

# Estudio Comparativo de la Calidad del agua superficial marino costero en área adyacente al Canal de Panamá.

Ariel A. Grey G.

Universidad Tecnológica de Panamá, Colón, Panamá, [ariel.grey@utp.ac.pa](mailto:ariel.grey@utp.ac.pa)

Vicelda Domínguez de Franco

Universidad Tecnológica de Panamá, Panamá, Panamá, [vicelda.dominguez@utp.ac.pa](mailto:vicelda.dominguez@utp.ac.pa)

Cenobio E. Cardenas

Universidad Tecnológica de Panamá, Panamá, Panamá, [cenobio.cardenas@utp.ac.pa](mailto:cenobio.cardenas@utp.ac.pa)

## RESUMEN

Se realiza un estudio para comparar la magnitud de la contaminación de las aguas costeras y determinar los efectos que causan las operaciones portuarias en la calidad del agua de la Bahía de Manzanillo en Panamá, principal zonas portuarias de trasbordo de contenedores del país. Se realizó análisis estadísticos para determinar la posible relación entre los parámetros físicos-químicos y microbiológicos del agua en ambas estaciones seca y lluviosa. Se identificaron cinco estaciones de acuerdo a las diversas actividades y condiciones en la zona. Los resultados obtenidos con relación al pH vario entre 7 a 8.5, la salinidad osciló entre 15.9% a 21.1%. La temperatura registró variaciones entre 27.2°C, y 30.2°C, el OD estuvo entre 5.5 a 8.6 mg/l. La turbiedad registró valores entre 1 a 11 NTU, la DBO5 oscilo entre 0.3 y 5.2 mg/l, la DQO vario entre 10 a 24 mg/l. Los CT y CF registraron valores entre 4.2 a 1.7 UFC y 1.3 a 3.2 UFC respectivamente. La zona no es apta para desarrollo de actividades de contacto directo y deben existir restricciones para estas actividades. Se debe establecer un Sistema Integrado de control de calidad de las aguas en los sectores marítimos-portuarios como herramienta en la toma de decisiones y en gestión del entorno.

**Palabras claves:** Magnitud, parámetros, calidad, restricciones, contacto directo.

## ABSTRACT

We performed a study to compare the extent of contamination of coastal waters and determine the effects of port operations that cause water quality in the Bay of Manzanillo in Panama, the main port areas of the country's container transshipment, statistical analysis was performed to determine the possible relationship between physical-chemical parameters and microbiological showed small variations and changes in both seasons dry and rainy. We identified five distinct seasons according to the various activities and conditions in the area. The results obtained with respect to pH ranged from 7 to 8.5, salinity ranged from 15.9% to 21.1%. The temperature variations recorded 27.2°C and 30.2°C, the OD was between 5.5 to 8.6 mg / l. The recorded turbidity values between 1 to 11 NTU, the BOD5 ranged between 0.3 and 5.2 mg / l, DQO varied between 10 and 24 mg / l. The TC and FC showed values between 4.2 to 1.7 and 1.3 to 3.2 UFC respectively. The area is not suitable for development activities and direct contact should be restrictions for these activities. It should establish an integrated system of quality control of the waters in maritime-port sector as a tool in decision-making and environmental management.

**Keywords:** Magnitude, parameters, quality, restrictions, contact.

## **1. INTRODUCTION**

Las bahías son áreas protegidas en forma natural, por lo que en ellas se desarrollan actividades múltiples, generalmente incompatibles entre sí. La actividad portuaria es compleja, requiere de servicios de carga/descarga, suministros, combustible, traslado de personal y reparaciones, lo que sumado a eventos de derrames crónicos de hidrocarburos e ingreso de residuos hacen de las zonas portuarias sistemas fuertemente alterados, con una alta presión ambiental y una paulatina alteración de la calidad de las aguas y sedimentos (Ahumada, 1995; Rudolph *et al.* 2002<sup>a</sup>; McCready *et al.* 2003; Sprovieri *et al.* 2007 y Casado-Martínez *et al.* 2007).

En Panamá, la contaminación de las aguas marinas, puede ser observada con facilidad y con mayor énfasis en la vertiente Pacífica, ya que es justo ahí donde se concentra la mayor cantidad de zonas pobladas o urbanas del país, en contraste con la vertiente Atlántica, donde existen pocas áreas pobladas, centrándose éstas en las áreas costeras de Bocas del Toro y Colón. (USR Holding, 2006).

La contaminación ambiental generada por la condición de la infraestructura sanitaria y las condiciones del nivel de drenaje representan impactos ambientales significativos en la calidad de vida de los colonenses. La profundidad del nivel freático, las deficiencias en los sistemas de drenaje pluvial y las condiciones del sistema de alcantarillado se adicionan a los afloramientos de agua de mar a través de los tragantes para crear condiciones sanitarias indeseables, permitiendo que las aguas servidas se infiltren en el subsuelo, afectando los sistemas de distribución de agua potable.

El aumento constante del tránsito de naves producto de los intercambios comerciales existentes en el área hace que la Bahía de Manzanillo sea propensa a la contaminación por lastre, grasas y aceites derivados de las diferentes actividades marítimas y portuarias existentes. Cabe destacar, que actividades como la toma de combustibles de los buques durante las operaciones de carga y descarga, el lavado y limpieza de las bodegas, el desecho de sentina y el lastre, contribuyen a deteriorar cada día, la calidad del agua dentro de la bahía de Manzanillo. Los residuos oleosos producto de las actividades marítimas y portuarias, representan un gran problema para la costa colonense de la Bahía de Manzanillo (Grey, 2006).

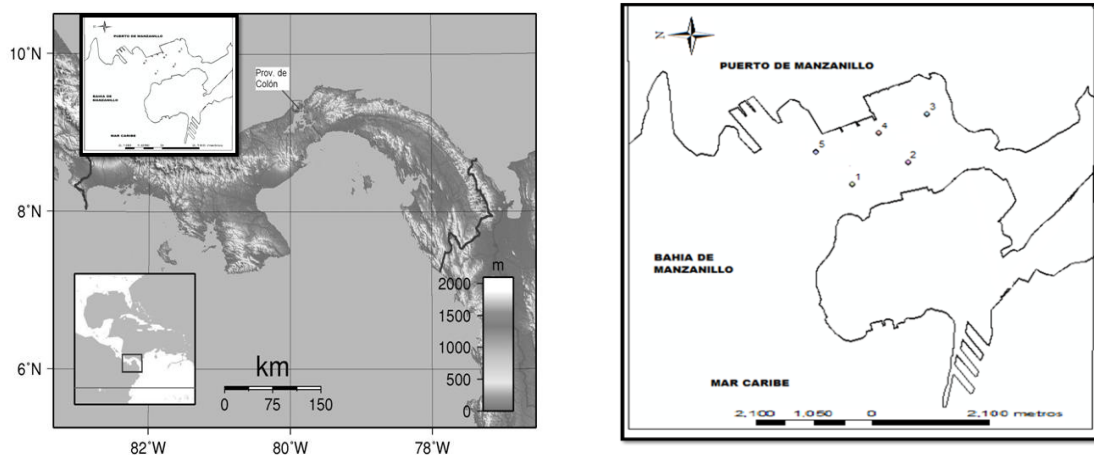
Los puertos marítimos con mayor movimiento de buques son así mismo importantes fuentes de estos residuos, tal es el caso, en orden de importancia, Manzanillo Internacional Terminal (MIT), Colon Container Terminal (CCT), La Terminal de Cruceros Colón 2000 y Colón Port Terminal (CPT). El agua de sentina y los desperdicios contaminan el mar y afectan la vida marina, mientras que el agua de lastre, que se carga en un puerto y muchas veces se descarga en otro muy lejano, puede transportar organismos que alteran los ecosistemas y la biodiversidad.

Son escasos los estudios sobre las condiciones ambientales en la Bahía de Manzanillo en referencia a la calidad del agua y sedimento, por lo que el objetivo principal del presente estudio fue analizar la calidad del agua superficial en la línea de la costa en cinco puntos importante, considerando el movimiento de buques y el periodo seco y lluvioso en la zona.

Actualmente, en Panamá, no existen normativas que regulen la calidad de las aguas y sedimentos en instalaciones portuarias y costeras. Sin embargo cabe señalar que en el 2006 se realizó el primer anteproyecto de calidad de aguas marinas costeras que hasta el momento solo ha quedado como anteproyecto. Para ello se utilizaron criterios internacionales de calidad de agua para analizar la magnitud de la contaminación en las aguas.

## **2. AREA DE ESTUDIO**

Se consideraron cinco (5) estaciones de estudio comprendido entre 9°21'26.76"N y 79°53'7.47"W hasta los 9°21'51.54"N y 79°53'27.00"W (figura 1). Las colectas se realizaron en dos etapas, la primera comprendida entre septiembre de 2005 a mayo de 2006; la segunda etapa se llevó a cabo en los meses de enero, febrero y noviembre de 2011. Se toman como referencia los diferentes factores de dilución del agua (periodo lluvioso y seco) y el periodo de baja y alta influencia de naves para realizar esta investigación.



**Figura 1. Ubicación de las cinco estaciones.**

Estación No.1 y 2: ubicada frente a la ciudad de Colón a lo largo de la línea de costa entre el muelle de embarcaciones de recreo y operativas del Club Náutico Caribe y el Muelle de Cruceros de Home Port Colón. Es un sitio con presencia de actividades industriales y donde se ubican mayormente las residencias.

Estación No. 3: frente a la ciudad de Colón considerando puntos de referencia como el muelle de Cruceros Colón 2000 y el Home Port Colón. Sitio mayormente ocupado por gran actividad comercial e influenciado por el Río Fork.

Estación No. 4 y 5: frente a las terminales portuarias de Manzanillo International Terminal, Colon Ports Terminal y Colón Container Terminal y las aguas provenientes de Fork River (Río del Pueblo). Sitio mayormente afectado por el tránsito de buques y de actividades portuarias.

La bahía de manzanillo presenta fundamentalmente dos periodos climáticos, el periodo seco, usualmente de calma, de enero a abril, y el lluvioso, usualmente ventoso de mayo a noviembre. El mes de enero es el más activo en función del volumen de tráfico y movimiento operativo en la zona portuaria y el mes de noviembre es el de menor volumen de tráfico de naves. (Boletín, AMP, 2010).

### **3. MATERIALES Y METODOS**

#### **3.1. TOMA DE MUESTRAS**

Considerando el área marino costero en la zona y su área de influencia, se tomaron muestra de agua a nivel superficial y a una distancia de aproximadamente 30 metros desde el borde de la costa, establecidas con un GPS Micrologic modelo Sportsman, tomando como referencia el sistema de boyas del canal de acceso a las terminales, en iguales condiciones en los diferentes puntos de muestreos. Se utilizaron botellas van Dorn de 1 litro para determinar oxígeno disuelto y botellas de 1 1/2 galón para determinación de DBO<sub>5</sub>, mientras que las muestras

para el análisis de coliformes totales y fecales se recolectaron en forma manual utilizando frascos estériles de 120 mililitros de capacidad.

### 3.1.1. ANALISIS FISICOQUIMICO Y BACTERIOLOGICO

Para los recuentos de coliformes totales y fecales en las muestras de agua se utilizó el método Quanti-Tray/2000 de IDEXX que estuvieron diseñados para producir recuentos bacterianos cuantificados de muestras de 100 mL, al ser utilizadas con productos de reactivos de la Tecnología del Sustrato Definido (Defined Substrate Technology) de IDEXX. Los resultados fueron comparados con los estándares internacionales de países como Bolivia, Colombia, Ecuador, Brasil, Chile, entre otros. Se determinó en laboratorio, los sólidos totales según las técnicas recomendadas en APHA, 1998. La temperatura y salinidad, fueron medidas con un salinómetro WTW, debidamente calibrado, mientras que para el pH se utilizó de potenciómetro marca WTW. Para análisis de los parámetros químicos se aplicaron metodología descritas en el manual de Strickland y Parsons para aguas de mar y microbiología en el Standard Method.

### 3.1.2. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

En los recuentos bacterianos se utilizó un programa multifactorial ANOVA para determinar la existencia estadísticamente de diferencias en los recuentos significativas entre estaciones y cada mes, tanto en agua como en sedimento. Por último, para comprobar y establecer correlaciones entre los recuentos y las variables fisicoquímica se realizó un análisis de correlación (Sokal R., y Rohlf I., 1981).

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la tabla No. 1 se presentan las concentraciones promedios de los parámetros físicos químicos en las zonas estudiadas

**Tabla No. 1 Valores Promedios de los parámetros físicos químicos en el ámbito superficial**

Parámetro	Unidad	Valor obtenido 2005-2006		Valores 2011-2012	
		Seco	Lluv.	Seco	Lluv.
Oxígeno Disuelto (OD)	mg/l	5.5-7.4	6.2-8.6	8.0	7.2
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	mg/l	0.3-2.5	0.3-2.7	2.5	1.4
Salinidad	(ppm)	12.1-15.4	12.7-15.9	13	14
Potencial de Hidrógeno (pH)		6.5-8.3	6.7-8.3	7.6	8.2
Temperatura (°C)	(°C)	28-30.2	27.2-29	30	27
Turbiedad	(NTU)	7-11	1-7	8	9
Coliformes Totales	(NMP/100ml)X10 <sup>3</sup>	1.3-3.2	0.3-3.6	1.5	2.2
E. Coli	(NMP/100ml)X10 <sup>3</sup>	2.0-3.7	1.3-3.2	2.3	2.0

EPA – Agencia de Protección Ambiental de los EE.UU. SM – Métodos Estándares para la Examinación de Aguas y Aguas Residuales (Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater)

## 4.1. PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS

### 4.1.1. TEMPERATURA (T°)

Las condiciones termohalinas en la línea de la costa, presentaron características diferentes en todas las estaciones y arrojaron significativas en las dos épocas climáticas. La temperatura osciló entre 27.2°C y 30.2°C, dando como resultado la mínima en el periodo lluvioso en la estación No. 2 y en la estación No. 4 y la máxima en el periodo seco en todas las estaciones en los diferentes meses correspondientes a dicha estación (ver. tabla 1). En la temporada seca se registró una mediana de 29.2°C, el cual resultó superior a la obtenida en la temporada lluviosa que fue de 28.3° C. Los resultados hallados en este estudio coinciden con los reportados en zonas costeras y bahías por Lopez et. At 2002 y M. Seisdedo, 2007.

Las temperaturas más bajas probablemente puede estar asociado a algunas de las actividades que generan hacen que las aguas residuales de agua dulce produzcan el efecto de dilución. Los efectos subletales de las variaciones de la temperatura afectan al metabolismo, respiración, comportamiento, distribución, migraciones, alimentación, crecimiento y reproducción de la mayoría de los animales y plantas acuáticas. (Ruiz Mateo *et al.*, 1994).

La temperatura de acuerdo a las normas consultadas, no debe excederse de ciertos límites para que no afecte los diferentes procesos del ecosistema. Algunos países como Bolivia y en el estado de Carolina del Norte, Estados Unidos de América se establecen límites inferiores y superiores sobre la temperatura estándar del área, mientras que en otros países como Chile, Ecuador, México y Puerto Rico y en organismos como la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA) se establece un límite máximo superior permisible a la temperatura estándar del lugar donde rige la norma. Al comparar los promedios obtenidos en la Bahía de Manzanillo con estas normas, se observa que no sobrepasan los límites establecidos por los países consultados (Corro y Huertas, 2011).

### 4.1.2. POTENCIAL DE HIDROGENO (PH)

El pH registro valores que oscilaron entre 6.5 y 8.3. El valor más bajo se registró en la estación No. 1, siendo predominante en el periodo lluvioso. Por otro lado, los valores más altos se presentaron en las estación No. 1 periodo lluvioso y a la estación No. 2 periodo seco.

El agua de mar presenta, de forma estable, pH comprendido entre 7-9 unidades, siendo 8.1 unidades el valor normal en superficie. (Ruiz Mateo *et al.*, 1994).

El pH de agua de mar varía sólo entre un pH de 7.5 y 8.4 produciéndose los valores más altos en la superficie durante periodos de alta productividad cuando se retira el dióxido de carbono durante la fotosíntesis (Kiely, 1999).

En los dos periodos, tanto seco como lluvioso, se encuentran dentro de los parámetros de calidad de agua estando buena, excelente y aceptable a lo largo de la Bahía de Manzanillo. En términos generales los valores promedios para ambos periodos se encuentran dentro los valores normales para aguas marinas y costeras; además, al comparar estos promedios con una norma internacional como la de Colombia, se encuentran dentro los criterios de calidad de aguas estuarinas y marinas, que establece rangos entre 6.5 y 8.5 (Decreto No.1594 del 26 de junio de 1984). En algunos casos, cuando el pH sobrepase los valores establecidos, posiblemente puede estar relacionado a la presencia de aguas muy productivas y puede ser indicativo de que el CO<sub>2</sub> es utilizado por el fitoplancton para la síntesis de la materia orgánica a través del proceso de fotosíntesis. (Seisdedo, 2007). Esta tendencia también fue explicado por Morales F., 1995 y Alcalá L., 1999.

En los puertos internacionales como el Puerto Morelos los valores oscilaron entre 8.13 y 8.27 con un promedio de 8.24 y en el Puerto de Guayaquil los valores iban de 7.46 a 7.54 con un promedio de 7.48 todos los valores de ambos puertos son de tipo Básico o Alcalino y se encuentran dentro del el Anteproyecto de normas de calidad de agua Marinas y Costeras, siendo los valores del Puerto de Guayaquil los más semejantes a los valores encontrados en Manzanillo 2011 (Corro y Huertas, 2011).

El pH se encuentra dentro del rango establecido en los diferentes países, los cuales establecen rangos entre 6.0-8.5, 7.0-8.5 y 5.5-9.0, como se puede apreciar cada rango obedece a una condición local específica.

#### 4.1.3. OXÍGENO DISUELTO (OD)

En cuanto a los parámetros químicos, la distribución superficial de oxígeno disuelto (OD) uno de los parámetros que controla la presencia o ausencia de especies en los ecosistemas estuarinos y costeros. Los valores de OD determinado para la Bahía de Manzanillo fluctuó entre 7.2 y 8.0 mg/L establecido como criterio de calidad admisible para la destinación del recurso para la preservación de flora y fauna en aguas.

Los contenidos de oxígeno disuelto están en función de la temperatura, la salinidad y la velocidad del viento, así como del consumo microbiológico en los procesos de descomposición de la materia orgánica existente en aguas y sedimentos. Afecta principalmente a los estados embrionarios y larvarios de muchos peces, debido a que su habilidad para extraer el oxígeno del agua no está bien desarrollada, y a la imposibilidad que tienen de moverse a otras condiciones más favorables (Ruiz Mateo *et al.*, 1994). Por otra parte, las bajas concentraciones de oxígeno disuelto posiblemente están relacionadas con la descomposición de la materia orgánica y/o aporte de materia orgánica por escorrentías. Cabe señalar que en los dos periodos se registraron valores aceptables, buenos y excelentes durante todo el muestreo. Las lecturas obtenidas en las estaciones No. 1 y No. 3 durante el periodo seco se realizaron en marea baja, donde los procesos de mezcla se vieron reducidos debido al estado de la misma. Por otro lado, con respecto a la estación No. 5, que durante la estación seca disminuyó el oxígeno disuelto producto del afloramiento estacional que se da en esta zona entre marzo y abril y/o a la alta concentración de sólidos suspendidos y sólidos totales en el área. El oxígeno disuelto durante la estación lluviosa registró valores elevados en la estación No. 5 dejando claro que otros factores como la movilización de tierra y la cercanía de este sitio a la constante afluencia de buques pudieron alterar los resultados obtenidos.

Los valores de oxígeno disuelto observados en puertos internacionales como el Puerto Morelos oscilaron entre 5.34 y 6.82 mg/L, cumpliendo con los valores establecidos por el Anteproyecto de Normas de Calidad de agua Marinas y Costeras de Panamá, mientras que en el Puerto de Guayaquil los valores de oscilan entre 5.1 y 5.7 mg/L, encontrándose todos dentro del Anteproyecto de Normas de Calidad de agua Marinas y Costeras de Panamá. Podemos decir que el agua de la Bahía de Manzanillo presenta mejores condiciones de oxígeno disuelto que los puertos internacionales mencionados, pero aun así estos puertos internacionales presentan buenas concentraciones de O.D según el Anteproyecto de Normas de Calidad de Agua Marinas y Costeras de Panamá. Los valores de oxígeno disuelto reportados se encuentran dentro los límites establecidos en las normas citadas, donde se establece que los valores permisibles no deben ser inferiores a 4 a 5 mg/L. Estos valores por lo general se registran en la estación seca debido a los cambios de densidad del agua superficial con el consecuente movimiento de las aguas profundas con poco oxígeno hacia la superficie, mientras que en la estación lluviosa hay una tendencia de aumentar los niveles de oxígeno tal como se observa en los datos de la estación lluviosa. Cabe resaltar que en su gran mayoría los países consultados coinciden con un valor límite inferior para este parámetro entre 4-5 mg/L (Corro y Huertas, 2011).

#### 4.1.4. SALINIDAD

La Salinidad osciló entre un mínimo de 15.9 ‰ y un máximo de 12.1 ‰ durante la estación seca y lluviosa a lo largo y ancho de la Bahía.

En la estación seca se presentan valores que oscilan entre 12.1‰ y 15.4‰ donde el más bajo se presenta en la estación No. 3 y el más alto en la estación No. 4. Sin embargo, la estación lluviosa tuvo un comportamiento tal que se presentó entre 12.4‰ y 15.9‰ donde el valor más bajo se presentó en la estación de muestreo No. 4 y el más alto fue en la estación No. 5.

Esta relación entre la estación seca y lluviosa da como resultado que durante la estación lluviosa se presenta un elevado promedio de salinidad en todo el año. Se puede añadir que los puntos uno y cinco se encuentran cerca de la salida o terminación de la Bahía y el inicio de la Bahía de Limón donde se dan muchos cambios de salinidad, debido a que se encuentra delimitada por un rompeolas y que está cerca de la influencia directa de las aguas oceánicas y no recibe aporte directo de agua dulce de los ríos adyacentes.

Las diferencias significativas para la temperatura, salinidad y oxígeno disuelto, parece estar mostrando a estas características físico-químicas como las más vulnerables a los cambios estacionales entre la temporada lluviosa y seca en la cual prevalecen condiciones de menos salinidad y mayores temperaturas de las aguas y otra seca y templada con condiciones de mayor salinidad y menores temperaturas de las aguas tal como los reportados por Seisdedo, 2007. La relación significativas entre niveles de oxígenos disueltos obtenidos en los periodos analizados puede estar asociado a la relación inversa que existe entre la temperatura y la salinidad, con el oxígeno disuelto (Van Loon y Duffy, 2005).

La salinidad en la mayoría de los países no es regulada debido a las situaciones cambiantes que ocurre en los ecosistemas; por los aportes de agua dulce al medio marino y a las condiciones locales. Por lo tanto, para poder regular estos valores, se deben establecer los parámetros de control de acuerdo a las variaciones locales de cada lugar.

#### 4.1.5. TURBIEDAD

Los valores registrados durante el muestreo en las diferentes estaciones y en ambos periodos osciló entre 1 a 11 NTU., donde el valor más bajo se da en la estación No. 2 en el periodo lluviosa y el más alto en la estación No. 4 en la periodo seca. Los niveles altos de turbiedad registrados fueron causados por las diferentes partículas suspendidas observadas en el agua (tierra, sedimentos y aguas residuales). La tierra llega al agua por la constante movilizaciones en las áreas adyacentes a la Bahía y también por los diferentes procesos de erosión o el escurrimiento de tierras cercanas. La constante afluencia de buques hace que la presencia de sedimentos suspendidos en el agua alteren los valores, como también las descargas de aguas residuales que sin control alguno se vierten a la bahía.

#### 4.1.6. DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGENO (DBO<sub>5</sub>)

La DBO<sub>5</sub> registró valores entre 0.3 y 2.5 mg/l. Los valores más bajos se presentan en la estación No. 1, tanto en la estación lluviosa como en la seca, cuyo valor es de 0.3 mg/l (Fig. 5).

Generalmente, cuando los niveles de DBO son altos, hay una reducción en los niveles de OD. Esto sucede debido a que la demanda de oxígeno por parte de las bacterias es alta y ellas están tomando el oxígeno disuelto en el agua. Si no hay materia orgánica en el agua, no habrá muchas bacterias presentes para descomponerla y, por ende, la DBO tenderá a ser menor y el nivel de OD tenderá a ser más alto (tabla 5).

Cabe señalar, que los valores obtenidos de DBO casi en su totalidad son aceptables, encontrándose dentro del rango normal. En algunos lugares de muestreo se presentan valores elevados, tal es el caso del periodo seco y del lluvioso, en la estación No. 4, también se obtienen valores elevados a lo largo del muestreo. Es decir, este punto se encuentra influenciado por diversos factores como movimiento de tierra, aporte de efluentes desde las comunidades adyacentes y de los diferentes proyectos en construcción cercanos al área de estudio.

Los valores DBO<sub>5</sub> observados en los puertos internacionales como el Puerto de Guayaquil oscilaron entre 1.58 mg/L y 1.75 mg/L obteniendo un promedio de 1.69 mg/L estando conforme con el Anteproyecto de Normas de Calidad de agua Marinas y Costeras de Panamá ya que se encuentra por debajo de 2 mg/L Se puede observar que

el DBO<sub>5</sub> en este puerto es menor que el de la Bahía de Manzanillo en Panamá (Corro y Huertas, 2011). Los valores registrados de DBO<sub>5</sub> se encuentran en ambos períodos de muestreo por debajo de los valores establecidos en las normas de Chile, México y la India; y ligeramente por encima a la norma establecida en Bolivia que establece valores menores a los 2 mg/L.

En general, se puede observar que al disminuir la DBO<sub>5</sub>, el OD aumenta, lo cual concuerda con distintos autores que sustentan la teoría del Modelo de Streeter-Phelps, que cuando aumenta la DBO<sub>5</sub> el OD disminuye tal como también lo sustenta en sus estudios Corbitt (2003), Kiely (1999) y Mielcic (2001) entre otros.

Los resultados de los indicadores de pH y DBO<sub>5</sub>, no muestran el mismo comportamiento. Esto puede deberse al incremento de los aportes de nutrientes y materia orgánica asociados a las escorrentías en el periodo lluvioso de acuerdo los resultados reportados por Seisdedo et al, 2004.

#### 4.1.7. SÓLIDOS TOTALES (ST)

En el promedio durante el muestreo de los valores de Sólidos Totales (ST) oscilaron entre 9816 y 39446 mg/L, presentando el valor más alto en la estación No. 1 y el más bajo en la estación No. 3. Cabe señalar, que todos estos valores se obtuvieron en el periodo lluvioso. En aguas naturales, en particular las marinas, el contenido de sólidos totales está relacionado directamente con la salinidad (Lopez, et, al. 2009)

En la Fig. 6, nos muestra una gran concentración de sólidos totales provocando a su vez una disminución del OD, esto se debe a que una mayor cantidad de sólidos totales le proporciona al cuerpo de agua una mayor turbidez, impidiendo así el paso de la luz y disminuyendo la tasa fotosintética, lo que se ve reflejado directamente sobre la cantidad de oxígeno disuelto (Villarreal, 2009).

## 4.2. PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS

### 4.2.1. COLIFORMES TOTALES Y FECALES

La presencia de bacterias coliformes totales en el suministro de agua es un indicio de que el agua puede estar contaminada con aguas negras u otro tipo de desechos en descomposición. Generalmente, las bacterias coliformes se encuentran en mayor abundancia en la capa superficial del agua o en los sedimentos del fondo.

En la estación seca se presentan valores que oscilan entre  $2.1 \times 10^3$  a  $4.2 \times 10^3$  UFC, mientras que en la estación lluviosa se presentan valores que oscilan entre  $1.7 \times 10^3$  y  $3.7 \times 10^3$  UFC. El valor más alto obtenido se registra en la estación No. 1 en la estación seca y el más bajo se presenta en la estación No. 5 durante la estación lluviosa. Mientras que los valores para C.T del puerto internacional de Morelos oscila entre  $5.0 \times 10^3$  y  $64 \times 10^3$  UFC con un promedio de  $33 \times 10^3$  UFC muy por encima de lo encontrado en La Bahía de Manzanillo en ambas investigaciones.

Es el grupo más empleado como indicador de contaminación fecal en los criterios de calidad microbiológica, tanto para aguas de baño como para aguas de cultivo de moluscos. (Ruiz Mateo *et al.*, 1994)

Shiaris et al., señalaron que en un área costera impactada por descargas de aguas de alcantarillado y lluvia, los recuentos de coliformes fecales fueron de 2 a 4 órdenes de magnitud mayores en sedimentos que en la columna del agua.

Estas condiciones son atribuibles a que los asentamientos humanos en esas zonas por lo general no cuentan con plantas de tratamiento de aguas residuales, y éstas se vierten directamente al mar, indicando que el desarrollo urbano, más el turismo intervienen como fuente de contaminación de estas áreas. Los complejos turísticos, una



vez en funcionamiento y en ausencia de control, tienen efectos sobre el medio a través de descargas de aguas negras y otros contaminantes.

Los registros de coliformes totales y fecales obtenidos durante las dos periodos de muestreo registraron valores más altos que los establecidos en las normas internacionales consultadas, con la excepción de los datos obtenidos en la estación seca, cuyos valores registraron índices más bajos que los establecidos en las normas antes mencionadas. Cabe mencionar, que los límites establecidos por estos países están basados en el tipo de uso del recurso. Como se puede observar, algunos países coinciden en el límite máximo permisible para los coliformes totales y fecales (1,000 UFC/100 ml) como es el caso de Bolivia, Chile y el estado de la Florida. Por otro lado, Colombia establece un límite de 5,000 UFC/100 ml para aquellas aguas con fines recreativos de contacto secundario y de 1,000 UFC para las aguas con fines recreativos con contacto primario. Los límites permisibles más bajos se registran en Puerto Rico, Venezuela, entre otros.

## CONCLUSIÓN

La variabilidad de los parámetros fisicoquímicos de las aguas en las Bahías de Manzanillo se encuentra relacionada con la influencia del ríos Forkl, el transporte marítimo, la descarga de aguas residuales y las actividades antrópicas, es por esto que las estaciones adyacentes a estos sectores generalmente muestran aguas turbias, dando a su vez el más amplio rango de variación en las concentraciones de parámetros fisicoquímicos tales como: salinidad, oxígeno disuelto y demanda bioquímica de oxígeno, entre otros. En este ámbito, el oxígeno disuelto (OD) es uno de los parámetros que controla la presencia o ausencia de especies en los ecosistemas estuarinos y costeros.

La calidad del agua en cada una de las áreas de la Bahía no evidencia graves problemas de contaminación, tanto a nivel de línea costera como en la parte externa de la misma, probablemente por la dinámica de las corrientes y por el poder de dilución y depuración del agua de mar; no obstante, se debe considerar que con el tiempo y existiendo descarga residuales muy puntuales y permanentes se podría estar provocando una contaminación mucho más severa.

Después de haber analizado este estudio y haberlo comparado con diversos estudios realizados en otros puertos internacionales y compararlo con el Anteproyecto de Ley de Calidad de las aguas Marinas y Costeras de Panamá, y considerando que los puertos generan una gran cantidad de contaminación, podemos decir que las aguas de la Bahía de Manzanillo aún son aptas para la utilización y desarrollo portuario del país ya que los valores obtenidos en este estudio se encuentran por debajo de los valores máximos permisibles establecidos en el Anteproyecto de Ley Marino y Costero de Panamá a excepción de los valores para Coliformes totales y fecales los cuales se encuentran un orden de magnitud por encima de los valores establecidos en el Anteproyecto de Ley Marino y Costero de Panamá; y en comparación con los otros tres puertos internacionales este cuenta con las mejores características en cuanto a calidad del agua a pesar de ser una zona que recibe una gran cantidad de contaminantes provenientes del deficiente sistema de tratamientos de agua de la ciudad de Colón y de la aportación de desperdicios producidos por la actividades de los puertos cercanos a la región de estudio lo que aumenta el número de Coliformes totales y fecales en la región pero al compararlo con los puertos internacionales aún la Bahía de Manzanillo cuenta con valores más bajo que los otros puertos.

El análisis de los resultados sugiere que algunas zonas tales como las adyacentes a los sitios de muestreos 1, 2, y 3 no son aguas aptas para entrar en pleno contacto con los seres humanos. Es decir, que existan restricciones para el desarrollo de actividades de deportes acuáticos, balnearios, y el turismo en general que requiera contacto directo con las aguas marinas y costeras, lo cual limita las posibilidades de desarrollo económico de estas zonas por la vía del turismo denominado de sol, arena y mar, debido a que el área es adecuada para el desarrollo de las actividades relacionada con las industrias marítimas y portuarias como también para el desarrollo comercial.

Los resultados de este estudio pueden ser considerados como pautas iniciales para que sean tomados en cuenta en lineamientos para establecer un el Sistema Integrado de control de calidad de las aguas en el sector marítimo-portuarios de la Bahía de Manzanillo, resultando una herramienta de gran ayuda en la toma de decisiones y en gestión del entorno marítimo-portuario al permitir entre otras, poner en marcha actuaciones de emergencia y las correspondientes a los Planes de Contingencia.

## **AGRADECIMIENTO**

Los autores agradecen a el Servicio Aéreo Naval de Panamá, Autoridad Portuaria de Panamá, Laboratorio de Ingeniería Sanitaria de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Tecnológica de Panamá y a la Secretaria Nacional de Ciencia y Tecnología e Innovación por su valiosa colaboración y participación en las diversas campañas de muestreos y análisis de muestras de algunos parámetros ambientales como también el financiamiento de para realizar dicha investigación.

## **BIBLIOGRAFIA**

Ahumada R. 1995. Bahías: áreas de uso múltiple un enfoque holístico del problema de la contaminación. Ciencia y Tecnología del Mar, Número Especial: 59-68.

Alcalá L. Estudio hidroquímico del sector del golfo de Cariaco, Estado Sucre, Venezuela. Universidad de Oriente. Cumaná. 112 pp. 1999.

Anteproyecto de Normas de Calidad de Aguas Marinas y Costeras, 2006. Panamá. USR, Holdings Group, Inc.

American Public Health Association. Standard methods for the examination of water and wastewater. 20<sup>th</sup> ed. New York (U.S.A.). 108-146. 1998.

Casado-Martínez MC, JM Forja & T DelValls. 2007. Direct comparison of amphipod sensitivities to dredge sediments from Spain ports. Chemosphere 68: 677-685.

Corbit, J.R. Manual Ambiental de Referencia de la Ingeniería Ambiental. Mc Graw – Hill. España, 2003.

Grey, A. Estudio Comparativo de la Calidad de las Aguas Costeras Durante el Periodo Seco y Lluvioso en la Bahía de Manzanillo en la Ciudad de Colón, Universidad Tecnológica de Panamá, Panamá, 2007.

Grey, A. Anteproyecto de Tesis Doctoral Modelo para determinar las capacidad de biodegradar hidrocarburos de los microorganismos en una zona portuaria, utilizando como caso de estudio la Bahía de Manzanillo, Panamá, 2011.

Kiely, G. Ingeniería Ambiental: Fundamentos, Entornos, Tecnologías y Sistemas de Gestión. 1<sup>era</sup> Edición. España, Mc Graw – Hill / Interamericana de España.

López J. Caracterización Bacteriológica y fisicoquímica del agua de la zona marino costera de la playa Moreno, Municipio de Maneiro. Universidad de oriente. Boca del Río. Venezuela. 122 pp. 2002.

McCready S, G Spyrakis, CR Greely, GF Birch & ER Long. 2003. Toxicity of surficial sediments from Sydney Harbour and Vicinity, Australia. Environmental Monitoring and Assessment 96(1-3): 53-83.

Mihelcic, J.R. Fundamentos de Ingeniería Ambiental. Limusa Wiley. México D.F, 2001

Morales F. Efectos de algunos parametros ambientales sobre las especies halofíticas de las microalgas del genero unaliella (dunal) Teodoresco, 1905 presente en la salina de Araya, estado Sucre, Venezuela. Universidad de Oriente. Cumaná. 112 pp. 1999.

Rudolph A, R Ahumada & C Pérez. 2002a. Dissolved oxygen content as an index of water quality in San Vicente Bay, Chile (36°45´S). Environmental Monitoring and Assessment 78: 89-2002.

Ruiz Mateo, A.; J. L. Buceta Miller; J. Sierra Antiñolo y A. M. Lloret Capote (1994): Calidad del Medio Litoral. de 1994. Centro de Estudios de Puertos y Costas (CEPYC). Centro de Estudios y experimentación de Obras Publicas (CEDEX). Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente. España.

Seisdedo. M., A. Muñoz. Efectos de las precipitaciones en la calidad ambiental de las aguas de la Bahía de Cienfuegos. Revista Cubana de Meteorología 12(2):64-67. 2005.

Seisdedo, M. Caracterización fisicoquímica de las aguas del litoral oriental de la provincia de Cienfuegos. Cuba. 2007

Shiaris M., Rex A., Pettibone G., Keay K., Mcnamus P., Rex M., Ebersole J., Gallagher E. 53:1756-1761. 1987.

Sokal RR, Rohlf FJ., the principles and practice of statistics in biological reseache. Freeman. San Francisco, EEUU. 776 pp.

Sprovieri M, ML Feo, L Prevedello, DS Manta, S Sammartino, S Tamburrino & E Marsella. 2007. Heavy metals, polycyclic aromatic hydrocarbons and polychlorinated biphenyls in surface sediments of the Naples harbour (southern Italy). Chemosphere 67: 998-1009.

Van Loon, G.W. and S.J. Duffy (2005): environmental chemistry. A global perspective. 2da. Edition, 456 pp.

Villarreal, A. Análisis de las Variables Fisicoquímicos y Biológicas del río Portugal de Piedra, Alto Cauca, Colombia, 2009.

### ***Authorization and Disclaimer***

*Authors authorize LACCEI to publish the paper in the conference proceedings. Neither LACCEI nor the editors are responsible either for the content or for the implications of what is expressed in the paper.*

