

ANÁLISIS DE LA VARIACIÓN EN LA CALIDAD DEL AGUA EN LA BAHÍA DE BARBACOAS-CARTAGENA DURANTE EL PERIODO 2001-2014

ANALYSIS OF WATER QUALITY VARIATION IN BARBACOAS BAY - CARTAGENA DURING THE PERIOD 2001-2014

Juan C. Acosta*¹, Ildefonso Baldiris², Hanes P. Pacheco³

Recibido para publicación: 3 de marzo 2015 - Aceptado para publicación: 12 de abril 2015

RESUMEN

La polución de los cuerpos de agua del Caribe Colombiano es uno de los principales problemas ambientales a nivel nacional. La preservación de los recursos hídricos es de suma importancia y cuidado debido a la riqueza natural en flora, fauna y escenarios presente en estos, además por su influencia directa en la salud humana. En este contexto, la bahía de Barbacoas es afectada directamente por los caños Lequerica y Matunilla los cuales son desembocaduras del canal del Dique que traen consigo una alta carga de sólidos, materia orgánica y residuos tóxicos disueltos resultante del largo recorrido del río Magdalena en el territorio colombiano. El objetivo de este estudio fue realizar un análisis estadístico riguroso de la variación de la calidad del agua la bahía de Barbacoas y evaluar el cumplimiento de la normatividad colombiana para estos cuerpos de agua. Los parámetros pH, salinidad, oxígeno disuelto (OD), sólidos suspendidos totales (SST), nitratos (NO_3^-), amonio (NH_4^+), fósforo total (P), coliformes totales (CTT), demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5) y temperatura han sido medidos durante 14 años en esta Bahía por la Corporación Autónoma Regional del Canal del Dique. Los resultados señalan que se presentó incumplimiento de la normatividad colombiana para el 50% de los parámetros analizados tanto en invierno como en verano en los puntos de muestreo. Preocupan el comportamiento del fósforo total que tiene valores de un cuerpo de agua eutrofizado, la salinidad es muy baja para la supervivencia de las especies de coral, los sólidos disueltos altos que conllevan a sedimentación con desmejoramiento de corales y los coliformes totales que afectan la salud en general de los habitantes de la bahía. Todos estos resultados evidencian que la bahía de Barbacoas es una amenaza real para los arrecifes de coral del Parque Nacional Natural Corales del Rosario.

Palabras clave: Barbacoas, análisis fisicoquímico, canal del dique

¹Mg. Estadística Aplicada. Docente Fundación Universitaria Tecnológico Comfenalco, Cartagena, Colombia, jacosta@tecnologicocomfenalco.edu.co.

²Ingeniero Químico. Docente Fundación Universitaria Tecnológico Comfenalco, Cartagena, Colombia. ibaldiris@tecnocomfenalco.edu.co

³Tecnóloga en Control de Calidad. Semillero de Investigación Qualitat, Fundación Universitaria Tecnológico Comfenalco, Cartagena, Colombia. hanes_74@hotmail.com.

ABSTRACT

Pollution of water resources of the Colombian Caribbean is one of the main national environmental problems. The preservation of water bodies is of great importance because of the natural wealth of flora and fauna present in these and also for its direct influence on human health. In this context, the Barbacoas Bay is directly affected by the Lequerica and Matunilla channels which are mouths of the Canal del Dique that bring a high load of solids, organic matter and toxic waste dissolved resulting from the long journey of the Magdalena River in the Colombian territory. The pH, salinity, dissolved oxygen (OD), total suspended solids (SST), nitrates (NO_3^-), ammonium (NH_4^+), total phosphorus (P), total coliforms (CTT), biochemical oxygen demand (DBO_5) and temperature parameters have been measured during 14 years. The results show that 50% of the parameters analyzed are out of the limits set by law in either dry or rainy season. The behavior of total phosphorus is disturbing because of these values correspond to an eutrophic water body, salinity is very low for the survival of coral species, high dissolved solids lead to sedimentation and this to the deterioration of coral and total coliforms that affect overall health of the inhabitants of the bay. All these results lead to the conclusion that the bay of barbacoas is a real threat to the coral reef in Parque Nacional Natural Corales del Rosario.

Key words: Barbacoas, physicochemical analysis, Canal del Dique.

INTRODUCCIÓN

La productividad y sustentabilidad de los ecosistemas costeros, marinos y estuarinos dependen en gran medida de la calidad del agua costera. Se considera que las regiones costeras tienen mayor diversidad que las zonas en mar abierto, sin embargo, estas han sido alteradas con el tiempo debido a los impactos de actividades humanas. La eutrofización y el peligroso crecimiento de algas son los mayores problemas globales que afectan los ambientes costeros, a menudo como resultado de altas cargas de nutrientes. La disminución de la calidad del agua principalmente ocurre por el incremento de la concentración de algunos contaminantes como hidrocarburos, metales pesados, nutrientes y compuestos orgánicos. Las variables como pH, oxígeno disuelto, demanda bioquímica de oxígeno, sólidos suspendidos totales, amonio, nitrato, fósforo total, y coliformes totales son indicadores de salud de los ambientes costeros (Kumar et al. 2015).

La bahía de Barbacoas está ubicada en el Caribe Colombiano en el distrito de Cartagena de Indias, es una Bahía abierta orientada hacia el mar en sentido sur-oeste, delimitada por la orilla norte de la Isla del Covado, nombre que recibe el delta del Canal, continúa por el sector comprendido entre las dos bocas del canal del Dique y sigue por la orilla sur de la Isla de Barú hasta la punta de la misma. Los terrenos están rodeados principalmente de

manglar y de bosque seco bajo, propio de la zona. En la Bahía hay un desarrollo importante de fincas para el cultivo de camarón, ocupando prácticamente toda la porción de la isla dentro de los límites del Distrito, aproximadamente 2000 has., con excepción de los bordes del Canal. Además de esta actividad, son desarrolladas actividades agrícolas, piscícolas y ganaderas, incluyendo las áreas bajas de sedimentación a la orilla del Dique y de los Caños donde existe siembra de arroz (Diagnostico 2001)(Pinilla 2006).

La bahía de Barbacoas es considerada un estuario debido a que allí descargan las aguas dulces provenientes del Canal del dique; este es un canal artificial cuya alineación actual fue establecida en 1952 y fue construido con el propósito de permitir la comunicación fluvial entre el río Magdalena, el sector de Calamar, y la bahía de Cartagena. En 1958 se abrieron las bocas de Lequerica y Matunilla (Figura 1) con el fin de disminuir la carga de sedimentos que llegaban en aquel entonces, a la bahía de Cartagena (Pinilla 2006). Estas, desembocan en la bahía Barbacoas cerca del Parque Nacional Natural Corales del Rosario.

Durante los últimos 15 años el canal del Dique ha descargado aproximadamente 89x106 toneladas de sedimento en la bahía de Barbacoas (Restrepo et al. 2006) (Moreno-Madriñán et al. 2015). En cuanto a la hidrología de la zona, en promedios de largo plazo, el 24% del caudal de este Canal llega

a la bahía de Cartagena por la boca Pasacaballos, el 14% sale por el caño Correa y el 26% llega a bahía Barbacoas distribuido en 21% por la boca Matunilla y el 5% por la boca Lequerica. El 36% restante desemboca por caños menores o queda almacenado en el sistema cenagoso del Canal (Giraldo et al. 2009). A su vez, las descargas de los caños Matunilla y Lequerica traen consigo coliformes totales que son fuente de organismos patógenos causante de enfermedades diarreicas, fiebre tifoidea, etc. (Reder et al. 2015). Los niveles de estos contaminantes son de interés sanitario y sus valores permisibles para diferentes usos del recurso hídrico están estipulados en la legislación colombiana por intermedio de decretos emitidos por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible 2015)(Agricultura 1984).

Por consecuencia, los corales ubicados en áreas cercanas a las descargas de agua dulce pueden sufrir blanqueamiento debido a factores como: exceso de sedimentos, disminución de la salinidad, reducción de los niveles de iluminación producidos por el incremento de la turbidez y a cambios de concentración de clorofila por la entrada de nutrientes (True 2012)(Fabricius & Sea 2005).

En esta investigación fue analizada la variabilidad de la calidad del agua durante el periodo 2001-2014 mediante muestreos semestrales realizados

por la Corporación Autónoma Regional del Canal del Dique de los parámetros: coliformes totales (CTT), oxígeno disuelto (OD), salinidad, pH, demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5), nitratos (NO_3^-), amonio (NH_4^+), temperatura y fósforo (P) (Whitall et al. 2015), en tres puntos de la bahía de Barbacoas afectados por el efecto antropogénico fuerte que la población ejerce sobre ella.

Finalmente, el objetivo principal de este artículo es presentar los resultados de la evaluación de la calidad de agua de la bahía de Barbacoas diferenciando entre épocas secas y lluviosas. Evaluación que fue realizada comparando los valores obtenidos para cada uno de los parámetros estudiados con respecto a los establecidos en la norma Colombiana relacionada con este tipo de aguas (Decreto 1594 de 1984 y Resolución 0631 de 2015). Además de esto, determinar si los efluentes de la bahía de Barbacoas son una posible amenaza para los Arrecifes de coral del Parque Nacional Natural Corales del Rosario de acuerdo con estándares internacionales.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Área de Estudio

La bahía Barbacoas tiene un área aproximada de 120 km² y se encuentra localizada en el litoral Caribe Colombiano, entre las longitudes 75°31' W y 75°43' W y las latitudes 10°07' N y 10°15' N, al sur de la bahía de Cartagena y al este de las Islas del Rosario, tal como se muestra en la Figura 1. (Giraldo et al. 2009)



Figura 1. Mapa de la bahía de Barbacoas

Por su situación geográfica en el área Suroeste del Caribe, el régimen climático de esta región, está bajo la influencia de los desplazamientos Norte - Sur de la Zona de Convergencia Intertropical (Z.C.I.). La zona de Convergencia Intertropical (Z.C.I.), es un cinturón semicontinuo de bajas presiones localizado entre las regiones Subtropicales de los hemisferios Norte y Sur; este cinturón es conocido igualmente como Cresta Ecuatorial, Frente Intertropical y Frente Ecuatorial.

En el área, se identifican dos períodos climáticos principales, llamados Época Seca (verano) y Época Húmeda (invierno). El verano se extiende desde Diciembre hasta Abril, caracterizándose por vientos fuertes del sector Norte - Noreste y lluvias débiles y escasas; en esta época pueden presentarse los denominados "Mares de Leva". Y la época de lluvias que se extiende desde Agosto a Noviembre; se caracteriza por vientos débiles, de orientación variable y por un régimen de lluvias abundantes. (centro de investigaciones oceanograficas e hidrograficas del caribe 2015).

Los puntos de toma de muestra fueron: Isla Barú en bahía de Barbacoas con coordenadas 10°09'18,0" N 75°39'05,3" W, Desembocadura del caño Lequerica coordenadas 10°13'51,5" N 75°32'37,9" W y desembocadura de caño Matunilla con coordenadas 10°09'35,5" N 75°32'52,7" W.

2.2. Procedimiento

Las muestras de agua fueron tomadas a una profundidad de 50 cm según lo establece la normatividad y en cada punto fueron medidos in situ; pH, Salinidad y OD. También fueron tomadas muestras refrigeradas a 4°C para los ensayos de SST, DBO₅ y nitratos, además fueron tomadas muestras preservadas con EDTA para las pruebas de coliformes totales. Para todos los ensayos se siguieron los protocolos establecidos por la APHA (American Public Health Association (APHA), the American Water Works Association (AWWA) 1999) (Maldonado & Baldiris 2011)14.

Para el análisis de pH fue utilizado el método Potenciométrico SM 4500-H+ Multiparámetro – Hach 5465011 Senslon, el oxígeno disuelto fue medido con el mismo equipo utilizando el método SM 4500-O G, para medir DBO₅ fue usado el método Winkler SM 4500-O G, los sólidos fueron medidos por análisis gravimétrico

SM 2540D, para los coliformes fue utilizado el método de tubos múltiples (NMP) SM 9222B, el Multiparámetro – Hach 5465011 Senslon 156 bajo el método SM – 2520-B fue el utilizado para medir la salinidad, para nitratos fue usada la técnica de Reducción de Cadmio, SM 4500-NO₃- E con el espectrofotómetro Varian Cary 100 UV-Vis, la temperatura fue medida con la técnica termométrica SM 2550 B, el método de digestión-colorimétrico – ácido ascórbico SM 4500-P B y E fue usado para analizar fósforo total y para amonio el método de destilación SM 4500-NH₃-C fue el empleado (American Public Health Association (APHA), the American Water Works Association (AWWA) 1999).

En la tabla 1 se presentan los valores admisibles para cada parámetro, estos fueron tomados de la resolución 0631 del 17 de Marzo del año 2015 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, el decreto 1594 del 26 de Junio de 1984 del Ministerio de Agricultura, los cuales estipulan los valores límites permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de agua superficiales; e igualmente se tomaron los valores estipulados en el Manual de cuidados para los Arrecifes de coral del Gran Caribe para el desarrollo y supervivencia de estos (Alvarado et al. 2004).

2.3. Análisis de datos

La data utilizada fue registrada en un archivo de Excel, de donde se migraron y analizaron los datos mediante el software libre R, en su versión 3.2 obteniéndose una matriz de correlaciones y un análisis de varianza ANOVA; mientras que en las figuras del comportamiento de las variables de interés se utilizó el paquete estadístico Statgraphics 17. Además, se presenta un análisis descriptivo y se plantearon test de hipótesis.

Tabla 1. Valores permisibles para los parámetros

Parámetro	Valor límite permisible
P (mg/L)	< 0.003
TEMP (°C)	27 – 30
SAL	33 – 36
SST (mg/L)	≤ 90
OD (mg/L)	≥ 4
DBO ₅ (mg/L)	≤ 3
CTT (NMP)	≤ 5000
NO ₃ ⁻ (mg/L)	≤ 5
pH	6.5 – 8.5
NH ₄ ⁺ (mg/L)	≤ 1

3. RESULTADOS Y DISCUSIONES

3.1. Análisis descriptivo de la bahía de Barbacoas

En la tabla 2 se observan los promedios de los parámetros medidos en el periodo de tiempo comprendido entre los años 2001-2014, y los valores máximos y mínimos registrados en los tres puntos de muestreo de la bahía Barbacoas.

Uno de los requerimientos básicos e indicador por excelencia de la calidad ambiental de un cuerpo hídrico es el nivel de oxígeno disuelto (Markand et al. 2011). En la tabla 2 se puede notar que los promedios para todos los lugares están por encima del valor mínimo permisible de 4 mg/L establecidos por Ministerio de Ambiente en Colombia para indicar las buenas condiciones de un cuerpo de agua. Sin embargo, en invierno se presenta un valor de 3.79 mg/L para la desembocadura del caño Matunilla en el 2007, e igualmente sucede en verano con un valor de 2.88 mg/L para el año 2010. En isla Barú se presenta un valor mínimo de 3.30 mg/L en verano del 2010.

Los Arrecifes coralinos no soportan cambios fuertes en la salinidad; no obstante, se desarrollan mejor bajo salinidades entre 33 a 36 (Alvarado et al. 2004). En la Isla de Barú se registra un intervalo de salinidad de 24.57 ± 13.53 en verano, una variación que perjudica en sobremanera la barrera coralina; esto probablemente se debe a las constantes descargas de agua dulce por parte de los caños, y se le suma los vertimientos de aguas industriales. En invierno, este intervalo disminuye con valores comprendidos entre 15.85 ± 14.6 ; este descenso puede ser consecuencia de las descargas fluviales ocasionadas por altas lluvias aumentando el caudal en el canal del Dique y consigo en los caños Lequerica y Matunilla.

De igual manera, en la tabla 2 se observa que ambas desembocaduras no cumplen con el valor máximo permisible para SST de 90 mg/L en invierno y en verano, e incluso existe alta variabilidad para este parámetro anualmente, tomando valores altos que deterioran el ecosistema coralino debido a la elevada sedimentación concentrada

Tabla 2. Promedio de Parámetros

Parámetros en invierno																			
Site	P (mg/L)			TEMP (°C)			SAL			SST (mg/L)			OD (mg/L)			CTT (NMP)			
	Mean	Max	Min	Mean	Max	Min	Mean	Max	Min	Mean	Max	Min	Mean	Max	Min	Mean	Max	Min	
P ₁	0.14	0.24	0.03	30.03	30.80	29.00	15.85	32.00	0.10	12.73	25.50	5.00	7.41	10.01	5.86	93.42	430.00	1.80	
P ₂	0.20	0.39	0.08	30.25	31.90	28.90	N/A	N/A	N/A	278.14	1060.00	3.00	7.54	7.57	5.52	10378.00	24000.00	390.00	
P ₃	0.22	0.38	0.20	30.29	31.80	29.30	N/A	N/A	N/A	323.52	717.00	144.60	7.42	6.68	3.79	987.00	4600.00	44.00	
Parámetros verano																			
Site	P (mg/L)			TEMP (°C)			SAL			SST (mg/L)			OD (mg/L)			CTT (NMP)			
	Mean	Max	Min	Mean	Max	Min	Mean	Max	Min	Mean	Max	Min	Mean	Max	Min	Mean	Max	Min	
P ₁	0.05	0.12	0.03	29.52	34.30	27.00	24.57	35.00	0.10	52.04	288.00	5.70	6.34	8.18	3.30	5.47	16.00	1.80	
P ₂	0.12	0.30	0.03	29.40	31.40	28.50	N/A	N/A	N/A	136.42	316.00	8.00	6.27	7.59	5.05	2716.67	9300.00	170	
P ₃	0.15	0.29	0.03	30.54	36.00	28.90	N/A	N/A	N/A	189.90	340.00	53.00	4.72	6.50	2.88	33279.00	240000.00	1.80	

N/A: No aplica

en estos lugares que llega a la isla de Barú y ocasiona blanqueamiento en los arrecifes. El valor puntual más alto se registra en la desembocadura del caño Lequerica en el año 2004 con 1060 mg/L en invierno y le sigue la desembocadura del caño Matunilla con 717 mg/L. En la Isla de Barú se encontró con un valor máximo puntual de 288 mg/L en verano del año 2010.

La carga de nutrientes se ha convertido en interés ambiental ya que altos niveles de estos pueden llevar los cuerpos de agua a condiciones indeseadas tales como el crecimiento excesivo de algas, aumento de sólidos y disminución de oxígeno disuelto. En este análisis la media de la concentración de Nitratos (NO_3^-) osciló en la isla de Barú entre 0.12 mg/L en invierno y en verano. En la desembocadura del caño Lequerica se mantuvo entre 0.28 mg/L en verano y 0.20 en invierno. Y por último, en la desembocadura del caño Matunilla se registraron valores para este parámetro entre 0.34 mg/L en invierno y 1.92 mg/L en verano. Es decir, los tres puntos de muestreo cumplen con el parámetro (NO_3^-) en invierno y en verano en el periodo comprendido entre los años 2001-2014.

Los Arrecifes de coral están saludables cuando los niveles de nutrientes son bajos (oligotrófico). Cuando estos son altos, las algas y pastos marinos crecen por encima de los corales, bloquean la luz solar o taponan los pólipos afectando la salud de estos organismos (Costa et al. 2008). Por ello, es necesario realizar monitoreo de la cantidad de nutrientes presenten en el cuerpo de agua, en los cuales los valores de fósforo total debe estar por debajo de 0.003 mg/L (Alvarado et al. 2004) (Gavio et al. 2010). En la tabla 2 se observa que no se cumple con este parámetro en invierno y verano en todos los puntos en el periodo 2001 – 2014.

El amonio es un compuesto nitrogenado inorgánico que es asimilado e inmovilizado por algas, principalmente por cianobacterias; cuando ellas mueren, sus restos se descomponen en el fondo de cuerpos hídricos, trasladando el amonio a los sedimentos. Las consecuencias de la presencia de compuestos nitrogenados en el agua son diversas y hacen que su posterior uso se vea restringido. Los presentes en aguas residuales no solo comprometen la calidad de líquido en la zona de vertimiento sino a toda su cuenca hidrográfica y la región estuarina donde vierte sus aguas, ya que puede alcanzar

niveles tóxicos que alteren la capacidad de los animales para sobrevivir, crecer y reproducirse, e igualmente puede presentar efectos adversos sobre la salud humana por causas indirectas (Cárdenas Calvachi & Sánchez Ortiz 2013). En los tres puntos se registró cumplimiento para este parámetro, con valores máximos de 0.29 mg/L en la desembocadura del caño Lequerica en verano del 2012 y 0.25 mg/L en isla Barú en invierno del año 2006.

La temperatura es uno de los principales factores que regulan la distribución de los Arrecifes coralinos a escala global (Alvarado et al. 2004). Estos, están estrechamente adaptados a las temperaturas normales del agua marina donde habitan los cuales oscilan entre 27°C y 30°C en estos lugares, sin embargo, los cambios en la temperatura local afecta la barrera coralina. En verano se registraron las más altas variaciones de este parámetro en la isla de Barú con intervalo de 29,52°C \pm 3.77°C. Y en la desembocadura del caño Matunilla se registró un valor puntual máximo de 36°C en el año 2010.

El pH se cumplió en las tres estaciones tanto en invierno como en verano. En la isla de Barú se registró un intervalo de 8.21 \pm 0.27 en invierno, y 8.01 \pm 0.50 en verano. En la desembocadura del caño Lequerica el pH osciló entre 7.54 \pm 0.68 en invierno y, 7.68 \pm 0.55 en verano. Finalmente en la desembocadura del caño Matunilla el pH registrado fue de 7.42 \pm 0.32 en invierno y, 7.40 \pm 0.59 en verano.

Por otra parte, los resultados de coliformes totales señalan que la desembocadura del caño Lequerica en invierno supera el estándar fijado de 5000 NMP (Sostenible 1984) en el periodo entre 2001 y 2014 con un valor promedio de 10378 NMP. Los altos niveles de coliformes que se presentan pueden ser producto de las descargas de escorrentía de zonas aledañas (desbordes de aguas negras), en época de altas lluvias. Sin embargo, en la época seca ocurre lo mismo para la desembocadura del caño Matunilla con un promedio elevado de 33279 NMP, inclusive se registró un valor puntual máximo de 240000 NMP en el año 2008, lo que conlleva a pensar que las aguas de actividades industriales, ganaderas y demás son vertidas en estos puntos de agua. A mayor DBO_5 , el oxígeno se agota más rápido, esto significa que menos oxígeno está disponible para formas más complejas de vida acuática. Las

consecuencias de valores de DBO_5 alto son las mismas que estas para bajo oxígeno disuelto: los organismos acuáticos se estresarán, sofocarán y morirán.

3.2. Comportamiento de la demanda bioquímica de oxígeno

Al considerar los tres puntos de muestreo, se plantearon pruebas de hipótesis de que los niveles promedios de DBO_5 no dependen del punto de muestreo, para lo cual se realizó un análisis de varianza ANOVA, considerando como factor el lugar de muestreo con tres niveles: isla Barú, caño Matunilla y caño Lequerica, del cual se obtuvo un estadístico de prueba F con valor 0.94 y con valor P de 0.4096 para el caso de la época de invierno. Análogamente, para la época del verano se encontró un valor P de 0.4034. Por lo tanto, como el valor-P en ambos casos, fue mayor o igual que 0,05, se concluye que no existe una diferencia estadísticamente significativa entre el promedio de DBO_5 (mg/L) entre un lugar y otro, con un nivel del 95% de confianza.

En la figura 2 se muestran diagramas de cajas y bigotes para las estaciones de invierno y verano de los años de estudio, en los que el caño Lequerica presenta mayores valores en ambos casos y por encima de 3 mg/L, violándose la especificación establecida. También se obtuvieron valores atípicos superiores en los tres puntos de muestreo, modelándose una distribución sesgada de los datos, aunque los gráficos de medias ratifican las no diferencias significativas entre los promedios de DBO_5 entre los puntos en donde se

recolectó la información.

En este estudio se encontró que los valores máximos puntuales de DBO_5 superan el límite permisible de 3 mg/L según el decreto 1594. En la desembocadura del caño Lequerica no se cumple con este parámetro con un promedio de 4.48 mg/L en el periodo 2001-2014. Al estudiar la variación de la demanda bioquímica de oxígeno en el transcurrir de los años, se utilizan los plot de serie de tiempo, diferenciándose por estación y por lugar de muestreo. En la figura 3 se observa que para el caso del verano, se presentaron niveles altos del DBO en el año 2002 en los dos caños en donde se recolectó la data, mientras para el año 2012, se violó la especificación en la isla de Barú. De manera similar, para el invierno hubo valores por encima de la norma en ambos caños, y se repite el exceso en el año 2012 en el caño Lequerica. Por otra parte, los resultados de coliformes totales señalan que la desembocadura del caño Lequerica en invierno supera el estándar fijado de 5000 NMP (Sostenible 1984) en el periodo entre 2001 y 2014 con un valor promedio de 10378 NMP. En verano ocurre lo mismo para la desembocadura del caño Matunilla con un promedio elevado de 33279 NMP, inclusive se registró un valor puntual máximo de 240000 NMP en el año 2008. Sin embargo, este valor fue eliminado del gráfico de control como se observa en la figura 3, debido a que a todas las variables se les realizó un análisis exploratorio de sus datos, en el cual se encontró que este era un valor atípico y, esto dificultaba en gran medida su interpretación.

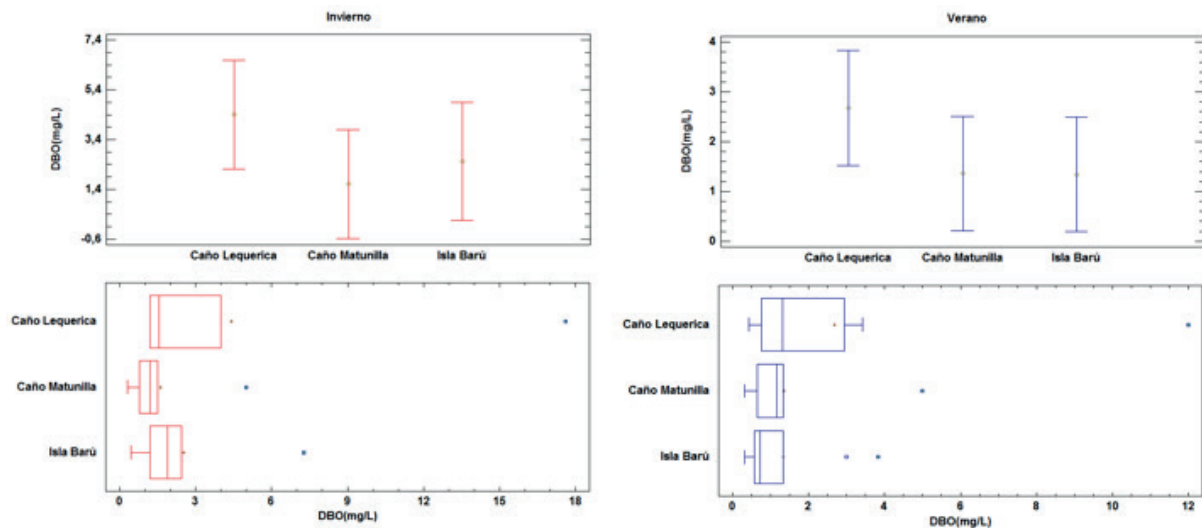


Figura 2. Diagrama de medias y boxplot del DBO_5

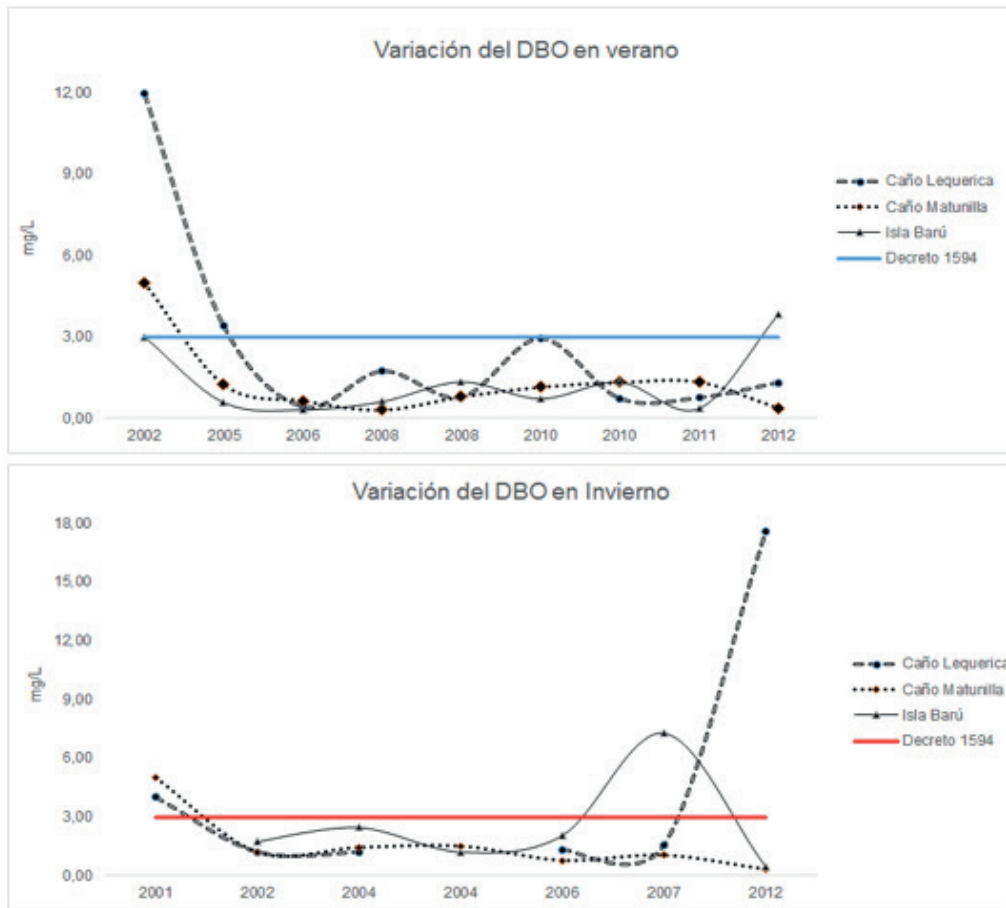


Figura 3. Variación del DBO₅

En la tabla 3 se establecen los coeficientes de Pearson, los cuales buscan establecer la relación entre las variables iniciales del estudio. Entre más cercanos sean los valores a 1 o -1, más fuerte será la relación entre las variables (Walpole et al. 2012)

Para el caso de los meses en donde ocurre el invierno, se obtuvo que la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) tiene relación directa con el pH y la temperatura, mientras que se observa una relación inversa aceptable con el fósforo. Mientras que para los periodos de verano, El DBO₅ presenta una relación aceptable y negativa

Tabla 3. Matriz de correlaciones de Pearson

Invierno	NH4	P	NO3	OD	pH	TEM	SST	SAL	CTT	DBO
NH4	1									
P	0,05	1								
NO3	-0,2	0,35	1							
OD	0,14	-0,4	-0,1	1						
pH	-0,3	-0,7	0,08	0,52	1					
TEM	-0,3	-0,5	0,38	0,08	0,28	1				
SST	0,72	0,22	0,15	-0	-0,6	-0,2	1			
SAL	0,02	-0,2	0,07	-0,2	0,24	0,21	-0,2	1		
CTT	0,24	-0,1	0,41	0,13	-0,3	0,07	0,5	-0,4	1	
DBO	-0,1	-0,4	-0,2	0,24	0,55	0,38	-0,2	0,07	-0,3	1

Verano	NH4	P	NO3	OD	pH	TEM	SST	SAL	CTT	DBO
NH4	1									
P	0,25	1								
NO3	-0,1	-0,2	1							
OD	-0,4	-0,2	-0	1						
pH	0,18	0,09	-0,4	0,4	1					
TEM	-0	-0,2	-0	-0,4	-0,2	1				
SST	0,04	0,55	0,51	-0,6	-0,3	0,48	1			
SAL	-0,2	-0,6	-0,2	0,31	-0,1	-0,3	-0,5	1		
CTT	-0,1	0,09	-0,1	-0,2	-0,1	-0,1	-0,1	-0,4	1	
DBO	-0	-0,3	0,31	0,24	-0,4	-0,1	0,03	0,26	-0,1	1

con el pH y nuevamente con el fosforo.

CONCLUSIONES

Los valores elevados de fosforo total (0.05, 0.12, 0.15) que pueden ser debido a la agricultura y las fincas camaroneras en la bahía de Barbacoas le confieren un estado de eutrofización lo que conlleva a abundancia de macroalgas, calcificación, aumenta la bioerosion del coral, reduce la cobertura del coral, reduce la diversidad de corales.

Los sólidos suspendidos totales presentan valores por fuera del decreto 1594 dándose los valores más extremos en los caños Matunilla (136 mg/L) y Lequerica (189 mg/L). Los sólidos suspendidos son responsables de la sedimentación lo que lleva a cambio de las estructuras de las comunidades de coral, mortalidad parcial de corales, reduce la extensión lineal y crecimiento del coral. Además de esto el alto contenido de solidos va ligado a alto contenido de metales pesados que no lo afecta los corales sino también a las persona en contacto con el recurso hídrico.

Los valores altos encontrados de coliformes totales son preocupantes ya que estos son considerados un indicador de la calidad del agua marina. Los promedios de los valores en caño Lequerica y Matunilla (10378 NMP y 33279 NMP) proveen riesgo de contraer gastroenteritis, dermatitis, infecciones respiratorias y dolencias en oídos, nariz y garganta de nadadores bañándose en aguas contaminadas.

La salinidad es muy baja en isla Barú y presenta amplio rango de variación que deterioran los

Arrecifes de coral ya que eso impide su crecimiento y modifica su función metabólica. Las constantes descargas de aguas dulce del rio Magdalena que ingresan por el canal del Dique hasta la Bahía, es un factor que disminuye la salinidad lo cual afecta y destruye este gran ecosistema.

En el Caribe colombiano los corales están expuestos a la presión que ejercen los eventos naturales extremos, los que combinados con los de naturaleza antropogénica, disminuyen la calidad del agua y propician blanqueamientos de los corales. Las condiciones ambientales más óptimas para enfermedades en los Arrecifes de coral están dadas en las Islas del rosario; allí se presenta un alto contenido de sólidos, una baja salinidad y un estado de eutrofización brindados por la bahía de Barbacoas.

AGRADECIMIENTOS

A la Fundación Universitaria Tecnológico de Comfenalco y a la Corporación Autónoma Regional del Canal del Dique por el apoyo y asesoría brindado a los proyectos de investigación.

REFERENCIAS

- [1]. Agricultura, ministerio de, 1984. Decreto 1594, Bogota. Available at: http://www2.igac.gov.co/igac_web/normograma_files/DECRETO_1594-1984_usos_del_agua_y_residuos_liquidos.pdf.
- [2]. Alvarado, E. et al., 2004. Manual de cuidados para los Arrecifes de coral del Gran Caribe Primer., Bogota: Fundación universidad de Bogota Jorge Tadeo Lozano.

- [3]. American Public Health Association (APHA), the American Water Works Association (AWWA), and the W.E.F. (WEF)., 1999. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater Part 1000 Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.
- [4]. Cárdenas Calvachi, G.L. & Sánchez Ortiz, I.A., 2013. Nitrógeno en aguas residuales: orígenes, efectos y mecanismos de remoción para preservar el ambiente y la salud pública. *Universidad y Salud*, 15(1), pp.72–88. Available at: <http://revistas.udenar.edu.co/index.php/usalud/article/view/375>.
- [5]. Centro de investigaciones oceanograficas e hidrograficas del caribe, 2015. No Title. Available at: www.cioh.org.co [Accessed December 1, 2015].
- [6]. Costa, O.S., Nimmo, M. & Attrill, M.J., 2008. Coastal eutrophication in Brazil: A review of the role of nutrient excess on coral reef demise. *Journal of South American Earth Sciences*, 25(2), pp.257–270.
- [7]. Diagnostico, S.D.E.L., 2001. Plan de Ordenamiento Territorial del Distrito Turístico y Cultural de Cartagena de Indias, Cartagena de Indias.
- [8]. Fabricius, K.E. & Sea, R., 2005. Effects of terrestrial runoff on the ecology of corals and coral reefs : review and synthesis. *Marine pollution bulletin*, 50, pp.125–146.
- [9]. Gavio, B., Palmer-Cantillo, S. & Mancera, J.E., 2010. Historical analysis (2000-2005) of the coastal water quality in San Andrés Island, SeaFlower Biosphere Reserve, Caribbean Colombia. *Marine Pollution Bulletin*, 60(7), pp.1018–1030. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2010.01.025>.
- [10]. Giraldo, A.G. et al., 2009. Patrón de circulación en Bahía Barbacoas y su influencia sobre el transporte de sedimentos hacia las islas del Rosario. *Avances en ...*, pp.21–40. Available at: <http://www.bdigital.unal.edu.co/4766/>.
- [11]. Kumar, D. et al., 2015. Water quality assessment using water quality index and geographical information system methods in the coastal waters of Andaman Sea , India. *MPB*, 100(1), pp.555–561. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2015.08.032>.
- [12]. Maldonado, W. & Baldiris, I., 2011. Assessment of water quality of Ciénaga de la Virgen (Cartagena, Colombia) during the period 2006-2010. *Revista Científica Guillermo de Ockham.*, 9, pp.79–87.
- [13]. Markand, S. et al., 2011. Evaluation of physical, chemical and microbiological parameters of water quality in the Harris Neck estuarine marshes along the Georgia coast. *Marine Pollution Bulletin*, 62(1), pp.178–181.
- [14]. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2015. Resolución 0631. 17 De Marzo, p.62. Available at: http://www.fenavi.org/images/stories/estadisticas/article/3167/Resolucion_0631_17_marzo_2015.pdf.
- [15]. Moreno-Madriñán, M.J. et al., 2015. Using remote sensing to monitor the influence of river discharge on watershed outlets and adjacent coral Reefs: Magdalena River and Rosario Islands, Colombia. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 38, pp.204–215. Available at: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0303243415000094>.
- [16]. Morimoto, Y. et al., 2015. Heat treatment inhibits skeletal muscle atrophy of glucocorticoid-induced myopathy in rats. *Physiological Research*, 64(6), pp.897–905. Available at: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15003161> <http://cid.oxfordjournals.org/lookup/doi/10.1093/cid/cir991> <http://www.scielo.cl/pdf/udecada/v15n26/art06.pdf> <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84861150233&partnerID=tZOtx3y1>.
- [17]. Pinilla, G., 2006. ESTUDIOS E INVESTIGACIONES DE LAS OBRAS DE RESTAURACIÓN AMBIENTAL Y DE NAVEGACIÓN DEL CANAL DEL DIQUE,

- [18].** Reder, K., Flörke, M. & Alcamo, J., 2015. Modeling historical fecal coliform loadings to large European rivers and resulting in-stream concentrations. *Environmental Modelling & Software*, 63, pp.251–263.
- [19].** Restrepo, J.D. et al., 2006. Fluvial fluxes into the Caribbean Sea and their impact on coastal ecosystems : The Magdalena River, Colombia. 50, pp.33–49.
- [20].** True, J.D., 2012. Salinity as a structuring force for near shore coral communities. *Proceedings of the 12th International Coral Reef Symposium*, Cairns, Australia, 9-13 July 2012, (July), pp.9–13.
- [21].** Whittall, D., Pait, A. & Hartwell, I. s, 2015. Chemical contaminants in surficial sediment in Coral and Fish Bays, St. John, U.S. Virgin Islands. *Marine Environmental Research*, 112, pp.1–8. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.marenvres.2015.08.001>.