

*Albre, una frambra,
toldo, una frambilla...*

Guillermo
de Ockham
Ciencias
exactas y aplicadas



Evaluación de la calidad del agua en la Ciénaga de la Virgen (Cartagena, Colombia) durante el período 2006-2010*

Assessment of water quality of Ciénaga de la Virgen (Cartagena, Colombia) during the period 2006-2010

**Wilson Maldonado
Ildelfonso Baldiris
Jhon Díaz**

Resumen

El establecimiento de un sistema de alerta temprana de contaminación en los recursos hídricos tiene un efecto muy importante en la protección de la calidad del agua. Durante este estudio se realizó un análisis de la calidad del agua en la Ciénaga de la Virgen después de la operación del sistema de marea estabilizada (Bocana). Durante los años 2006-2010 se monitorearon parámetros como DBO_5 , OD, fósforo y coliformes totales. Los resultados muestran que solo el punto 30 cumple con todas las metas establecidas. Sin embargo, el OD estuvo dentro del límite establecido en los cuatro puntos evaluados. Los valores de coliformes totales en los puntos 2 y 7 estuvieron por encima de los límites. En conclusión, es urgente mejorar la gestión de descarga de aguas residuales, la principal fuente contaminante en este cuerpo de agua de estuario.

Palabras clave: Ciénaga de la Virgen, parámetros fisicoquímicos, contaminación microbiológica, Bocana.

Abstract

The establishment of an early warning system of pollution of water resources has a significant effect in the water quality protection. In this work was an analysis of water quality in the Swamp of the Virgin after operation tide system stabilized (Bocana), during the years 2006-2010 were monitored parameters such as BOD5, DO, Phosphorus and Total coliforms. The results show that only the point 30 meets all the goals. However, the DO was within the limit fixed in 4 points evaluated. The of total coliforms concentration in the points 2 and 7 were above the limits. In conclusion, it is urgent to improve the management

• Fecha de recepción del artículo: 13-05-2011 • Fecha de aceptación: 06-09-2011.

WILSON MALDONADO. Químico. Magíster en Química. Doctorando en Toxicología Ambiental. Universidad de Cartagena, Colombia. Investigador Grupo de Investigación GIMCEAD. Unidad de Programas a Distancia (CREAD) de la Universidad de Cartagena. Correo electrónico: wilsonmr908@yahoo.es. **ILDEFONSO BALDIRIS.** Ingeniero Químico. Estudiante Maestría en Desarrollo Sostenible, Universidad de Cartagena, Colombia. Investigador Grupo de Investigación GIMCEAD. Unidad de Programas a Distancia (CREAD) de la Universidad de Cartagena. Correo electrónico: ibaldiris@unicartagena.edu.co. **JHON DÍAZ.** Químico. Magíster en Ingeniería y Tecnología Ambiental. Doctorando en Ciencias de la Educación. Director Grupo de Investigación GIMCEAD. Correo electrónico: j.diaz@unicartagena.edu.co.

* Artículo derivado de la investigación *Simulación dinámica ambiental de la calidad de un cuerpo de agua: Caso Ciénaga de la Virgen. Cartagena*. Financiada por la Universidad de Cartagena. Fecha de aprobación diciembre de 2010.

of wastewater discharge, the main source of pollution in this estuarine water body.

Keywords: *ciénaga de La Virgen, physicochemical parameters, microbiological contamination, Bocana.*

Introducción

Cartagena está rodeada por tres cuerpos de agua, la bahía de Cartagena, la Ciénaga de la Virgen y el mar Caribe, los cuales constituyen un importante recurso natural para las comunidades que habitan la ciudad debido a la realización de diferentes actividades económicas, tales como la pesca, el transporte, el embarque, el turismo y la asimilación de desperdicios¹. Esta última es la principal fuente de contaminación del recurso hídrico por vincular las principales áreas de drenaje en el sistema de alcantarillado de la ciudad (Palacios et ál., 2010). La contaminación se evidencia en la bahía de Cartagena donde se detectaron metales pesados, como el mercurio, en diferentes especies de la cadena trófica que aún pueden encontrarse en este ecosistema estuario (Olivero-Verbel et ál., 2009). No obstante, también se reportó la presencia de parásitos tremátodos (Galván-Borja et ál., 2010) y nemátodos en peces (Olivero, 2011); estos últimos se consideran los más peligrosos porque sus larvas viven tanto en las vísceras como en los tejidos de los peces (Dural et ál., 2011); además, algunas especies pueden producir zoonosis en los seres humanos (Llarena-Reino et ál., 2012).

Debido a ello, se implementaron diferentes programas ambientales con el fin de minimizar los efectos adversos que producen los vertimientos de aguas residuales, principalmente en la Ciénaga de la Virgen (Figura 1). La Ciénaga de la Virgen está ubicada al nororiente de Cartagena (López et ál., 2011) y forma parte de un sistema estuario (Dauvin y Ruellet, 2009; Olivero-Verbel et ál., 2009). El área total de la cuenca de la Ciénaga de la Virgen es de 520 km² y está formada por los

arroyos tributarios que drenan hacia la ciénaga (Lonin, 2001), con una red de drenaje principal constituida por ocho arroyos en la zona rural y por 20 canales en el perímetro urbano de la ciudad para encauzamiento y conducción controlada del drenaje pluvial. Recibe alrededor del 60% de las aguas servidas de la ciudad, las cuales tienen un volumen aproximado de 114.000 m³/día (Beltrán, 2003). Por ser una ciénaga, la capacidad de intercambio de sus aguas es muy reducida, principalmente por el taponamiento periódico del canal que comunicaba con el mar Caribe, lo que ha traído como consecuencia problemas tales como eutrofización, salinidad, muerte de peces, reducción del flujo lagunar y pérdida de su dinámica ambiental (Moor et ál., 2002).

Para el año 2001 la firma Holandesa Royal Haskoning puso en operación el proyecto de la *bocana estabilizada de la Ciénaga de la Virgen* (Moor et ál., 2002), con el fin de recuperar la calidad del agua y el ecosistema. Este proyecto incluyó la construcción de un canal artificial entre la ciénaga y el mar Caribe para permitir un mayor volumen de intercambio de una forma controlada, con el objeto de que el agua del mar diluyera el de la ciénaga y mejorara a corto plazo los niveles de oxigenación y salinidad, permitiendo con ello la recuperación de su capacidad de autorregeneración y de la calidad del agua.

Una vez concluida la fase de construcción y puesta en marcha del proyecto el control y seguimiento de la calidad del agua de la Ciénaga quedó a cargo de la alcaldía de Cartagena por medio del Establecimiento Público Ambiental (EPA) (Moor et ál., 2002). Los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos monitoreados para evaluar la calidad del agua y verificar la efectividad del sistema implementado fueron los siguientes: pH, oxígeno disuelto (OD), demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), demanda química de oxígeno (DQO), sólidos suspendidos totales (SST), amonio, fósforo total, coliformes totales y fecales, entre otros. En

1. Los autores agradecen al Establecimiento Público Ambiental (EPA) de Cartagena de Indias, por sus monitoreos, y a la Corporación Autónoma Regional del Canal del Dique (Cardique) por sus análisis de muestras, que permitieron la utilización de datos fisicoquímicos en el presente artículo. Coinvestigadores: Dra. Karina Caballero Gallardo, MSc. Ciencias Ambientales, Doctorando en Toxicología Ambiental; Ing. José G. Herrera Franco candidato a Magíster en Ciencias Ambientales. Colaboradores: Manuel Fabián Noreña Correa, Psicólogo, Especialista en Teorías y Métodos y Técnicas de Investigación Social, Coordinador de Investigación Formativa, Unidad de Programas a Distancia CREAD-Universidad de Cartagena. Leonardo Cortina y Willington Torres, Matemáticos, Especialistas en Estadística Avanzada, Investigadores del Grupo de Investigación GIMCEAD-Universidad de Cartagena.

la actualidad se monitorean catorce puntos geoposicionados de los cuales nueve están dentro de la ciénaga, dos en caños aledaños, uno en la ciénaga Juan Polo, uno en el mar Caribe y otro en la bahía de Cartagena.

Existen muchos reportes internacionales que muestran el deterioro de los ecosistemas acuáticos debido a los vertimientos que son arrojados diariamente (Wang et ál., 2011; Gómez et ál., 2011; Schiff et ál., 2011; Weirich et ál., 2011), lo que causa la disminución progresiva de su calidad. En Colombia son pocos los estudios que reporten dichos análisis, y menos aún existen reportes históricos que permitan estudiar cómo ha evolucionado la contaminación ambiental. Por su parte, Gavio et ál. (2010) evidenciaron luego de la evaluación de varios parámetros fisicoquímicos y microbiológicos la urgencia de mejorar la gestión de descarga de aguas residuales, la principal fuente contaminante de las aguas costeras en San Andrés.

Ahora bien, el objetivo principal de este artículo es presentar los resultados de la evaluación de la calidad de agua de la Ciénaga de la Virgen. Evaluación que se realizó comparando los valores obtenidos para cada uno de los parámetros estudiados

con respecto a los establecidos como ideales según las metas fijadas al inicio del proyecto, así como con lo que dicta la norma colombiana relacionada con este tipo de aguas (Decreto 1594 de 1984 y del 3930 de 2010).

Puntos de la Ciénaga de la Virgen seleccionados para la muestra

La toma de muestra en el sistema bocana la hace el EPA mensualmente en puntos concretos, para lo cual se utilizan lanchas de pescadores nativos y un geoposicionador satelital (GPS).

Para el estudio se seleccionaron cuatro puntos espaciados en la ciénaga, teniendo en cuenta zonas de alto y bajo impacto antropogénico. (Figura 1). La toma de muestras se realizó una vez al mes durante el desarrollo del proyecto, en las épocas de verano e invierno. El estudio incluyó la caracterización concreta y cuantitativa, sin repetición de muestras. La Tabla 1 muestra los métodos usados para la determinación de las diferentes variables fisicoquímicas y microbiológicas. Todos los análisis fueron desarrollados en el laboratorio de calidad ambiental de la Corporación Autónoma Regional

Figura 1
Área de estudio y estaciones de muestreo en la Ciénaga de la Virgen



Tabla 1
Parámetros y métodos utilizados en los análisis

Parámetro	Método
pH	Método Potenciométrico – SM 4500-H+.
Oxígeno disuelto (OD)	Método Electrodo de membrana, SM 4500-O G.
Demanda Bioquímica de Oxígeno(DBO ₅)	Método Incubación 5 días Electrodo membrana - SM 5210 B.
Demanda Química de Oxígeno(DQO)	Método refluo abierto titulométrico SM 5220 B disuelto.
Sólidos Suspendedos Totales	Método Gravimétrico - SM 2540D
Amonio	Método Destilación Titulométrico - SM 4500-NH3 C.
Fósforo total	Método – Acido ascórbico, SM 4500-P B y E.
Coliformes fecales y Coliformes totales	Método Tubos múltiples - Sustrato enzimático, SM 9223 B y Filtración por Membrana - Sustrato enzimático, SM 9222 B.

del Canal del Dique (Cardique), que está acreditado por el Ideam la norma NTC 17025.

Las muestras se tomaron a un metro de profundidad, aproximadamente, en botellas plásticas de muestreo horizontal, de capacidad de 2000 ml, teniendo cuidado de no tomar sedimentos del lecho de la ciénaga.

Para la evaluación periódica de la calidad del agua en la Ciénaga de la Virgen, el EPA de la ciudad de Cartagena (Bolívar) realizó muestreos con una frecuencia aproximada de 30 días, dentro y fuera de este sistema de agua. De acuerdo con la distribución geográfica de la ciénaga, en este estudio fueron tomados 4 puntos (P-4, P-7, P-10 y P-30, Figura 1), con el objeto de realizar una estimación de la calidad del agua entre el 2006 y el 2010.

Procesamiento de las muestras de agua

Las muestras de agua fueron preservadas con ácido sulfúrico (Vanderford et ál., 2003) y otras fueron refrigeradas (dependiendo del parámetro que se iba a medir) hasta llegar al laboratorio de Cardique, donde fueron realizados los respectivos análisis.

Determinación de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos en las muestras de agua

Se realizaron diferentes análisis fisicoquímicos y microbiológicos a cada una de las muestras obtenidas (Tabla 1). Todas las determinaciones fueron desarrolladas teniendo en cuenta las reco-

mendaciones establecidas para el análisis de aguas en el manual de métodos estándar para el análisis de agua y aguas residuales (*Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 20 th, 1998*). Los parámetros analizados en este estudio fueron DBO₅, OD, coliformes totales y fósforo total, los cuales son críticos en la estimación de la calidad del agua (Montelongo et ál., 2008).

Análisis de datos

Los resultados de cada uno de los parámetros evaluados son presentados como la media \pm error estándar (SEM) para los diferentes puntos de muestreo, de todas las determinaciones por año (2006, 2007, 2008, 2009 y 2010). Las pruebas de Kolmogorov-Smirnov y Bartlett fueron empleadas para determinar normalidad y homogeneidad de varianzas, respectivamente; en ausencia de éstas, los datos fueron transformados a su logaritmo. Para todos los análisis estadísticos el criterio de significancia fue establecido a un valor de $P < 0.05$ (Walpole et ál., 2001).

Resultados y discusión

Los datos obtenidos por la EPA durante el período comprendido entre los años 2006-2010 en los cuatro puntos analizados (P-2, P-7, P-10, y P-30) se muestran en la Tabla 2. Estos resultados fueron comparados con las metas establecidas para DBO₅, OD, fósforo y coliformes totales (Tabla 3) con el fin de establecer la efectividad del sistema *bocana estabilizada de la Ciénaga de la Virgen*.

Tabla 2

Resultados de los parámetros analizados en los cuatro puntos de muestreo en la Ciénaga de la Virgen

Parámetros	Año	n*	P-2	P-7	P-10	P-30
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅) (mg/L)	2006	12	10.4 ± 2.1	10.1 ± 2.1	6.5 ± 1.0	4.4 ± 0.9
	2007	9	16.9 ± 6.3	9.7 ± 1.3	8.3 ± 1.2	5.4 ± 1.2
	2008	5	21.1 ± 7.1	9.4 ± 1.5	7.7 ± 1.6	4.2 ± 1.0
	2009	4	9.8 ± 0.8	10.3 ± 2.8	9.3 ± 1.7	6.1 ± 3.1
	2010	4	6.9 ± 1.3	10.4 ± 1.1	15.0 ± 2.7	2.8 ± 1.4
Oxígeno disuelto (mg/L)	2006	-	-	-	-	-
	2007	9	4.2 ± 1.1	7.5 ± 0.6	6.9 ± 0.4	6.7 ± 0.3
	2008	5	2.1 ± 0.6	4.2 ± 0.8	3.9 ± 0.5	4.1 ± 0.7
	2009	4	5.9 ± 0.7	4.2 ± 0.6	6.1 ± 0.7	5.0 ± 0.4
	2010	4	5.8 ± 1.1	6.8 ± 1.1	6.6 ± 1.1	5.0 ± 0.5
Fósforo (mg/L)	2006	12	0.4 ± 0.1	0.3 ± 0.1	0.2 ± 0.04	0.2 ± 0.04
	2007	9	0.5 ± 0.1	0.5 ± 0.1	0.4 ± 0.03	0.4 ± 0.03
	2008	5	0.6 ± 0.2	0.4 ± 0.1	0.3 ± 0.1	0.2 ± 0.1
	2009	4	0.3 ± 0.1	0.5 ± 0.2	0.2 ± 0.02	0.2 ± 0.1
	2010	4	0.2 ± 0.1	0.6 ± 0.1	0.3 ± 0.1	0.2 ± 0.1
Coliformes totales (NMP/100mL)	2006	12	320.400	21.507	17	71
	2007	9	557.444	167.100	54.3	293.7
	2008	5	584.280	71.800	3.5	6.2
	2009	4	73.615	18.825	5.5	179
	2010	3	54.170	9.800	1.8	26.5

*n: Número de meses por año.

Tabla 3Metas de las propiedades fisicoquímicas del agua relacionadas con el proyecto *bocana estabilizada de la Ciénaga de la Virgen*

Parámetro	Valor
Coliformes Totales	5.000 NMP/100mL
DBO ₅	<6 mg/L
Oxígeno Disuelto	>4 mg/L
Fósforo	< 0.3 mg/L

Como puede observarse en la Tabla 2, después de la operación de la bocana es notable la disminución de algunos de los indicadores. El punto P-30 cumple con la meta establecida para la mayoría de los años y parámetros analizados; no obstante, el DBO₅ del punto P-2, sólo se acerca a la meta (6.9 ± 1.3 mg/L) en el año 2010 y el punto P-10, en el año 2006 (6.5 ± 1.0 mg/L), aproximadamente seis años después de haber iniciado la operación de la bocana. Se debe resaltar que hasta la fecha no se ha cumplido con la meta en este punto; consecuencia, quizá, de la ubicación de este punto en zonas donde hay descarga directa de aguas residuales, por lo que han disminuido, pero los coliformes no se mantienen por debajo de 6 mg/L.

Por otra parte, el valor promedio anual para el oxígeno disuelto estuvo dentro de los parámetros establecidos por la norma para todos los años

(2006-2010) monitoreados en este estudio (>0.4 mg/L). Sin embargo, para el fósforo total sólo se ha cumplido para los puntos P-10 y P-30 (<0.3 mg/L), excepto para el año 2007. De todas maneras, este es uno de los parámetros que más ha disminuido luego de la operación de la bocana.

Una de las metas del proyecto era que los coliformes totales se mantuvieran por debajo de 5.000 NMP/100mL (Decreto 1594/84) en el interior de la Ciénaga de la Virgen; esta meta sólo se alcanzó en los puntos P-10 y P-30, lo que sorprende si se tiene en cuenta que el P-10 se encuentra en el interior de la ciénaga.

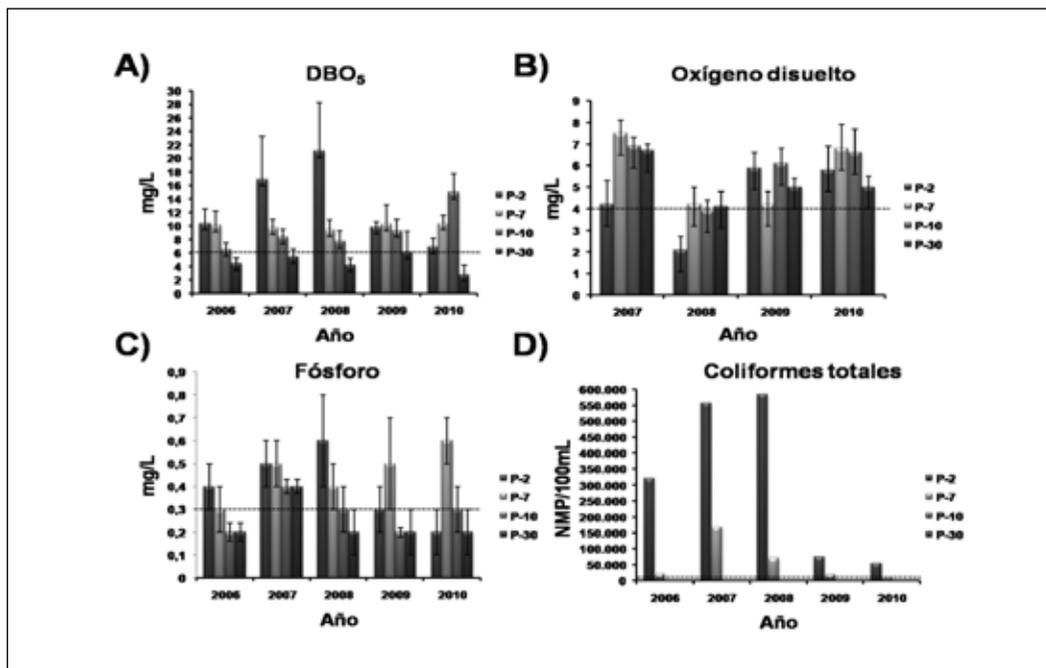
Los resultados del monitoreo para cada uno de los meses evaluados durante el período 2006-2010 son presentados en la Tabla 4. Esta información revela que las metas se cumplieron en muchos de

Tabla 4
Resultados del monitoreo mensual para cada uno de los parámetros evaluados en los cuatro puntos seleccionados durante los años 2006-2010.

Mes-Año	Parámetros fisicoquímicos												Parámetros microbiológicos			
	DBO ₅				Oxígeno disuelto				Fósforo				Coliformes totales			
	P-2	P-7	P-10	P-30	P-2	P-7	P-10	P-30	P-2	P-7	P-10	P-30	P-2	P-7	P-10	P-30
Ene-06	4.7	0.0	2.4	3.1	-	-	-	-	0.9	0.3	0.2	0.2	2400000	3	9	36
Feb-06	9.2	2.3	1.2	0.0	-	-	-	-	0.5	0.2	0.1	0.1	460000	930	9.1	0
Mar-06	4.4	4.5	5.3	6.2	0.2	8.9	7.1	6.5	0.6	0.3	0.2	0.2	93000	9100	3	36
Abr-06	8.3	8.0	8.0	1.1	1.2	9.2	7.1	6.9	0.2	0.3	0.1	0.0	240000	93000	3	3
May-06	3.4	31.1	9.9	5.9	1.8	9.2	7.1	6.5	0.1	0.0	0.1	0.0	2400	43	9.1	9.1
Jun-06	6.8	3.7	8.0	7.5	7.2	8.2	8.2	7.9	0.6	0.3	0.3	0.3	2400	3	3.6	3.6
Jul-06	9.0	6.2	8.6	7.2	8.3	8.6	8.3	8.1	0.4	0.2	0.4	0.4	15000	280	0	460
Ago-06	17.2	14.1	10.1	8.6	7.0	7.7	8.0	7.3	0.6	0.4	0.2	0.3	150000	530	0	0
Sep-06	6.4	13.7	2.7	5.4	0.8	5.8	6.0	5.9	0.2	0.9	0.0	0.2	29000	43000	36	93
Oct-06	9.6	10.5	6.2	0.0	5.9	5.5	5.4	5.3	0.4	0.3	0.2	0.0	150000	93000	91	93
Nov-06	18.7	17.4	12.0	0.8	-	-	-	-	0.5	0.3	0.4	0.2	93000	9100	3	43
Dic-06	27.5	9.9	3.8	6.8	5.2	4.9	5.0	5.7	0.3	0.2	0.2	0.3	210000	9100	3	3.6
Mar-07	7.4	10.0	11.1	6.6	-	-	-	-	0.0	0.2	0.5	0.3	430000	0	9.1	3.6
Feb-08	-	-	-	-	0.3	1.5	3.7	5.8	-	-	-	-	-	-	-	-
Abr-07	3.0	14.4	9.9	7.2	0.8	4.9	4.3	5.2	0.2	1.1	0.3	0.4	240000	24000	3.6	36
May-07	6.5	15.5	6.1	11.1	-	-	-	-	0.4	0.8	0.5	0.5	43000	15000	7.3	39
Jun-07	23.2	12.1	12.0	6.8	2.7	3.2	2.2	2.0	1.0	0.5	0.4	0.5	11000	9300	9.1	210
Jul-07	13.3	8.2	10.7	7.7	3.6	5.2	4.6	3.5	0.7	0.3	0.4	0.3	1100000	21000	0	91
Ago-07	17.7	2.6	5.5	4.6	-	-	-	-	0.6	0.2	0.5	0.3	290000	240000	240	230
Sep-07	64.7	7.5	11.2	0.0	3.1	6.2	4.9	4.0	0.9	0.3	0.3	0.5	2400000	3600	9.2	1100
Oct-07	6.9	6.7	1.7	4.4	-	-	-	-	0.2	0.3	0.3	0.4	43000	1100000	210	930
Dic-07	9.3	10.6	6.1	0.0	-	-	-	-	0.5	0.5	0.6	0.3	460000	91000	0	3.6
Feb-08	30.6	7.3	5.0	0.9	-	-	-	-	0.6	0.6	0.2	0.1	240000	22000	1.7	12
Abr-08	42.6	14.3	6.5	6.9	-	-	-	-	1.3	0.9	0.7	0.4	270000	170000	2	2
Jun-08	1.3	6.4	13.6	3.7	-	-	-	-	0.0	0.0	0.2	0.0	2400	130000	2	2
Jul-08	18.3	11.0	8.6	4.9	-	-	-	-	0.6	0.3	0.1	0.1	9000	30000	8	13
Sep-08	12.8	7.9	4.6	4.9	-	-	-	-	0.6	0.3	0.2	0.1	2400000	7000	4	2
Feb-09	10.9	18.3	4.8	1.4	5.8	4.6	5.8	6.0	0.6	0.6	0.2	0.1	240000	22000	1.7	12
Sep-09	7.7	5.4	13.1	14.3	4.7	2.3	4.9	5.6	0.2	0.2	0.2	0.3	1.8	1300	11	1.8
Nov-09	11.2	9.7	10.0	7.2	5.1	4.9	5.8	4.1	0.3	0.1	0.1	0.2	54000	28000	6.8	700
Dic-09	9.3	7.8	9.2	1.3	7.9	4.9	8.1	4.5	0.2	1.2	0.2	0.1	460	24000	1.8	1.8
Feb-10	8.2	7.4	7.6	0.8	2.6	3.8	4.9	6.0	0.6	0.8	0.2	0.3	160000	5400	1.8	1.8
Abr-10	3.1	11.6	16.5	2.4	6.1	9.2	5.5	3.5	0.1	0.8	0.4	0.1	-	-	-	-
May-10	7.7	12.2	20.7	1.4	7.5	7.6	6.2	4.9	0.1	0.6	0.6	0.2	2400	24000	1.8	7.8
Jun-10	8.7	10.4	15.2	6.9	7.0	6.5	9.9	5.5	0.1	0.2	0.2	0.2	110	1.8	1.8	70
PROM	13.2	10.0	8.5	4.6	4.3	6.0	6.0	5.5	0.4	0.4	0.3	0.2	370914.3	67445.2	21.3	128.8
DESV	12.6	5.7	4.4	3.5	2.7	2.3	1.8	1.5	0.3	0.3	0.2	0.1	686598.2	193342	55.116	271.8

Figura 2

Seguimiento de los parámetros significativos en la calidad del agua para los cuatro puntos analizados durante el período 2006-2010:

A) DBO₅, B) Oxígeno disuelto, C) Fósforo, D) Coliformes totales

los meses en cada año. Sin embargo, para el caso del DBO₅ los porcentajes de cumplimiento fueron 18%, 15%, 29% y 59% para los puntos P-2, P-7, P-10 y P-30, respectivamente. Por su parte, para el oxígeno disuelto fueron 55%, 77%, 9% y 14%, en los puntos P-2, P-7, P-10 y P-30, respectivamente. Mientras que para el fósforo los porcentajes observados en estos mismos puntos fueron 41%, 62%, 71% y 79%, respectivamente. Las concentraciones decoliformes totales registraron valores de 21%, 30% 100% y 100%, respectivamente.

La Figura 2 ilustra un comportamiento similar de los cuatro parámetros analizados (DBO₅, OD, fósforo y coliformes totales) entre los años 2006 y 2010. Estos parámetros mejoraron considerablemente en el 2009 con respecto al año 2008. Además, durante el año 2010 se registraron los niveles más bajos para el DBO₅ en el punto P-30 (2006-2010). Los niveles de fósforo en todos los años analizados para los puntos P-10 y P-30 estuvieron dentro de los rangos establecidos, mientras que para el OD en el punto P-2 no se cumplió con el valor establecido como meta (>4 mg/L). Por último, los datos obtenidos en los cuatro puntos relacionados con el análisis de coliformes totales van disminuyendo de manera gradual en

el siguiente orden: P-2 > P-7 > P-30 > P-10, alcanza sus máximos valores en el año 2008, y disminuye drásticamente en los siguientes dos años, lo que evidencia un mejoramiento en la calidad del agua de la Ciénaga de la Virgen con respecto a los valores obtenidos en el 2006, 2007 y 2008.

Conclusiones

El crecimiento demográfico y de industrias en la ciudad de Cartagena y a lo largo de las orillas de la Ciénaga de la Virgen, junto con las descargas de contaminantes, han contribuido considerablemente en la transformación del ecosistema de un estado de equilibrio trófico natural a un estado ecotóxico, en el cual la calidad del sistema hídrico ha sido enormemente impactada de manera negativa (Bendoricchio y De Boniet, 2005).

Aunque la disminución en los indicadores muestra una buena operación del sistema implementado, siguen presentándose algunos inconvenientes generados por los vertimientos que llegan a la Ciénaga de la Virgen. Sin embargo, es posible la asimilación de la carga de materia orgánica proveniente del alcantarillado público de la ciudad de

Cartagena por medio de la *bocana estabilizada de la Ciénaga de la Virgen*.

Por otra parte, a la luz de los decretos 1594 de 1984 y 3930 de 2010, los resultados muestran que solo el punto 30 cumple con todas las metas establecidas. Sin embargo, el OD estuvo dentro del límite establecido en los cuatro puntos evaluados. Los valores de coliformes totales en los puntos 2 y 7 estuvieron por encima de los límites. Por tanto, es urgente mejorar la gestión de descarga de aguas residuales, la principal fuente contaminante en este cuerpo de agua estuario. Además, resulta imprescindible la puesta en marcha de estudios que minimicen los impactos por vertimientos de aguas residuales y que las propuestas presentadas

hasta el momento, como el emisario submarino, no aumenten el desequilibrio de este y otros cuerpos de agua estuarinos de la ciudad de Cartagena (Bolívar).

En síntesis, se considera que es importante profundizar más sobre el estado actual de este cuerpo de agua de vital importancia para la ciudad de Cartagena, por lo cual proponemos que se realicen modelos matemáticos y *software* ajustados con datos experimentales que permitan tener un monitoreo constante y obtener resultados en tiempo real y con un costo menor que los actuales. Esto permitirá la toma de decisiones en una forma más oportuna en procura del mejoramiento de la calidad del agua en la Ciénaga de la Virgen.

Bibliografía

- BELTRÁN, P. (2003). *Bocana estabilizada de marea como proceso aeróbico de autodepuración en la Ciénaga de la Virgen*. <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/agua2003/depu.pdf>. Publicado en la red en el 2003. Consultado el 20 de noviembre de 2010.
- BENDORICCHIO, G.; De BONI, G. (2005). "A water-quality model for the Lagoon of Venice, Italy". *Ecological Modelling*, 184(1), pp. 69-81.
- CLESCERI, L.S.; GREENBERG, A.E.; EATON, A.D. (1998). *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 20th edition. American Public Health Association. Washington, DC.
- DAUVIN, J.C.; RUELLET, T. (2009). "The estuarine quality paradox: Is it possible to define an ecological quality status for specific modified and naturally stressed estuarine ecosystems?". *Marine pollution bulletin*, 59(1-3), pp. 38-47.
- DURAL, M.; GENÇ, E.; SANGUN, M.; GÜNER, O. (2011). "Accumulation of some heavy metals in *Hysterothylacium aduncum* (Nematoda) and its host sea bream, *Sparus aurata* (Sparidae) from North-Eastern Mediterranean Sea (Iskenderun Bay)". *Environmental Monitoring and Assessment*, 174(1-3), pp.147-155.
- GALVÁN-BORJA, D.; OLIVERO-VERBEL, J.; BARRIOS-GARCÍA, L. (2010). "Occurrence of *Ascocotyle (Phagicola) longa* Ransom, 1920 (Digenea: Heterophyidae) in *Mugilincilis* from Cartagena Bay". *Veterinary of Parasitology*, 168(1-2), pp. 31-35.
- GAVIO, B.; PALMER-CANTILLO, S.; MANCERA, E. (2010). "Historical analysis (2000-2005) of the coastal water quality in San Andrés Island, Sea Flower Biosphere Reserve, Caribbean Colombia". *Marine Pollution Bulletin*, 60, pp. 1018-1030.
- GÓMEZ, L.S.C.; PERIGÓ, E.; PIÑEIRO, R.; SOMOZA, R.D. (2011). "Pollution in the estuary of the Baracoa river, La Habana, Cuba". *Ambi-Agua, Taubaté*, 6(1), pp. 54-64.
- LLARENA-REINO, M.; GONZÁLEZ, A.; VELLO, C.; OUTEIRIÑO, L.; PASCUAL, S. (2012). "The accuracy of visual inspection for preventing risk of *Anisakis* spp. infection in unprocessed fish". *Food Control*, 23(1), pp. 54-58.
- LONIN, S. (2001). "Water quality modelling for the ecosystem of the Ciénaga de Tesca coastal lagoon". *Ecological Modelling*, 144(2-3), pp. 279-293.

- LÓPEZ, A.; MANJARREZ, G.; HERRERA, L.; MONTES, A.; OLASCUAGA, Y.; ORTEGA, R. (2011). “*Aislamiento de Vibrio spp. en ostras (Crassostrea rhizophorea) capturadas en la Ciénaga de la Virgen*”. *Cienciactual*, 1(1), pp. 25-30.
- MONTELONGO, R.; GORDILLO, A.; OTAZO, E.; VILLAGÓMEZ, J.; ACEVEDO, O.; PRIETO, F. (2008). “*Modeling of the quality of water of River Tula, State of Hidalgo, Mexico*”. *DYNA. Revista de la Facultad de Minas*, 75(154), pp. 1-15.
- MOOR, R.; VAN MAREN, M.; VAN LAARHOVEN, C. (2002). *A Controlled Stable Tidal Inlet at Cartagena de Indias, Colombia*. http://www.terra-et-aqua.com/dmdocuments/Terra-et-Aqua_nr88_01.pdf. Publicado en la red en Septiembre 2002. Consultado el 25 de noviembre de 2010.
- OLIVERO-VERBEL, J.; CABALLERO-GALLARDO, K.; TORRES-FUENTES, N. (2009). “*Assessment of mercury in muscle of fish from Cartagena Bay, a tropical estuary at the north of Colombia*”. *International Journal of Environmental Health Research*, 19(5), pp. 343-355.
- PALACIOS, F.; VILLASOL, A.; CHABALINA, L.; GARCÍA, E.; GARCÍA, O., TOSIC, M.; PÉREZ, M.; MORALES, C. (2010). *Análisis de línea base sobre el manejo de las aguas residuales domésticas en la región del gran Caribe*. <http://www.cep.unep.org/meetings-events/lbs-regional-experts-workshop/linea-base-aguas-residuales-dome301sticas.pdf>. Publicado en la red en Septiembre 2010. Consultado el 14 de enero de 2011.
- SCHIFF, K.; LUK, B.; GREGORIO, D.; GRUBER, E. (2011). *Assessing water quality in Marine Protected Areas from Southern California, USA*. *Marine Pollution Bulletin*, 62(12), pp. 2780-2786.
- VERBEL, J.; CABALLERO-GALLARDO, K.; ARROYO-SALGADO, B. (2011). “*Nematode infection in fish from Cartagena Bay, North of Colombia*”. *Veterinary of Parasitology*, 177(1-2), pp. 119-126.
- WALPOLE, R.; MYERS, R.; MYERS, S.; YE, K. (2002). *Probability and Statistics for Engineers and Scientists*. 7 ed. Prentice Hall. p. 528. ISBN-10: 0130415294.
- WANG, B.; XIE, L.; SUN, X. (2011). *Water Quality in Marginal Seas off China in the Last Two Decades*. *International Journal of Oceanography*, ID 731828, doi:10.1155/2011/731828, pp. 1-6.
- WEIRICH, S.; SILVERSTEIN, J.; RAJAGOPALAN, B. (2011). *Effect of average flow and capacity utilization on effluent water quality from US municipal wastewater treatment facilities*. *Water Research*, 45(14), pp. 4279-4286.

