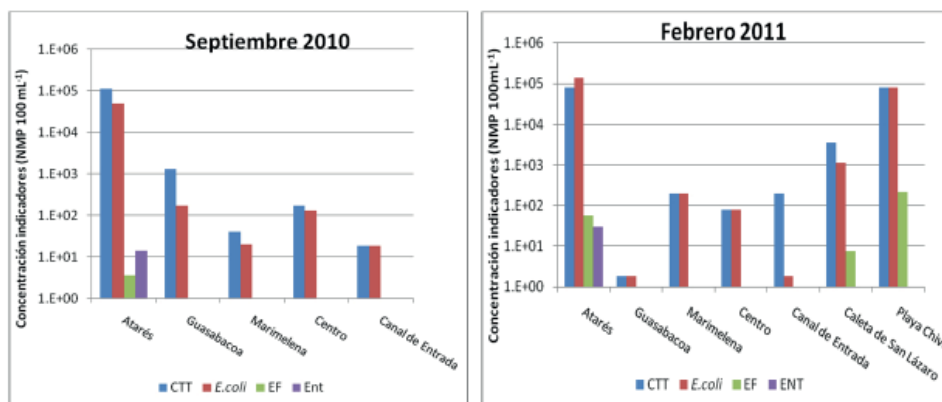
**Figura 4.** Concentración media de CTT y EF en muestras de aguas superficiales de la bahía, en periodos lluvioso y menos lluvioso.

En la figura 5 se presentan los resultados obtenidos con la determinación de varios indicadores CTT, *E. coli*, EF y ENT en los dos muestreos realizados en los meses de septiembre de 2010 y febrero de 2011.



Teniendo en cuenta que hay personas que se bañan y pescan (submarino) en las estaciones ubicadas a ambos lados de la bahía: caleta San Lázaro y playa del Chivo, se decidió comparar las concentraciones detectadas en las muestras con los límites máximos de la norma cubana para contacto directo NC 22: 1999, CTT 200 NMP 100 mL<sup>-1</sup> y EF 100 NMP 100 mL<sup>-1</sup>, establecidos para la media geométrica de 5 muestras tomadas en un periodo de 30 días.

**Figura 5.** Concentraciones de los indicadores determinados en septiembre (periodos lluvioso) y febrero (menos lluvioso).



En la estación de playa del Chivo se detectaron concentraciones de CTT y *E. coli* de  $7.9 \times 10^4$  NMP 100 mL<sup>-1</sup>, superiores en dos órdenes de acuerdo al criterio de contacto directo. Los valores de 211 NMP 100 mL<sup>-1</sup> para EF, se encontraron por encima del valor límite para el contacto directo, mientras que los enterococos no fueron detectados. La muestra de agua de la caleta de San Lázaro mostró altas concentraciones de todos los indicadores CTT:  $3.5 \times 10^3$  NMP 100 mL<sup>-1</sup>, *E. coli*:  $1.1 \times 10^3$  NMP 100 mL<sup>-1</sup> y EF: 211 NMP 100 mL<sup>-1</sup>, y por encima de los valores límites para el contacto directo (figura 5).

A playa del Chivo llegan los residuales procedentes del colector de aguas servidas de la ciudad evacuadas por un emisario que atraviesa la bahía. Según Chabalina y Beltrán (2002) y García *et al.* (2009) este emisario vierte un caudal de gran magnitud, tiene poca longitud y profundidad y se encuentra en un estado de deterioro tal que las condiciones sanitarias observadas en la costa se definen como desfavorables. Desde la entrada de la bahía hasta la caleta de San Lázaro se localizan drenajes pluviales que acarrearán aguas residuales de origen doméstico hasta el litoral.

Los enterococos sólo se detectaron en la ensenada de Atarés, y los EF, en Atarés, playa del Chivo y caleta de San Lázaro, estaciones a las que se vierten las aguas residuales albañales sin tratar, provenientes de la ciudad. En la estación de Guasabacoa, se observaron bajos niveles de CTT y *E. coli* en el mes de febrero, con respecto a septiembre (lluvioso).



Relación entre indicadores bacterianos. En los dos muestreos realizados (lluvioso y menos lluvioso), se obtuvo una relación *E.coli* / CTT de 0.93 para este ecosistema, empleando el método de NMP con los medios de cultivo Lauril Triptosa-EC-Agua Triptona. Esto nos pudiera permitir la conversión de los datos históricos de CTT en densidades de *E.coli* y compararlos con nuevos datos a obtener en futuros monitoreos en la bahía que pudieran estar basados en la enumeración de *E.coli* siempre que las fuentes de contaminación a la bahía sean las mismas (figura 5).

Las altas densidades de *C. perfringens* en los sedimentos, de CTT y de *E.coli* en aguas superficiales, la alta relación *E.coli* / CTT en ambos períodos muestreados en la bahía y el alto coeficiente de correlación CTT/EF en la ensenada de Atarés ( $r= 0.70$ ), son de gran significación sanitaria. El estudio de *E.coli* y ENT han sido recomendados por la EPA para prevenir enfermedades gastrointestinales causados por la ingestión accidental de aguas contaminadas con material fecal en aguas marinas usadas con fines recreativos (USEPA, 2002; Prüss 1998).

Este hallazgo es indicativo de una gran contaminación fecal, ya que confirma lo que reportó García *et al.* (2009) mediante inspección visual, la constante entrada de las aguas residuales crudas a la bahía a través de fuentes puntuales y difusas. La enumeración de estos indicadores permite estimar la calidad microbiológica y el potencial riesgo a la salud pública ya que refleja la presencia, en altas concentraciones, de bacterias entéricas patógenas, virus y parásitos protozoarios. Tyagi *et al.* (2006), basados en criterios de la WHO (1996), recomiendan el uso combinado de estos indicadores para obtener resultados con mayor confianza y validez científica.

Se considera que estas bacterias indicadoras fueron muy útiles en el monitoreo de la descarga, deposición y movimiento de las aguas residuales que llegan a la bahía, aún cuando algún indicador es inactivado luego de su descarga al medio marino, como parecen ser los casos de EF y ENT. Todos estos indicadores de contaminación fecal, nos dejan ver que es muy probable que los riesgos de adquirir enfermedades, sean altos como respuesta a altos números de patógenos presentes en ellas.

La precisión obtenida con el método NMP, entre réplicas de muestras de agua de la estación de Atarés, siempre se encontró por debajo del criterio de aceptación, de acuerdo con las recomendaciones de los métodos estándares (APHA, 2006).

Este estudio ofrece a las autoridades competentes una apreciable herramienta, pues las consecuencias son de preocupación pública. Se deben evaluar los riesgos en vistas tomar las acciones oportunas, adoptar medidas que garanticen una mejoría en el ecosistema y perfeccionar la red de vigilancia ambiental.

Comportamiento de EF-ENT. Dependiendo de las condiciones físico-químicas del agua, los patógenos e indicadores fecales se inactivan a diferentes tasas. Se ha planteado que los enterococos se inactivan más rápidamente que los coliformes y *E.coli* en aguas que contengan altas concentraciones de compuestos húmicos (Salas y Bartram, 2003). Las aguas de los ríos que llegan a la bahía de La Habana, son muy ricas en compuestos orgánicos, donde los niveles reportados de nitrógeno amoniacal son de hasta  $17 \text{ mg L}^{-1}$ , de  $\text{DBO}_5$  de hasta  $75 \text{ mg L}^{-1}$  y los de pH entre 7 y 8 (Sende y Potrillé, 2010). Martínez-Canals *et al.* (2005) indicó la presencia de elevados niveles de ácidos húmicos en ecosistemas costeros cubanos similares, con influencia de drenajes y ríos contaminados.

Si bien los enterococos son muy resistentes a la salinidad del ambiente acuático, comparados con los CTT y *E.coli*, se ha reportado, tanto en matrices de aguas dulce como marinas, que las células también se inactivan por un amplio rango de longitudes de onda de la luz solar en zonas tropicales, siendo mayor con el incremento de la salinidad. Este daño parece ser irreversible, dejándolos más sensibles a los efectos fotobiológicos, inmediatamente a la descarga en aguas naturales. Los coliformes y dentro de ellos *E.coli*, sufren estos daños fotooxidativos en su ADN a longitudes de ondas más cortas y son capaces de repararlos mediante mecanismos de fotoreactivación, mostrando luego, más resistencia a la luz solar en aguas naturales. (Kay *et al.*, 2008; Noble *et al.* 2004; Sinton *et al.*, 2002).

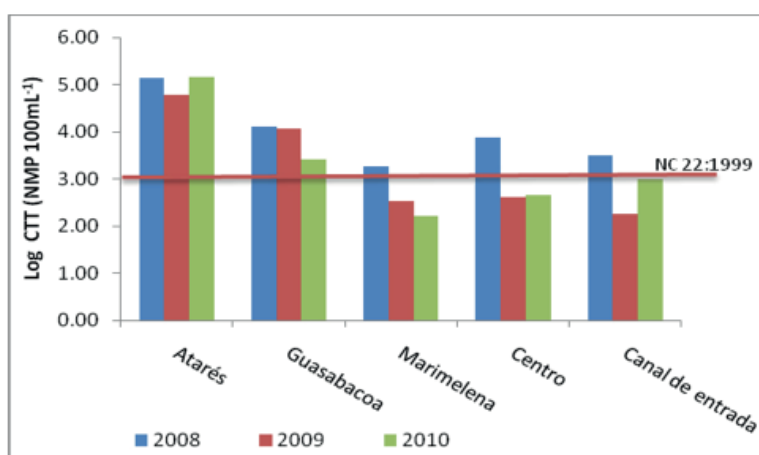
En este estudio, los enterococos sólo se encontraron en las estaciones afectadas por los drenajes de aguas residuales crudas (Atarés y playa del Chivo), mientras que no aparecieron en las estaciones alejadas de estos drenajes, ni en las ubicadas cerca de la desembocadura de los ríos. Este comportamiento se repite tanto en período lluvioso como en menos lluvioso, apoyando ambas hipótesis anteriormente planteada.

Estos resultados, empleando EF y ENT como indicadores, son similares a los obtenidos por Sinton *et al.* (2002) en aguas marinas que reciben efluentes albañales, donde parecen ser menos apropiados como indicadores.

Es importante comentar que de los dos métodos que se emplearon para determinar las concentraciones de EF: el que utiliza los medios CDA - EVA (UNEP, 1995) y el que emplea los medios CDA-PSE-BHIB + 6.5 % de NaCl (APHA, 2006), el primero recuperó mayores concentraciones de este indicador en un muestreo en el mes de septiembre, donde se realizaron los dos métodos simultáneamente. Los métodos de filtración por membrana pudieran no ser útiles para estas aguas, teniendo en cuenta el gran contenido de partículas en suspensión que interfieren al filtrar.

**Análisis comparativo de datos históricos.** En la figura 5 se muestran las concentraciones medias de CTT encontradas en la Bahía, en los años 2008, 2009, comparadas con las encontradas en este estudio y con la NC22: 1999 para contacto indirecto.

**Figura 6.** Concentraciones medias de CTT, expresadas en logaritmo base 10 en los años 2008, 2009 y 2010. Comparación con la NC 22: 1999 para contacto indirecto (salpicaduras por el oleaje).



De acuerdo con los niveles de CTT, la estación de Atarés, se mantiene como la más deteriorada (con órdenes de  $10^4$  -  $10^6$  NMP 100 mL<sup>-1</sup>), seguida por Guasabacoa, Marimelena, Centro y Canal de entrada, aunque por debajo, se mantienen cercanos a los niveles establecidos en la norma cubana de referencia (figura 6).

Este comportamiento de CTT en las aguas de la bahía en los años evaluados, coincide con el de *Clostridium perfringens* en sedimentos superficiales en las tres ensenadas, reportados por Beltrán *et al.*, 2006, Beltrán *et al.*, 2008 y el realizado en este estudio. Los datos históricos de EF en las muestras de agua son muy similares con los obtenidos este año, aparecen indetectables en casi todas las estaciones, excepto para Atarés (datos no mostrados).

En esta bahía, donde la entrada de las aguas residuales crudas es constante y la renovación de sus aguas es limitada, la ocurrencia de los procesos de dispersión, dilución y desactivación por muerte natural de microorganismos luego de la descarga en el ambiente marino es baja, realidad esta revelada por las altas concentraciones de los indicadores detectadas en todos los estudios realizados.

El análisis comparativo demuestra que en los últimos tres años, en todas las estaciones analizadas, se ha mantenido comprometida la calidad microbiológica del agua de la bahía.

El estudio de la calidad bacteriológica de esta bahía tiene gran importancia también desde el punto de vista económico, ya que constituye un elemento a tener en cuenta para delimitar bien las zonas de pesca habitual. Es alto el riesgo que constituye el consumo de especies con afectaciones microbiológicas. Al encontrarse la bahía altamente influenciada por aguas contaminadas provenientes de drenes y ríos sin tratamiento previo para verterse en la misma, son numerosos los gérmenes patógenos que pueden transmitirse al hombre. Esta contaminación puede ocurrir por agentes enteropatógenos como *Salmonella*, *Shigella*, enterovirus, protozoos y parásitos multicelulares (helmintos); patógenos humanos "oportunistas" como *Pseudomonas aeruginosa*, *Klebsiella*, *Vibrio* y *Candida albicans*, y otras especies que son productoras de enfermedades en los peces, y que se multiplican en estas aguas en presencia de suficiente cantidad de elementos nutritivos.



Desde otro punto de vista, para el hombre, con la desaparición de especies de peces, aves y mamíferos en la bahía, se ve afectado su uso recreativo-paisajístico, ocasionando pérdidas de valores en bienes y servicios.

Con vista a que en los últimos años se ha potenciado el turismo como uno de los principales renglones económicos del país, se considera que la Bahía de La Habana reúne condiciones extraordinarias para llegar a ser un puerto competitivo a escala mundial, y en ello actúa decisivamente la ejecución y desarrollo de un programa de restablecimiento ambiental, en el que intervienen organismos, instituciones, autoridades locales y la población citadina en su totalidad. En ese proyecto urbanístico, ecológico, cultural y socioeconómico se distinguen los intereses por rehabilitar el enclave marítimo-portuario para lograr inversiones y recursos por medio de educación ambiental y trabajo comunitario, restituirle su uso como bien público, entre otros beneficios.

#### 4. CONCLUSIONES

1. Las mayores concentraciones de CTT en las muestras de agua de la bahía se encontraron en ambos períodos en las estaciones de Atarés y Guasabacoa, a las cuales tributan los ríos y los drenajes de aguas residuales albañales, provocando las altas concentraciones de CTT, *E. coli* y *C. perfringens*, encontradas en las mismas.
2. En el muestreo de noviembre, las concentraciones de CTT en las estaciones del Centro y Canal de Entrada fueron las mayores encontradas en este estudio y por encima del valor límite para contacto indirecto. Esto se debió posiblemente a la influencia de los desbordamientos hacia la bahía, de aguas negras provenientes del colector adyacente.
3. La determinación de CTT y *E. coli* en las aguas, *C. perfringens* en los sedimentos, además de la relación *E. coli* / CTT y de la correlación CTT/EF en el lugar de vertimiento, resultaron muy útiles en el monitoreo de la descarga, deposición y movimiento de las aguas residuales, e indicativos de una contaminación fecal reciente en la bahía y zonas costeras vecinas.
4. Los EF y ENT fueron buenos indicadores bacterianos, medidos en el lugar y al momento de la descarga del residual proveniente de los drenajes, pero estos resultados desafían el uso de EF y ENT como indicadores para evaluar la calidad microbiológica de la bahía. Este comportamiento se deriva de su bien conocida inactivación por la luz solar en zonas tropicales y la aparente presencia de ácidos húmicos en las aguas de la bahía.
5. La calidad microbiológica del agua de la bahía de La Habana se ha mantenido comprometida en los últimos tres años.

#### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- APHA-WPCF-AWWA, 2006. Standard Methods for the examination of Water and Waste Water. American Public Health Association. Washington, D. C.
- Beltrán, J., Martín, A., Regadera, R., Mancebo, H., Gómez, Y., López, L. et al., 2007. Control y evolución de la calidad ambiental de la Bahía de La Habana. Informe Final, Vigilancia ambiental para la Bahía de La Habana, Cuba. Centro de Ingeniería y Manejo Ambiental de Bahías y Costas, (CIMAB), 58 P.
- Beltrán, J., Pérez, M., Regadera, R., López, L., Bell, L., Ruiz, F., Ramírez, M., Pérez, O., Torres, I., Ruiz, M., Solar F., 2008. Control y evolución de la calidad ambiental de la Bahía de La Habana. Informe Final, Vigilancia ambiental para la Bahía de La Habana, Cuba. Centro de Ingeniería y Manejo Ambiental de Bahías y Costas (CIMAB), 47 P.
- Beltrán, J., Pérez, M., Regadera, R., López, L., Ruiz, F., Ramírez, M., Rosabal, M., Bell, L., García, L., 2009. Control y evolución de la calidad ambiental de la Bahía de La Habana. Informe Final, Vigilancia ambiental para la Bahía de La Habana, Cuba. Centro de Ingeniería y Manejo Ambiental de Bahías y Costas (CIMAB), 62 P.

- Beltrán, J., Pérez, M., Regadera, R., Gómez, Y., Ruiz, F., Reyes E., et al., 2010. Control y evolución de la calidad ambiental de la Bahía de La Habana. Etapa 2009. Informe Final, Vigilancia ambiental para la Bahía de La Habana, Cuba. Centro de Ingeniería y Manejo Ambiental de Bahías y Costas (CIMAB), 74 P.
- Cabelli, V. J., 1983. Health effects criteria for marine recreational waters. US Environmental Protection Agency. EPA 600/1-80-01. Cincinnati, 98 P.
- Chabalina, L. y Beltrán, J., 2002. Contaminación marina en bahías y zonas costeras de Cuba y del Gran Caribe. Cimab, Cuba, 13 P. Memorias de VIII Taller de la Cátedra de Medio Ambiente, Instituto Superior de Ciencia y Tecnología Nucleares. Ministerio de Ciencia Tecnología y Medio Ambiente. Cuba. 2002 Vol. I., CD.
- Cheryl, M. D., Long, J. A. H., Donald, M. and Ashbolt, N. J., 1995. Survival of Fecal Microorganisms in Marine and Freshwater Sediments. Applied and Environmental Microbiology. Vol. 61, No. 5, pp.1888–1896 .
- Dutka, B. J, Kwan, K. K., Rao, S. S., Jurkovic, A. and Liu, D., 1991. River evaluation using ecotoxicological and microbiological procedures. Environmental Monitoring and Assessment. Vol.16, pp. 287-313.
- Emerson, D. J. and Cabelli, V. J., 1982. Extraction of Clostridium perfringens spores from Bottom Sediment Samples. Applied and Environmental Microbiology. Vol. 44, No. 5, pp. 1144-1149.
- Escobar, J., 2002. Contaminación de ríos y su efecto en las áreas costeras y el mar. Publicación de las Naciones Unidas. ISSN electrónico: 1680-9025. Santiago de Chile Recursos Naturales e Infraestructura. Serie CEPAL: ISBN: 92-1-322090-1.
- Figueras, M. J., Borrego, J. J., Pike, E. B., Robertson, W. and Ashbolt, N., 2000. Chapter 8: Sanitary inspection and microbiological water quality. In: Monitoring Bathing Waters - A Practical Guide to the Design and Implementation of Assessments and Monitoring Programmes. Ed. Jamie Bartram and Gareth Rees. World Health Organization (WHO). ISBN 0-419-24390-1.
- Figueras, M. J., Polo F. L., Inza, I. and Guarro, J., 1994. Comunicación personal: Kremer, R., Jefe de Sección. Dirección general XI. CEE. Situación actual y perspectivas de la normativa legal sobre el control microbiológico del agua de baño. Técnicas de Laboratorio189, pp. 86-93.
- García, G. L., Ruiz, G. M. y Sende, O. V., 2010. Monitoreo de los drenajes pluviales que afectan directamente la calidad de las aguas de la Bahía de La Habana. Primer Informe Parcial. Centro de Ingeniería y manejo Ambiental de Bahías y Costas (CIMAB), 17 P.
- García, G. L., Valdés, M. M., Tur, P. A., Periles, Á. I., 2009. Evaluación de la efectividad de las medidas propuestas para el control y mitigación de las afectaciones a la zona costera estudiada Resultado 03. Proyecto Ramal Científico Técnico: Monitoreo de la Calidad Ambiental del Litoral Norte de Ciudad de La Habana. Resultado 1 Actualización de las Fuentes Terrestres de Contaminación al Litoral de la Ciudad de La Habana. Centro de Ingeniería y manejo Ambiental de Bahías y Costas (CIMAB).
- Grasshoff, K., Ehrhardt, M., Kremling, K., 2002. Methods of Seawater Analysis. Third Completely Revised And Extended Edition. 600 P.
- Gutierrez, J., 2005. Opciones de tratamiento y disposición final de residuales domésticos y su relación con el Protocolo de Fuentes de Contaminación Marina. Tercera Reunión del Comité Asesor Científico y Técnico Interino (ISTAC) del Protocolo Relativo a la Contaminación Procedente de Fuentes y Actividades Terrestres (FTCM) en la Región del Gran Caribe. Programa de las Naciones Unidas para el Medioambiente (PNUMA). UNEP (DEC)/CAR WG.28/INF.1.
- Harwood, V. J., Levine, A. D., Scott, T. M., Chivukula, V., Lukasik, J., Farrah, S. R., Rose, J. B., 2005. Validity of the indicator organism paradigm for pathogen reduction in reclaimed water and public health protection. Applied and Environmental Microbiology. 71, pp. 3163-3170.
- ISO 5667-3, 1994. Calidad del agua. Muestreo. Parte 3. Guía para la conservación y la manipulación de muestras.
- ISO 9308-2, 1990. Water quality-Detection and enumeration of coliform organisms, thermotolerant coliform organisms and presumptive Escherichia coli. Part 2: Multiple tube (Most Probable Number) method.

- Kay, D., Crowtheb, J., Stapleton, C. M., Wyer, M. D., Fewtrell, L., Edwards, A., 2008. Faecal indicator organism concentrations in sewage and treated effluents. *Water Research*. Vol. 42, pp. 442- 454
- Leclerc, H., Schwartzbrod, L., Dei-Cas, E., 2002. Microbial agents associated with waterborne diseases. *Critical Reviews in Microbiology*. Vol 28, No. 4, pp. 371-409.
- Martínez-Canals, M., Montalvo, J. F., Miravet, M. E., Lugiyo, M., Loza, S., Pérez, R., García, I., Rodríguez, A., Cesar, M. E., Esponda, S., Sánchez, M., Delgado, V., 2005. Calidad ambiental de la zona costera N del golfo de Batabanó, Cuba. [Citado 8 marzo 2011] Disponible en Internet: file:///F:/ENMA/PDF%20CONYMA%202006/Data/HTML/Pag.s/114T%20Calidad%20ambiental%20de%20la%20zona.htm (1 of 7) 05/02/2008 09:33:05.
- Noble, R. T., Lee, I. M. and Schiff, K. C., 2004. Inactivation of indicator micro-organisms from various sources of faecal contamination in seawater and freshwater. *Journal of Applied Microbiology*. Vol. 96, pp. 464–472.
- ONN, 1998. Peloides. Especificaciones. Oficina Nacional de Normalización. Norma Cubana NC XX: 1998. Cuba, 10 P.
- ONN, 1999. Requisitos higiénicos sanitarios en lugares de baño en costas y masas de aguas interiores. Oficina Nacional de Normalización. Norma Cubana NC: 22:1999. Cuba. 10 P.
- Payment, P., 1998. Water borne viruses and parasites: resistance to treatment and disinfections. OECD, Workshop Molecular Methods for Safe Drinking Water, Interlaken. Vol. 98, pp. 1-11.
- Pérez, A., 2008. On line.Y volvieron las gaviotas. [Citado 4 abril 2011] Propósito comunitario Haciendo almas, La Habana, Cuba. Este sitio se actualizó por última vez el jueves 12 de junio de 2008. Disponible en Internet: <[http://www.haciendoalmas.cult.cu/otros/arbol\\_de\\_vida/entorno010508\\_2.html](http://www.haciendoalmas.cult.cu/otros/arbol_de_vida/entorno010508_2.html)>.
- Prüss, A., 1998. Review of epidemiological studies on health effects from exposure to recreational water. *International Journal of Epidemiology*. Vol. 27, pp. 1-9.
- Salas, H. and Bartram, J., 2003. Borrador de las guías para ambientes seguros en aguas recreativas. Volumen 1: Aguas costeras y dulces, contaminación fecal y calidad de agua. OMS/PNUMA. Segunda Reunión del Comité Asesor Científico y Técnico Interino (ISTAC) del Protocolo Relativo a la Contaminación Procedente de Fuentes y Actividades Terrestres (FTCM) en la Región del Gran Caribe. Programa de las Naciones Unidas para el Medioambiente. UNEP (DEC)/CAR WG.24/INF.5.
- Sende, O. V. M. y Potrillé, T. F., 2010. Carga contaminante anual aportada por la cuenca de la bahía de La Habana a través de los ríos Luyanó, Martín Pérez y Arroyo Tadeo. Proyecto No Asociado a Programa. Tercer Informe Parcial. Centro de Ingeniería y Manejo Ambiental de Bahías y Costas (CIMAB), 15 P.
- Sinton, L. W., Hall, C. H., Lynch, P. A. and Davies-Colley, R. J., 2002. Sunlight Inactivation of Fecal Indicator Bacteria and Bacteriophages from Waste Stabilization Pond Effluent in Fresh and Saline Waters. *Applied and Environmental Microbiology*. Vol. 68, No. 3, pp. 1122–1131.
- Tyagi, V. K., Chopra, A. K., Kazmi, A. A., Kumar, A., 2006. Alternative microbial indicators of faecal pollution: current perspective. *Iranian Journal of Environmental Health Science and Engineering*. Vol. 3, pp. 205-216.
- UNEP, 1995. Determination of faecal streptococci in sea water by the multiple test tube (MPN) method. United Nations Environment Programme.
- US Environmental Protection Agency (USEPA), 2002. Implementation Guidance for Ambient Water Quality Criteria for Bacteria. EPA-823-B-02-003.
- US Environmental Protection Agency (USEPA), 1986. Ambient water quality criteria for bacteria. EPA 440/5-84-002. Washington.
- Valdés, M., Tur, P. A., Periles, I., 2002. Aportes contaminantes a la Bahía de La Habana y su evolución. Proyecto No Asociado a Programa. Informe Final. Cuba. Centro de Ingeniería y Manejo Ambiental de Bahías y Costas (CIMAB), 70 P.
- World Health Organization (WHO). 2000. Monitoring Bathing Waters. A practical guide to the design and implementation of assessment and monitoring programmes (CEC-EPA-WHO), 350 P.

