

## Variación espacio-temporal de la calidad del agua del Golfo de Morrosquillo durante el año 2013

### *Spatial and temporal variability of quality water in Morrosquillo Gulf during 2013*

Fecha de recepción: 2015-08-28 / Fecha de aceptación: 2015-10-14

Laura Ospina Mateus<sup>1</sup> y Diana María Quintana-Saavedra<sup>2</sup>

**Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Caribe (CIOH).** Laboratorio de Microbiología. Barrio El Bosque, Isla de Manzanillo, Escuela Naval "Almirante Padilla" Cartagena de Indias, Bolívar, Colombia. Tel: +57 (5) 669 41 04. Correo electrónico: laura.ospinam@gmail.com<sup>1</sup>, diana.quintana@dimar.mil.co<sup>2</sup>

**Ospina Mateus, L. y Quintana-Saavedra, D. M. (2015).** Variación espacio-temporal de la calidad del agua del Golfo de Morrosquillo durante el año 2013. Bol. Cient. CIOH, 33: 19-38.

#### RESUMEN

En el Golfo de Morrosquillo se registraron mayores niveles de indicadores fecales durante octubre (época de lluvia) que en marzo (época seca), debido al incremento de las precipitaciones y el aumento de caudal de ríos y arroyos que contribuyeron al aporte de nutrientes, sedimentos y coliformes totales hacia el Golfo de Morrosquillo. Sin embargo, al integrar la valoración de variables fisicoquímicas y microbiológicas, a través de un índice de calidad del agua, se determinó que las condiciones del cuerpo hídrico se clasifican en media y buena, con relación a la época climática y a la cercanía a las ciudades costeras como Tolú y Coveñas; evidenciando cambios en la calidad por deficiencia en el saneamiento público o por cambios en aportes continentales provenientes del río Sinú, y que marcan la dinámica de nutrientes y las características propias del agua (concentración de sólidos suspendidos, coliformes totales y fecales, salinidad, oxígeno disuelto, temperatura y transparencia).

**PALABRAS CLAVES:** índice de calidad de aguas, coliformes totales, *E. coli*, contaminación, sólidos suspendidos, oxígeno disuelto, Golfo de Morrosquillo.

#### ABSTRACT

In the Morrosquillo gulf were recorded higher levels of fecal indicators on October (rainy season) than March (dry season) as a result of increase rainfall and rivers flow that contributed to the sediment, nutrients and total Coliform towards the Morrosquillo gulf. When integrating physicochemical and microbiological parameters through the quality water index, allowed estimated the conditions of the water between media and good in relation to weather and short distance of the coastal cities like Tolú and Coveñas, it shows to changes in the quality water due to deficiency public sanitation or water stream from the Sinú River than conduce nutrients and others characteristics of the water (Concentration suspended solids, total and fecal coliforms, salinity, dissolved oxygen, temperature and Transparency).

**KEYWORDS:** quality water index, coliforms totals, *E. coli*, pollution, suspended solids, dissolved oxygen, Morrosquillo Gulf.

## INTRODUCCIÓN

El Golfo de Morrosquillo se encuentra ubicado en el mar Caribe colombiano, su zona costera bordea los departamentos de Córdoba y Sucre [1, 2], conformando una alta variedad de ecosistemas marinos, costeros y agrícolas, con una gran diversidad de especies de fauna y flora [3-5]. Estos recursos naturales son base de la economía de la población de los municipios aledaños, brindando bienes y servicios para el desarrollo de actividades turísticas, hoteleras, de recreación, industriales, agropecuarias, portuarias y marítimas [6-8]. Sin embargo, la mayoría de estas actividades requieren de una eficiente cobertura de servicios públicos para la disposición de residuos sólidos y vertimientos, encontrándose que pocos municipios cuentan con un sistema de recolección y tratamiento de aguas residuales; por lo que los vertidos son eliminados en lagunas, cuencas, ríos, caños y lagos, transportando contaminantes que son, finalmente, arrastrados hacia el mar [6, 7, 9].

En la zona suroeste del golfo desemboca el río Sinú, el cual recibe aportes fluviales de arroyos, ciénagas y ríos; del mismo modo vierte grandes cantidades de sedimentos, materia orgánica, fertilizantes, pesticidas y coliformes totales recibidos de viviendas, industrias o zonas de cultivo aledaños a la misma [1, 6, 10, 11, 12]. Asimismo, anexo al Golfo se encuentra un sistema de bahías, como la de bahía de Cispatá, y caños que alimentan el complejo de ciénagas asociadas al sistema [8, 11].

En este sentido, con el propósito de realizar el cálculo de la calidad del agua a través de un índice, se optó por considerar aquellos que contemplaran en su análisis las metodologías aplicadas en los laboratorios del Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Caribe (CIOH). En el ámbito mundial existen diversas herramientas para definir la calidad del agua de un recurso hídrico, una de ellas son los índices de calidad del agua (ICA) que varían de acuerdo al número de variables que se relacionan y el cuerpo de agua a analizar. Entre los más utilizados se encuentra el *Índice de Calidad de Aguas de la Fundación de Saneamiento Nacional* (NSFWQI, por sus siglas en inglés) [13].

La presente investigación valoró la calidad del agua del Golfo de Morrosquillo a partir del NSFWQI, asociando el comportamiento de variables fisicoquímicas y microbiológicas

en diez estaciones a lo largo y ancho del golfo, respecto a las épocas según el régimen climático del Caribe. Los resultados obtenidos en este estudio permitieron aportar elementos para la toma de decisiones en actividades de protección al estado de la calidad del agua y las condiciones ambientales de los ecosistemas marinos costeros.

## ÁREA DE ESTUDIO

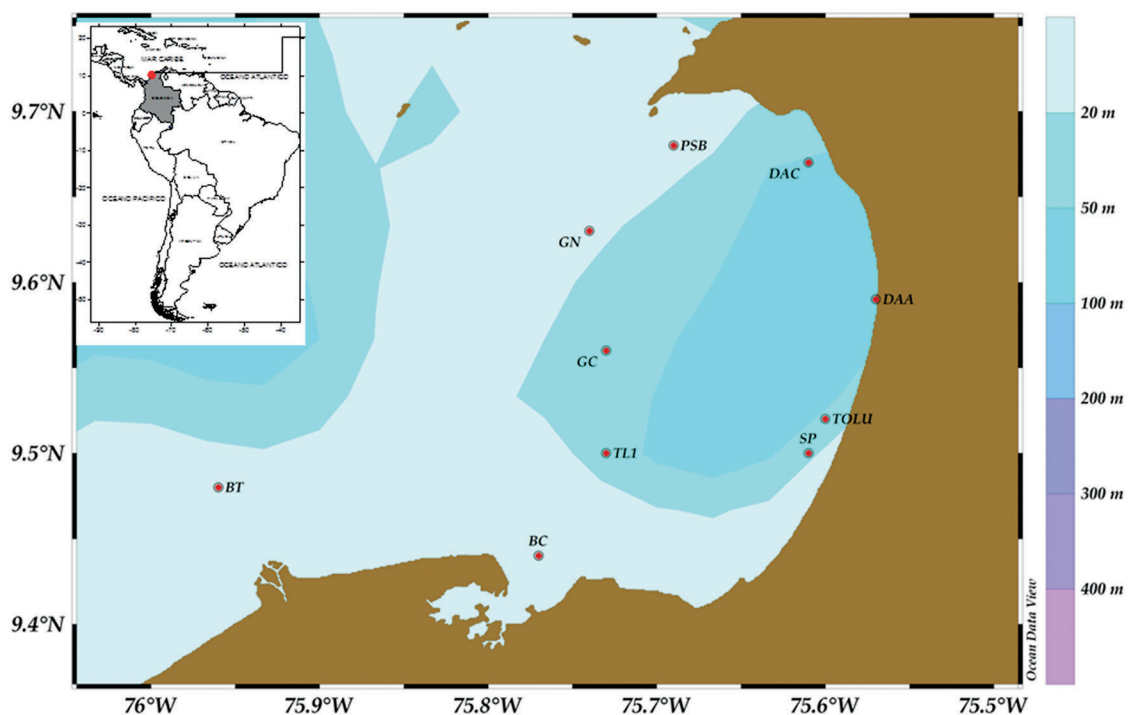
El Golfo de Morrosquillo (Fig. 1), ubicado entre las coordenadas 09°22'00" y 09°45'00" latitud N y 75°33'00" y 75°55'00" longitud O del mar Caribe, cuenta con una línea de costa de 142 km<sup>2</sup>, con una amplitud aproximada de 40 km y una profundidad aproximada de 35 m. Su régimen climático es unimodal, sometido al régimen de los vientos Alisios que afectan el Caribe colombiano, concretando la época seca y de lluvia.

## METODOLOGÍA

Se realizó el monitoreo de dos épocas climáticas, recolectando muestras en diez estaciones distribuidas a lo largo y ancho del Golfo de Morrosquillo (Fig. 1); éstas fueron colectadas a tres profundidades de la columna de agua: 1 m desde la superficie, a media agua desde el fondo de la estación y 1 m arriba del fondo.

La recolección de la muestra fue realizada con una botella Niskin de 5 L, cuyo contenido fue dispensado en frascos Schott de 250 mL, previamente esterilizados y rotulados para el componente microbiológico; asimismo, se depositó muestra en frascos plásticos correspondientes a los componentes fisicoquímicos. Posteriormente, fueron conservadas y dirigidas al laboratorio del CIOH, siguiendo la correspondiente cadena de custodia del Sistema de Gestión de Calidad del laboratorio. Es importante mencionar que parámetros como pH, oxígeno disuelto, temperatura del agua y salinidad fueron tomados in situ, empleando sondas paramétricas.

Los métodos de análisis para los componentes fisicoquímicos y microbiológicos se realizaron como indica el Manual de Procedimientos Técnicos del Laboratorio del CIOH, basados en métodos estandarizados para análisis de agua, edición 21 de 2005, APHA/AWWA/WEF y articulados con la norma ISO 17025:2005 [14, 15] (Tabla I).



**Figura 1.** Localización del Golfo de Morrosquillo y estaciones: 1. Tolú, 2. Desembocadura Arroyo Alegría (DAA), 3. Desembocadura Arroyo Cascajo (DAC), 4. Punta de San Bernardo (PSB), 5. Golfo Centro (GC), 6. Golfo Norte (GN), 7. TLU1, 8. Boca de Tinajones (BT), 9. Bahía Cispatá (BC) 10. Frente Sociedad Portuaria (FSP).

**Tabla I.** Parámetros fisicoquímicos y microbiológicos.

| Parámetros determinados  | Método empleado  |
|--|--|
| pH   | Potenciométrico  |
| Nitrito  | Método Colorimétrico   |
| Nitrato  | Método Reducción con Cadmio  |
| Ortofosfatos   | Método Ácido Ascórbico   |
| SST  | Filtración y Secado a $104^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$              |
| Oxígeno Disuelto   | Método Electrodo de Membrana   |
| Salinidad  | Conductividad Eléctrica  |
| Transparencia  | Disco <i>Secchi</i>  |
| <i>Enterococcus</i> , <i>Escherichia coli</i> y coliformes totales | Método recuento de colonias a través de la técnica de filtración por membrana. |

Los datos fueron organizados y graficados a través de Minitab versión 17 y el software Ocean Data View. Las variables se ordenaron para cada una de las épocas climáticas agrupadas en cinco grupos de variables: (i) parámetros sanitarios (coliformes totales (UFC/100mL), *Escherichia coli* (UFC/100mL) y *Enterococcus sp* (UFC/100mL)); (ii) parámetro de nutrientes (nitritos [mg NO<sub>2</sub>/L], nitratos [mg NO<sub>3</sub>/L], ortofosfatos [mg PO<sub>4</sub>/L]); (iii) las propiedades del agua (temperatura (°C), salinidad, pH y oxígeno disuelto (mg/l)); (iv) material particulado (transparencia [m], y (v) sólidos suspendidos totales [mg/l]).

Como base de cálculo para establecer la calidad del agua se empleó el NSFQI,

$$ICA(\text{Estación}) = \sum[(\text{oxígeno disuelto} \times 0.17) + (\text{coliformes totales} \times 0.15) + (\text{pH} \times 0.12) + (\text{demanda biológica de oxígeno} \times 0.10) + (\text{nitratos} \times 0.10) + (\text{ortofosfatos} \times 0.10) + (\text{temperatura} \times 0.10) + (\text{turbidez} \times 0.08) + (\text{sólidos totales} \times 0.08)] \quad \text{Ecuación (1)}$$

## Control de calidad

Para la determinación de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos se contemplaron los controles de calidad pertinentes sujetos al Sistema de Gestión de Calidad del Laboratorio del CIOH.

En cuanto a los parámetros microbiológicos, se realizaron controles de calidad de esterilidad de los medios de cultivo y filtros; se realizaron los ensayos de filtración con cepas control de referencia *Enterobacter aerogenes* ATCC 13048, *E.coli* ATCC 8739 y *Enterococcus faecalis* ATCC 29212.

De igual forma se controlaron las condiciones de análisis, tales como la limpieza y desinfección durante el ensayo en la zona de trabajo y se verificaron las condiciones ambientales, a través de control de calidad del aire con agar *Plate count* (aerobios mesófilos) y OGYE (hongos filamentosos y levaduriformes).

## RESULTADOS

### Comportamiento del Golfo de Morrosquillo en época seca

#### • Parámetros sanitarios

Para la época seca del 2013 los coliformes totales en superficie se encontraron en

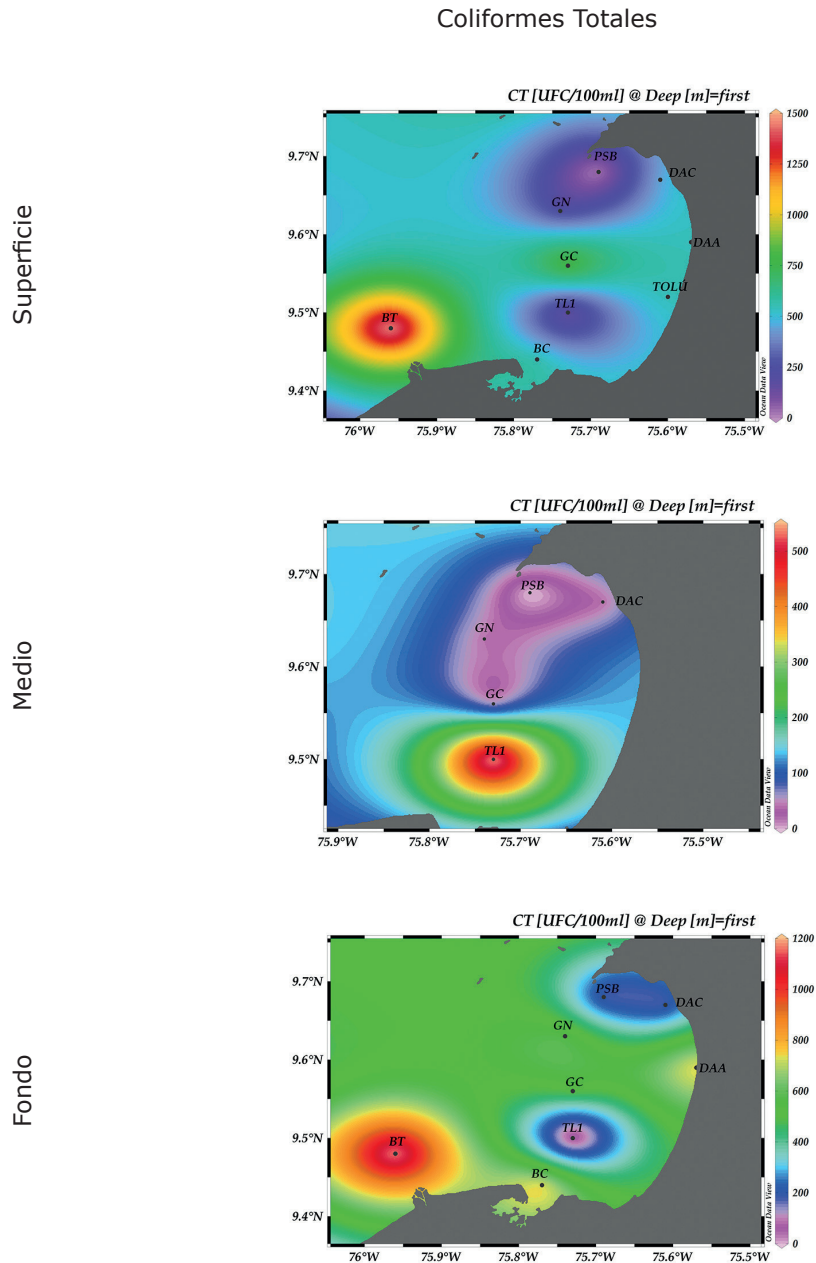
específico para aguas marinas, el cual cuenta con un software disponible en línea a través del *Water Reseach Center*. Para calcularlo se ajustó la información correspondiente en datos y se valoró respecto a la técnica de Delphi, siendo seleccionados nueve parámetros: turbidez, DBO<sub>5</sub>, temperatura, nitratos, ortofosfatos, pH, coliformes fecales, sólidos suspendidos totales y oxígeno disuelto. Fueron empleados los pesos correspondientes de las variables para la transformación de los parámetros a escala adimensional; finalmente se agregaron por sumatoria para establecer el índice de cada una de las estaciones en la capa superficial (Fórmula 1).

concentraciones desde 40 hasta 1430 UFC/100ml. En la profundidad media entre 0 y 530 UFC/100ml y en el fondo de la columna de agua entre 60 y 1150 UFC/100ml.

Actualmente, no existe una normativa colombiana que establezca los límites en Unidad Formadora de Colonias (UFC), puesto que la legislación vigente para el uso de aguas recreativas estipula que los resultados se deben expresar en Número Más Probable, por lo cual no es comparable con los resultados obtenidos en esta investigación. Sin embargo, a en el ámbito internacional los resultados se compararon con los límites permisibles establecidos por la Comunidad Económica Europea (CEE) que establece concentraciones menores de 500 UFC [16], dado que organizaciones como la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA, por sus siglas en inglés) y la Organización Marítima Internacional (OMI) no refieren coliformes totales [17, 18]. En este sentido, se observó que en la capa superficial de las estaciones Golfo centro y Tolú, capa superficial y media de desembocadura arroyo Alegría y Bahía de Cispatá, capa media de TLU1, superficie y fondo de boca de Tinajones y Golfo centro capa fondo, se registraron concentraciones de coliformes totales por encima de lo permitido. Solamente dos estaciones se encontraron bajo los límites permitidos, Punta de San Bernardo y Desembocadura Arroyo Cascajo, respectivamente (Fig. 2a).

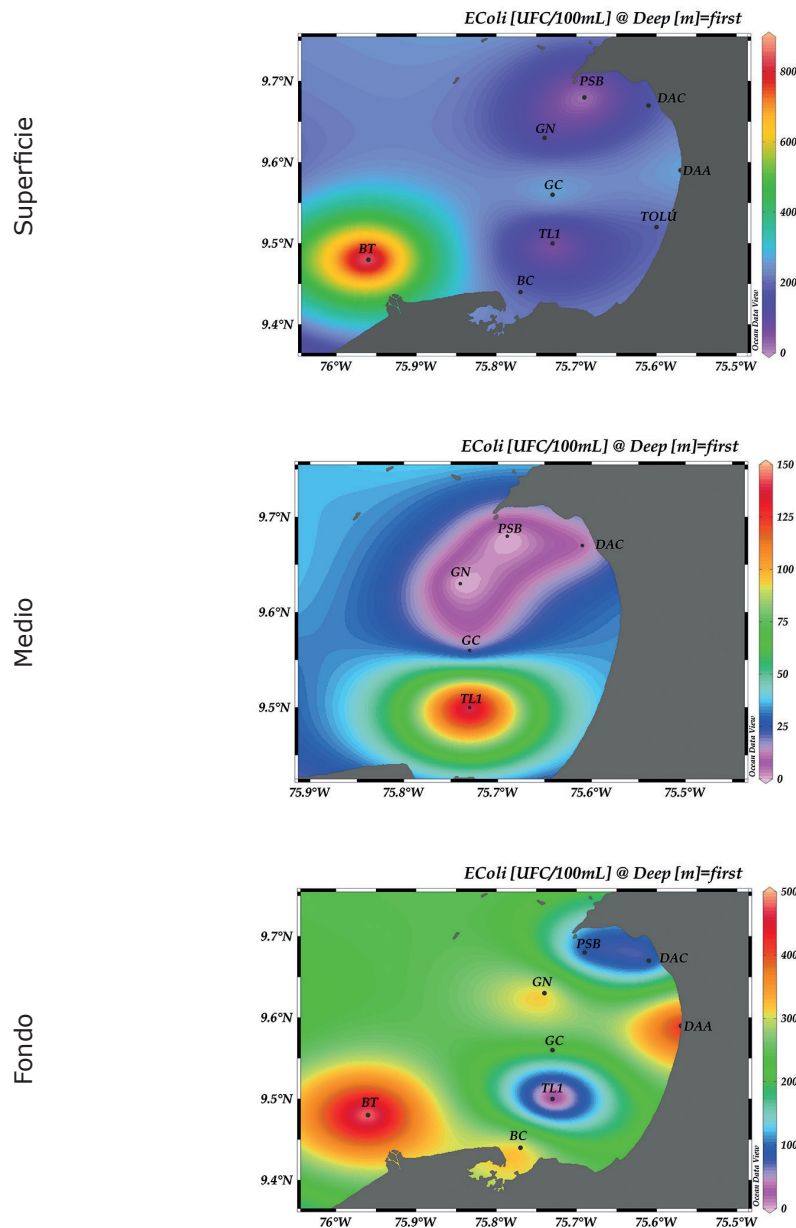
Para *E.coli* se registró una concentración entre 0 y 840 UFC/100ml. La estación que presentó mayor concentración fue en la capa superficial de Boca de Tinajones con 840 UFC/100ml, respectivamente. Con base en los límites establecidos para *Escherichia coli* por OMI [18], las estaciones de superficie y fondo de Boca de Tinajones, superficie de Golfo Centro, superficie y capa media de Desembocadura Arroyo Alegre, capa media de Bahía Cispatá

y fondo de Golfo Norte, presentaron valores superiores a los permitidos. Para la Agencia de Protección Ambiental (EPA) [17], las estaciones antes en mención, la superficie de Desembocadura Arroyo Cascajo, Bahía Cispatá, Tolú, profundidad media de TLU1 y el fondo de Golfo Centro, excedieron los límites establecidos; así también sobrepasan los de la CEE [16], junto con la superficie de Golfo Norte (Fig. 2b).



**Figura 2a.** Comportamiento de parámetros sanitarios en el Golfo de Morrosquillo para la época seca.

*E. coli*



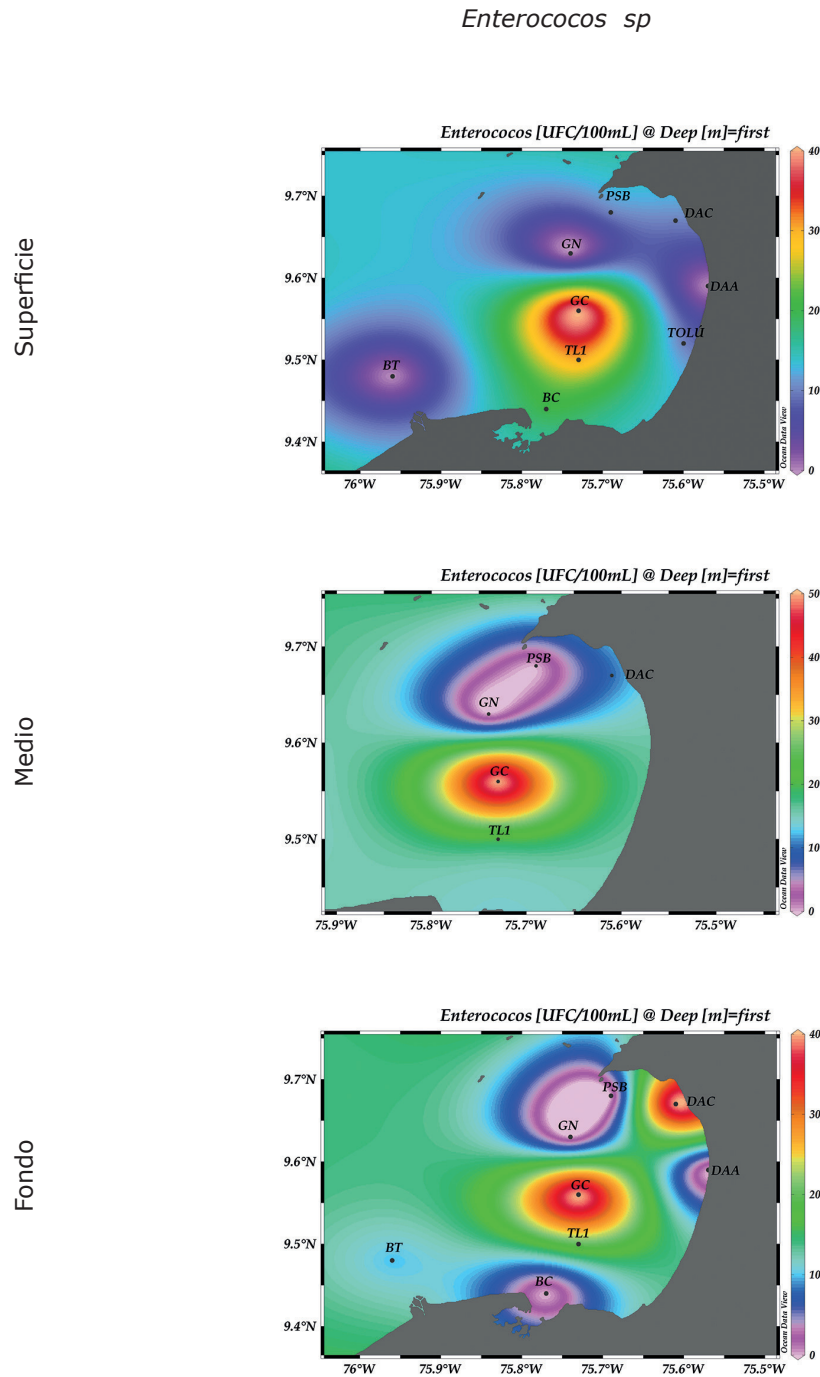
**Figura 2b.** Comportamiento de parámetros sanitarios en el Golfo de Morrosquillo para la época seca.

Para *Enterococcus* se registraron concentraciones entre 0 y 50 UFC/100ml. Las estaciones que presentaron mayor concentración en superficie durante la época seca fueron las estaciones de Golfo Centro y fondo de Desembocadura Arroyo Cascajo, con 40 UFC/100ml

y 50 UFC/ 100ml, respectivamente. Para este género microbiano existen límites permisibles estipuladas por OMI (hasta 100 UFC/100ml), EPA (hasta 35 UFC/100ml) y CEE (hasta 100 UFC/100ml) [16-18]; por lo tanto, en comparación con los resultados se registraron concentraciones

que superan los límites establecidos por EPA: fondo de la estación Desembocadura de Arroyo Cascajo y en la totalidad de la columna de agua

de Golfo Centro. Sin embargo, ninguna estación supera los límites permisibles de OMI y CEE. (Fig. 2c).

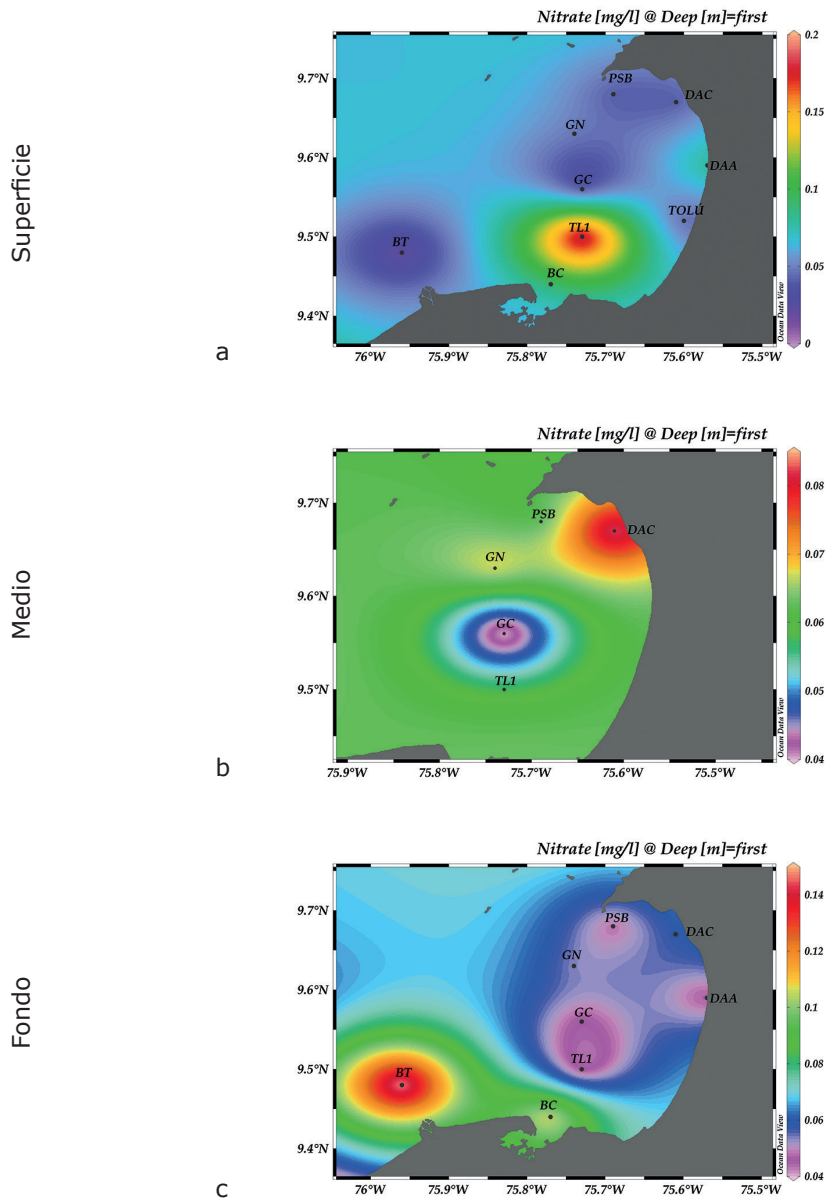


**Figura 2c.** Comportamiento de parámetros sanitarios en el Golfo de Morrosquillo para la época seca.

• **Nutrientes**

En términos de la concentración de nutrientes, la de nitritos osciló entre no detectable y 0.0024 mg/l; en tanto que las estaciones que superaron los límites establecidos por la Norma Mexicana para nitritos (0.002 mg/l) [19] fueron la estación del Golfo Norte, en su capa profunda con 0.0021 mg/l, y la superficie de Boca de Tinajones con 0.0024 (Fig. 3).

En cuanto a las concentraciones de nitrato, como se observa en la Figura 3, todas las estaciones se encontraron por encima de los límites detectables y la concentración osciló entre 0.0225 y 0.176 mg/l. En cuanto a los límites permisibles establecidos por la Norma Mexicana para nitratos (0.04 mg/l), todas las estaciones a excepción de superficie de Boca de Tinajones y capa media de Golfo Centro sobrepasan los valores estipulados.

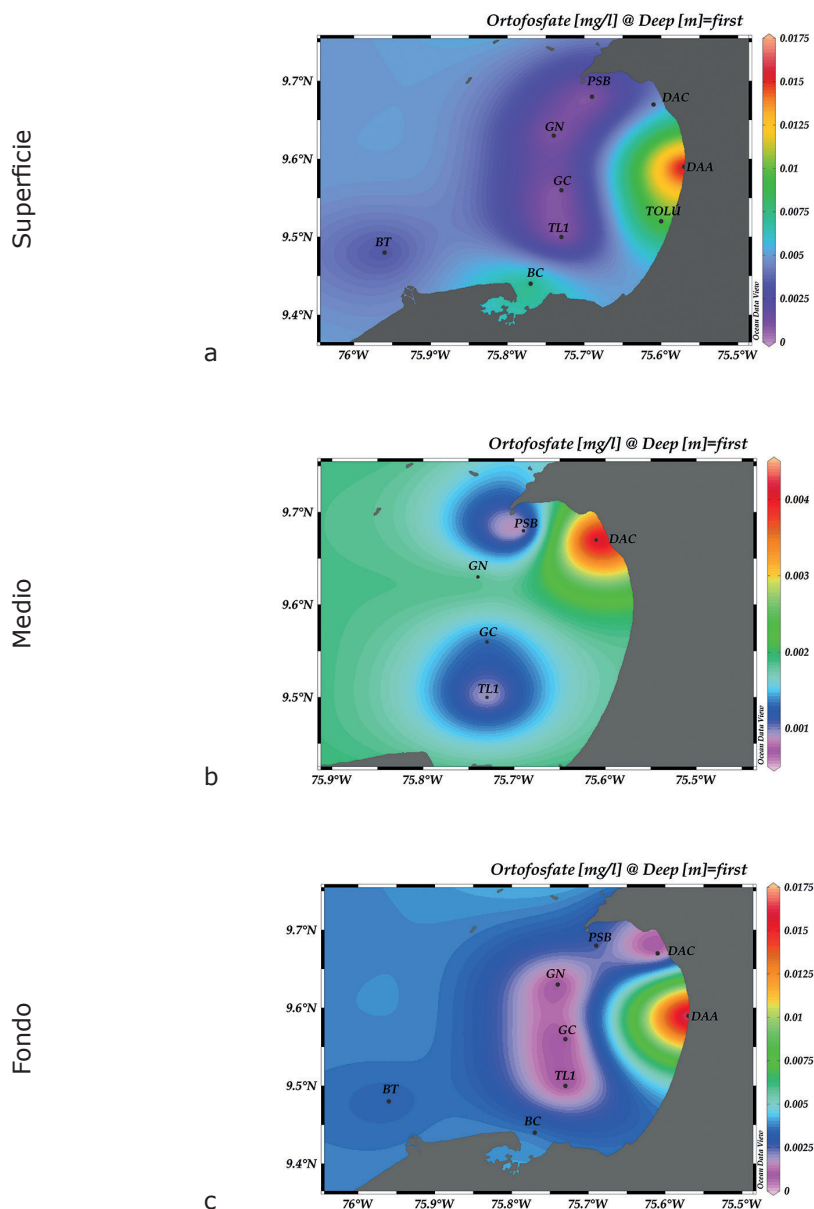


**Figura 3.** Comportamiento de nitrato en **a.** superficie, **b.** medio y **c.** fondo en el Golfo de Morrosquillo para la época seca.



La concentración de ortofosfatos osciló entre no detectable y 0.0166 mg/l. La estación que reportó mayor concentración en superficie fue Desembocadura Arroyo Alegría, con 0.0153 mg/l. No obstante, las concentraciones registradas en la estación TLU1 estuvieron por debajo de los límites detectables en las tres profundidades.

En cuanto a los límites permisibles establecidos por la Norma Mexicana [19], las estaciones de Punta de San Bernardo, Desembocadura Arroyo Alegría, Desembocadura Arroyo Cascajo, Bahía de Cispatá, Tolú y Boca de Tinajones superaron las concentraciones mencionadas en la norma (Fig. 4).



**Figura 4.** Comportamiento de ortofosfatos en **a.** superficie, **b.** medio y **c.** fondo en el Golfo de Morrosquillo para la época seca.

### ● **Propiedades del agua**

La temperatura en la columna de agua osciló entre 27.86 y 30.75°C, con una temperatura promedio de 28.8°C. A nivel de superficie se registraron temperaturas desde 30.29°C, en la estación de Tolu, hasta temperaturas de 28.1°C en Golfo Norte. Para la profundidad media, la estación Desembocadura Arroyo Cascajo presentó 29.57°C; por el contrario, Golfo Norte presentó 28.29°C. Para el fondo de la columna de agua se registran temperaturas a partir de 30.75°C por parte de desembocadura de Arroyo Alegría, hasta 27.86°C en Golfo Centro.

La salinidad osciló entre 14.13 y 36.2. Es notable que la salinidad de la superficie fue menor que el medio y fondo de la columna de agua. Se obtuvo para la superficie concentraciones entre 14.13 y 20.67; sin embargo, estaciones como Tolu y TLU1 presentaron salinidades de 30.58 y 33.19. Para profundidad media y fondo se mantuvo en un intervalo entre 32.2 y 34.3 en todas las estaciones.

En términos de oxígeno disuelto, durante la época seca registraron valores entre 3.07 y 7.04 mg/l, observándose que los datos de la columna de agua se mantienen en un intervalo de 5.6 y 7.4, a excepción de la estación de Tolu, en la que presenta en su superficie el valor mínimo de 3.07.

### ● **Material particulado**

Se evaluó la transparencia [m] y sólidos suspendidos totales [mg/l] para cada una de las tres profundidades de la columna de agua.

La transparencia de la columna de agua registrada en las estaciones Golfo Norte, Golfo Centro y Punta de San Bernardo fue mayor (4.5 m) que la reportada en las estaciones Bahía de Cispatá, Desembocadura de Arroyo Alegría, Tolu y Boca de Tinajones, la cual no sobrepasa los 1.5 m.

Las concentraciones de los sólidos suspendidos se registraron entre 6.17 y 47.17 mg/l. En superficie los valores más altos fueron registrados en Boca de Tinajones, con 37.0 mg/l, y el mínimo en Desembocadura Arroyo Cascajo, con 8.33 mg/l. En la capa media se encontraron concentraciones de 6.17 mg/l en Golfo Centro, hasta 25.50 en TLU1. En el fondo de la columna de agua se reportaron concentraciones de 43.17 mg/l en

Golfo Norte, seguido de Golfo Centro con 39 mg/l; por el contrario, TLU1 presentó 11.67 mg/l. En cuanto a los límites permisibles estimados por la Norma Mexicana (75 mg/l) [19], ninguna de las estaciones sobrepasó el valor establecido.

## **Comportamiento del Golfo de Morrosquillo en época de lluvia**

### ● **Parámetros sanitarios**

Para los coliformes totales encontrados en superficie se reportaron concentraciones entre 0 y  $29 \times 10^3$  UFC/100ml; en la profundidad media entre 0 y  $2 \times 10^3$  UFC/100ml, y en el fondo de la columna de agua entre 0 y  $14 \times 10^3$  UFC/100ml.

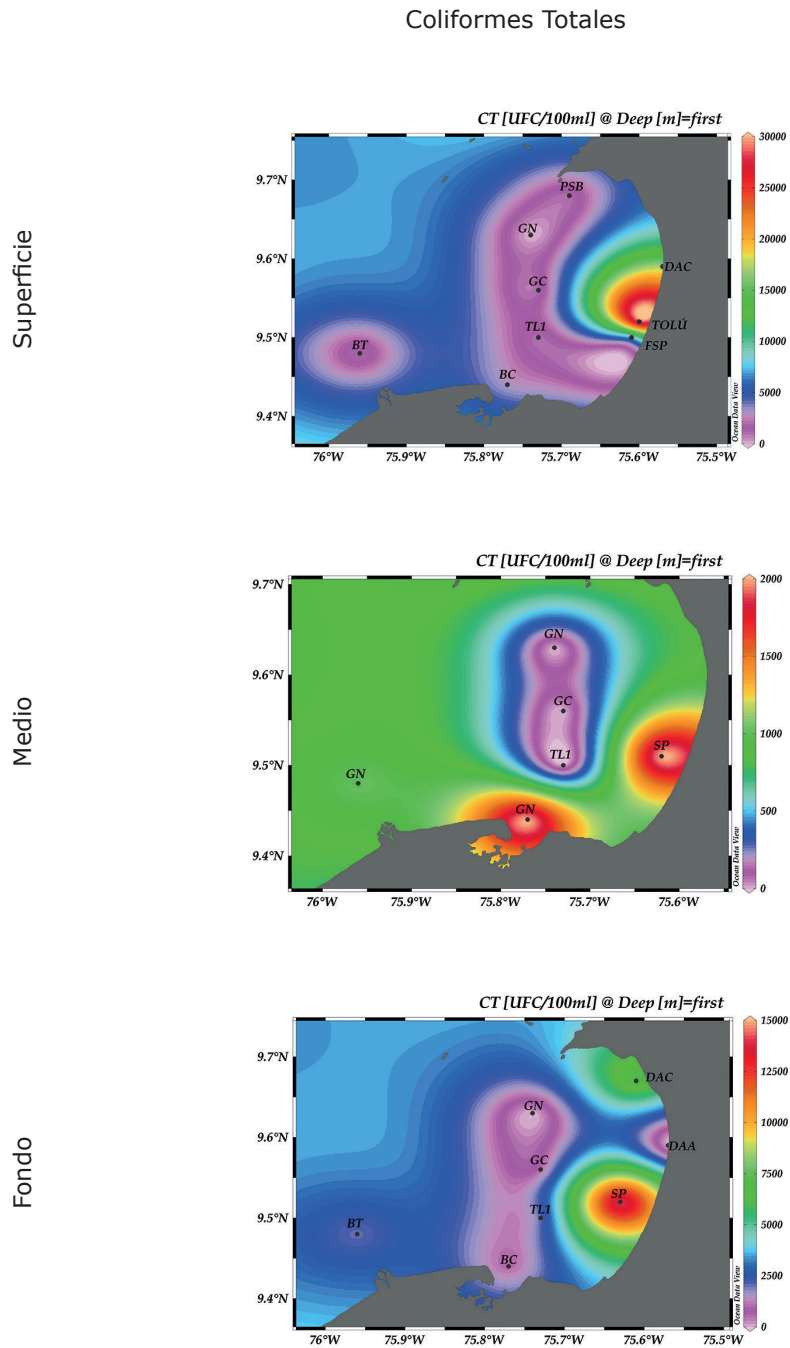
Se registró en la mayoría de las estaciones monitoreadas que la superficie presentó concentraciones de coliformes totales superiores a los límites estipulados por CEE [16]. Para la profundidad media se reportaron estaciones que superaron los límites permisibles a saber: Bahía Cispatá y Sociedad Portuaria con  $2 \times 10^3$  UFC/100ml, cada una, y Boca de Tinajones con  $1 \times 10^3$  UFC/100ml. Para el fondo de la columna de agua se registran seis estaciones con índices altos: Sociedad Portuaria con  $14 \times 10^3$  UFC/100ml, Desembocadura Arroyo Cascajo con  $7 \times 10^3$  UFC/100ml, TLU1 Ecopetrol con  $2 \times 10^3$  UFC/100ml, Boca de Tinajones con  $2 \times 10^3$  UFC/100ml, Golfo Centro con  $10^3$  UFC/100ml y Bahía Cispatá con  $10^3$  UFC/100ml (Fig. 5a).

Para *E.coli* se obtuvo un intervalo entre 0 y  $9 \times 10^3$  UFC/100ml. Las estaciones que presentaron mayor concentración en superficie fueron Tolu y Desembocadura Arroyo Alegría con  $6 \times 10^3$  y  $9 \times 10^3$  UFC/100ml, respectivamente. Según los límites establecidos para *Escherichia coli* por OMI, CEE y EPA [16-18], todas las estaciones en superficie, a excepción de TLU1, Golfo Norte y Boca de Tinajones, presentaron recuentos mayores o iguales a  $10^3$  UFC/100ml. En profundidad media sólo la Estación de Sociedad Portuaria registró presencia de *E.coli*, con un recuento de  $10^3$  UFC/100ml. En el fondo de la columna de agua, Sociedad Portuaria y Bahía Cispatá presentaron valores superiores a los permitidos para las normas internacionales [16-18] (Fig. 5b).

Para *Enterococcus* se obtuvo un intervalo entre 0 y  $7 \times 10^3$  UFC/100ml. Sólo se obtuvo crecimiento en estaciones de Golfo Centro, Golfo Norte y Sociedad Portuaria, las cuales superaron los límites permisibles estipulados por OMS, CEE y EPA [16-18]. Las estaciones

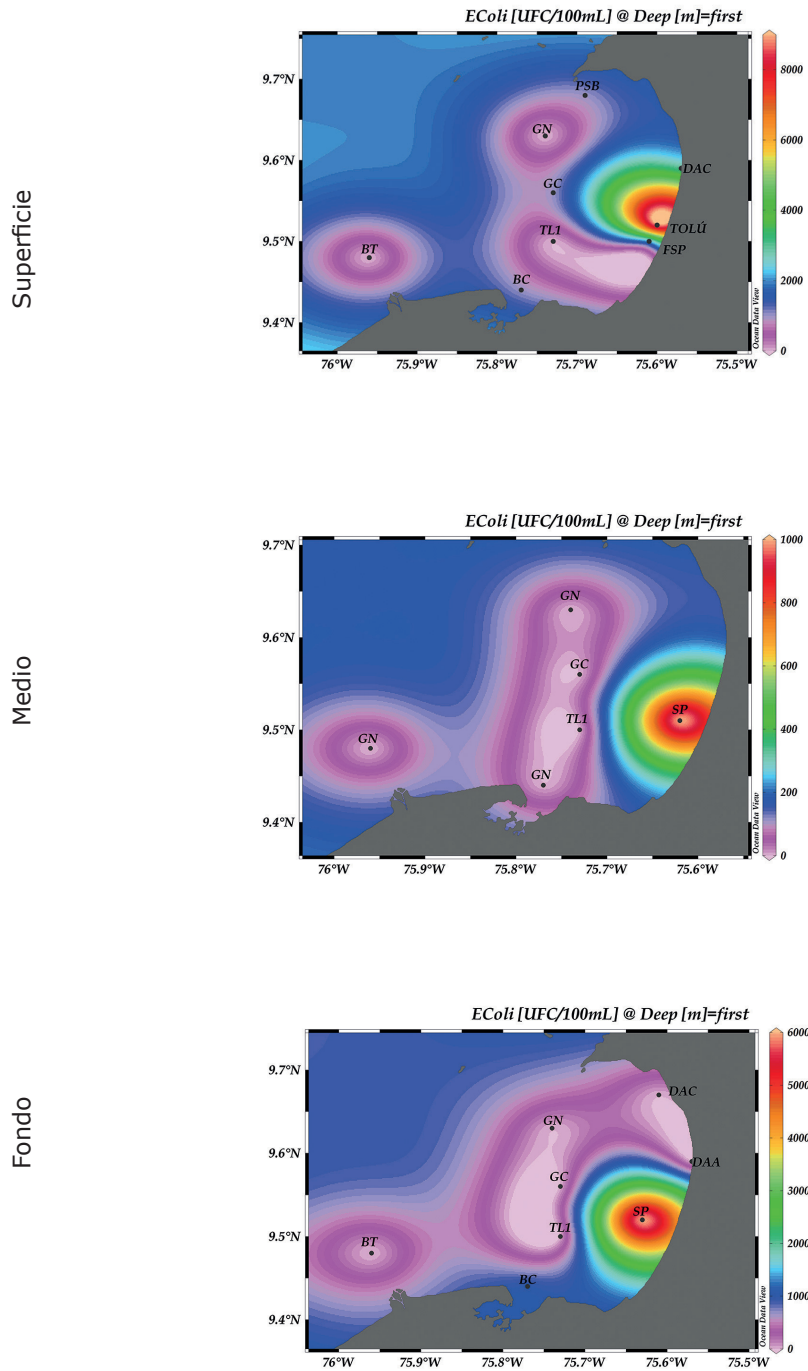
que presentaron mayor concentración en superficie de Enterococcus fueron Golfo Centro y Sociedad Portuaria, con  $7 \times 10^3$  UFC/100ml

y  $3 \times 10^3$  UFC/100ml, respectivamente, y el fondo de la columna de agua de Golfo Norte con  $4 \times 10^3$  UFC/100ml (Fig. 5c).



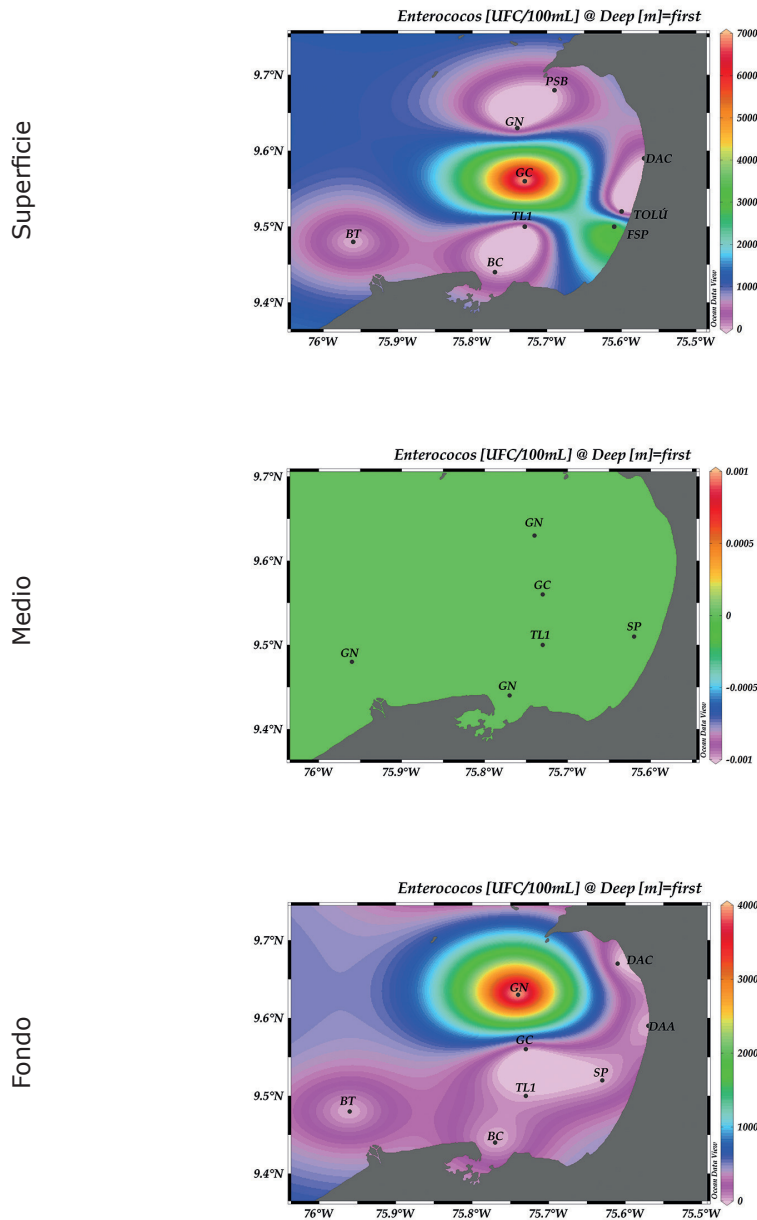
**Figura 5a.** Comportamiento de parámetros sanitarios en el Golfo de Morrosquillo para la época de lluvia.

*E coli*



**Figura 5b.** Comportamiento de parámetros sanitarios en el Golfo de Morrosquillo para la época de lluvia.

*Enterococos sp*



**Figura 5c.** Comportamiento de parámetros sanitarios en el Golfo de Morrosquillo para la época de lluvia.

- **Nutrientes**

Las concentraciones de nitritos oscilaron entre 0 y 0.0212 mg/l. En superficie la estación que reportó mayor concentración fue Tolu; para la capa media

y fondo la estación de Golfo Norte presentó niveles altos. En cuanto a los límites establecidos por la norma mexicana para Nitritos [19], las estaciones de la capa del fondo de Golfo Norte, TLU1 y Golfo Centro superaron los límites permisibles.

En cuanto a las concentraciones de nitrato los valores oscilaron entre 0.0001 y 0.1641 mg/l. Los límites permisibles establecidos por la Norma Mexicana para nitratos (0.04 mg/l) [19] fueron superados por las estaciones del fondo de la columna de las estaciones de TLU1, Golfo Centro y Golfo Norte con 0.1069, 0.1641 y 0.1922 mg/l, respectivamente.

La concentración de ortofosfatos osciló entre 0.0014 y 0.0145 mg/l. La estación que reportó mayor concentración en superficie fue Desembocadura Arroyo Alegría con 0.0118 mg/l; por el contrario, las que registraron menor concentración fueron las estaciones de Boca de Tinajones y Golfo Norte con 0.0014 y 0.0040 mg/l, respectivamente. Para la profundidad media se reportó una mayor concentración en la estación Sociedad Portuaria con 0.0126 mg/l; para el fondo de la columna de agua se registraron mayores concentraciones en Golfo Centro, Golfo Norte y Boca de Tinajones con 0.0089, 0.0032 y 0.0038 mg/l, respectivamente.

#### ● **Propiedades del agua**

La temperatura en la columna de agua osciló entre 28.4 y 30.0°C, con una temperatura promedio de 29.4°C. En la capa superficial se registraron temperaturas superiores con respecto a las demás estaciones de las otras capas de aguas, con una diferencia promedio de 0.4°C.

La salinidad osciló entre 28.5 y 36.3°C. La mayoría de las estaciones presentaron niveles superiores de salinidad que en la superficie y profundidad media. En superficie la variación fue mínima, entre un intervalo de 28.5 y 31.9°C, siendo Boca de Tinajones la estación con valores más bajos. En el fondo de la columna se encontraron las concentraciones más altas en las estaciones de Golfo Norte, Golfo Centro y TLU1.

En cuanto al pH, osciló entre 7.6 y 7.9. En superficie las variaciones de pH fueron de 7.8 y 7.9. En la capa media 7.80 y 7.90, y en la capa profunda 7.64 y 7.90, respectivamente.

El oxígeno disuelto durante la época de lluvia registró valores entre 2.77 y 4.54 mg/l, observándose que cada estación presentó una variación similar en la capa superficial, media y fondo. La estación con la concentración más baja fue Golfo Norte con 2.77 mg/l. Las concentraciones más altas se registraron en la capa superficial y media de las estaciones TLU1 y Boca Tinajones.

#### ● **Material particulado**

Las columnas de agua de las estaciones TLU1 y Golfo Centro obtuvieron mayores registros de transparencia; en cambio Desembocadura Arroyo Cascajo, Sociedad Portuaria y Tolú presentaron una transparencia que no sobrepasó los 2 m de profundidad. Las concentraciones de los sólidos suspendidos se registraron entre 5 y 31.67 mg/l. En superficie los valores más altos fueron registrados en Tolú y Desembocadura Arroyo Alegría. En profundidad media no se presentaron variaciones significativas. En el fondo de la columna de agua se reportaron concentraciones altas en Sociedad Portuaria. En cuanto a los límites establecidos por la Norma Mexicana (75 mg/l), ninguna de las estaciones estudiadas superó este valor.

### **DISCUSIÓN**

De acuerdo con la CEE [16], las concentraciones del indicador de contaminación fecal han superado el límite permisible en aguas para contacto primario y secundario del Golfo. Para coliformes totales se reportaron concentraciones para época seca de 0 - 1430 UFC/100mL y 0 - 29 x 10<sup>3</sup> época de lluvia. Resultados contrarios obtuvo un estudio en 2009 [20], el cual reportó que durante marzo (época seca) se registraron altas concentraciones entre 440 y 970 UFC/100mL y para la época de lluvias del 2013 se registraron concentraciones entre 510 - 610 UFC/100mL.

En tal sentido, el aporte de coliformes durante la época seca en 2013 es menor que en época de lluvia, debido al bajo vertimiento doméstico por arrastre de los ríos; sin embargo, se ha evidenciado que las aguas deslastradas por buques de tráfico internacional pueden ser un factor de riesgo por su contaminación [21], teniendo en cuenta que los microorganismos son capaces de sobrevivir en las condiciones de estas aguas por un periodo de 30 días [22]. Un estudio realizado sobre actividades marítimas evaluó 30 tanques de agua de lastre, dando como resultado que 26 de las embarcaciones o el 87 % de ellas contenían coliformes totales y el 27 % coliformes fecales; 25 de los tanques resultaron positivos para *Enterococcus* y se obtuvo crecimiento para *Vibrio*, *Sphingomonas*, *Serratia marcescens* [3, 20, 22, 23]. Por lo tanto, es importante determinar y hacer seguimiento de indicadores de calidad del agua, entre ellas de contaminación fecal como los coliformes fecales y *Enterococcus*, que permiten indirectamente revelar la presencia de otros microorganismos patógenos como

*Salmonella*, *Vibrio*, *Staphylococcus*, hongos, virus y parásitos transmisores de infecciones gastrointestinales [24].

Para la *Escherichia coli* fueron reportadas en 2009 [20] recuentos superiores en época seca que en época de lluvia (440-970 UFC/100mL); caso contrario sucedió con los resultados de este estudio, el cual reporta intervalos de 0 - 840 UFC/100mL para época seca y 0 -  $9 \times 10^3$  UFC/100mL durante la época de lluvia; por consiguiente estas concentraciones superan el límite permisible de OMI (100 UFC/100ml) [18], CEE (100 UFC/100mL) [16] y EPA (35 UFC/100ml) [17] durante las dos épocas climáticas.

Es importante observar que reportes de Carsucre destacan un conjunto de estaciones que bordean la línea de costa, las playas de Tolú, playa Francés, hotel Montecarlo, Puerto Viejo, Punta Piedras, Coquerita y playa Berrugas, con altas concentraciones de coliformes fecales (50- 5000 UFC/100mL) [22]; resultados muy similares obtenidos durante época de lluvia con un recuento de 9000 UFC/100mL para la misma estación, superando el límite permitido por las normativas internacionales [16-18]. Asimismo, Boca de Tinajones reportó recuentos de 1430 UFC/100mL, lo cual responde al continuo aporte que genera el río Sinú, arrastrando efluentes más allá de 10 km de su salida acompañados de vertidos domésticos, agrícolas e industriales al cuerpo hídrico [25].

Para *Enterococcus*, durante 2009, en época seca se reportaron altas concentraciones desde 100 hasta 150 UFC/100ml [20], superando los límites permisibles de OMI (100 UFC/100ml), CEE (100 UFC/100mL) y EPA (35 UFC/100ml) [16-18]. Sin embargo, en esta investigación se reportaron para 2013 recuentos 0 - 50 UFC/100mL para época seca, incumpliendo solamente los límites establecidos por EPA [17]. En época de lluvia, durante 2009, se presentaron concentraciones de hasta 40UFC/100 ml en la estación de Tolú [20], siendo inferiores a los registrados en esta investigación (0 - 7000 UFC/100mL), los cuales no cumplen con los valores mínimos de calidad del agua estipulados por OMI, EPA y CEE [16-18]. Se ha encontrado que esta bacteria, reconocida por su resistencia a ambientes adversos, puede ser inactivada por factores como la luz solar [26].

En cuanto a los nutrientes se encontraron concentraciones de ortofosfatos entre el límite

de detección del método (0.00093) y 0.0166 mg/l, encontrándose dentro del rango reportado durante el 2008 (0.0009 - 5.14 mg/l) [27], en el 2009 (0.001-0.43 mg/l) [3], para época de lluvia 2012 y seca 2013 los valores oscilaron entre 0.0021 y 0.0071 mg/l, por lo tanto es claro que los valores mencionados tienden a estar por encima de los límites permisibles de la Norma Mexicana (0.002 mg/l) [19]. Estas concentraciones pueden generar riesgo y afectar los ecosistemas marinos a través de la floración de algas; sin embargo, disminuye en época seca siendo efectos recurrentes [27, 28]. Es importante reconocer que la presencia de detergentes y fertilizantes son elementos naturales en rocas y materia orgánica, por lo que son hallados en altas concentraciones en áreas de actividad antrópica [29].

La contaminación por nitrato o nitrito puede ser dada por fuentes no puntuales o difusas. Es importante reconocer que los cuerpos de aguas como Desembocadura Arroyo Alegría, Desembocadura Arroyo Cascajo, Bahía Cispatá y Boca de Tinajones son estaciones caracterizadas por el aporte de efluentes al golfo mediante otros sistemas hídricos, que durante las lluvias sus aportes son más significativos a causa del arrastre de residuos agrícolas, ganaderos e industriales, encontrándose mayor abundancia de estos nutrientes. Esto justifica cómo la estación de Boca de Tinajones, ubicada en desembocadura del río, presenta un continuo aporte de nutrientes, tanto en época de lluvias como en época seca. Los nitratos reportaron para los años 2007 y 2008 concentraciones entre 0.02 y 1.54 mg/l, respectivamente. De igual modo, durante 2009 se encontraron concentraciones más estrechas entre de 0.006 - 1.22 mg/l [3]. De otro lado, en los departamentos de Sucre y Córdoba se encontraron concentraciones desde el mínimo límite de detección del método (0.0006 mg/l) hasta 0.0389 mg/l, durante la época lluviosa en 2012, y desde 0.006 mg/l hasta 0.1160 mg/l, para la época seca en 2013 [22]. Los nitritos reportados oscilaron entre el mínimo límite de detección 0.0007 mg/l y 0.0024 mg/l, para la época seca, y entre 0 y 0.0212 mg/l, para la época de lluvias. Para la época de lluvia de 2012, las concentraciones oscilaron entre 0.0006 y 0.0328 mg/l, y entre 0.0006 y 0.0118 mg/l, en la época seca de 2013 [22].

Por lo anterior, es notable que las concentraciones en época de lluvia son mayores que en época seca; sin embargo, se encontró que estaciones de Golfo Norte, Golfo Centro y TLU1

presentan las mayores concentraciones, lo cual responde a las corrientes del mar sobre el golfo, que según su hidrodinámica arrastra las aguas de la costa norte hasta el centro del mismo [30].

Tomando como referencia investigaciones previas realizadas en esta zona de estudio para la temperatura, la Red de Monitoreo de la Calidad de Aguas Marinas y Costeras de Colombia RedCAM, reportó que durante la época de lluvias de 2012 y la época seca de 2013 en el Caribe colombiano las temperaturas oscilaron entre 22 y 33.6°C. Para la época de lluvias (2012) fueron reportadas para el departamento de Sucre temperaturas de 29.7 y 33°C y para Córdoba de 28.8 y 33.3°C, respectivamente [22]. Resultados similares fueron encontrados en esta investigación, con un intervalo entre 28.4 y 30°C, y un promedio de 29.4°C; sin embargo, siguen siendo inferior al encontrado por el CIOH en 2009 (30.29°C) [3]. Para la época seca de 2013 fue reportado que los departamentos de Sucre y Córdoba presentaron temperaturas entre 29.4 y 33.1°C y entre 29.1 y 31.9°C [18]; para el Golfo de Morrosquillo durante 2009 fue registrado un promedio de 28.34°C [3], resultado muy similar al presentado en este estudio. De acuerdo con lo anterior, se aprecia que durante la época de lluvias existen aguas más cálidas a causa de las precipitaciones y durante época seca son más frías, debido al intercambio de calor de los vientos Alisios con la superficie del mar; es así como cada época conserva sus niveles típicos de temperaturas para aguas marino-costeras.

En cuanto a la salinidad, el Caribe colombiano ha reportado para 2009 variaciones entre 26.7 y 35.4 de salinidad [3]; entre 1 y 33.7 en la época de lluvias de 2011; entre 1.1 y 33.2 en la época seca de 2012; entre 3.3 y 39.5 durante época lluviosa de 2012, y 18.4 y 27.4 en la época seca 2013 [22]. Para los departamentos de Sucre y Córdoba no se reportaron variaciones significativas, siendo congruente con el cambio del régimen de lluvias y las descargas de efluentes continentales, influyendo espacial y temporalmente en el cuerpo de agua; por consiguiente, en época de lluvia, al aumentar el aporte de aguas dulces estratifican el agua de mar disminuyendo la salinidad en la superficie y siendo superior hacia el fondo de la columna de agua [31]. Por el contrario, para época seca los procesos oceanográficos generan desplazamiento de la masa de agua superficial a causa de los vientos Alisios y la capa subsuperficial aumenta la salinidad [3, 22]. Esto responde a los resultados obtenidos en esta investigación, en la cual se obtuvieron salinidades de 14.13 a 36.3, siendo

inferiores en la superficie de la columna de agua y superiores en el fondo de la misma.

El pH define el grado de acidez o alcalinidad del agua marina, encontrándose que fue ligeramente alcalino durante la época lluviosa de 2012 y época seca de 2013. En los departamentos de Sucre y Córdoba se encontraron valores entre 6.5 y 8.5 [18]. Para 2009 el Golfo reportó pH entre 8.0 y 8.6 [3]; asimismo, fueron reportados para 2008 valores de 7.2 y 8.7 [30]. Es así como en el presente estudio se encontraron, durante la época de lluvias, valores entre 7.6 y 7.9, hallándose en niveles normales, debido a que el mar presenta un sistema amortiguador sujeto a los procesos de escorrentía y lixiviados ricos en ácidos, y la baja producción de CO<sub>2</sub>, a causa de la oxidación de la materia orgánica, sumada la importancia en procesos químicos y biológicos realizados por organismos marinos [22, 29].

El oxígeno disuelto es considerado como la cantidad de oxígeno presente en el agua y el sustento de la vida animal y vegetal. Cantidades altas indican una mejor calidad del agua, en cambio la disminución del mismo puede causar la muerte de los organismos de ambientes costeros [29]. Durante 2008 presentó variaciones entre 4.5 y 8.7 mg/l; para 2009 el CIOH reportó concentraciones mayores de 4.7 – 10.5 mg/l [3]. Entre tanto RedCAM obtuvo para el departamento de Sucre concentraciones >4.0 mg/l (4.6 – 7.5 mg/l), siendo el valor mínimo de calidad del agua para la preservación de la flora y fauna de estos ecosistemas marinos; datos muy similares a este estudio que establece concentraciones entre 3.07 y 7.07 mg/l para la época seca y entre 2.77 y 4.54 mg/l durante la época de lluvia [22].

Dado lo anterior, los intervalos presentados para la época seca se encuentran dentro de las condiciones óptimas para la preservación de la flora y fauna, según la norma colombiana a excepción de la estación de Tolú (3.07 mg/l), posiblemente por la influencia de los vientos Alisios o fenómenos oceanográficos como turbulencias de las corrientes que atrapan oxígeno con el movimiento del agua disolviéndola fácilmente [29].

Para la época de lluvia los niveles se encuentran muy por debajo de los límites recomendables, manifestando la posibilidad de ambientes anóxicos que ponen en riesgo la vida marina, posiblemente por la producción y consumo a causa de procesos biológicos o la degradación

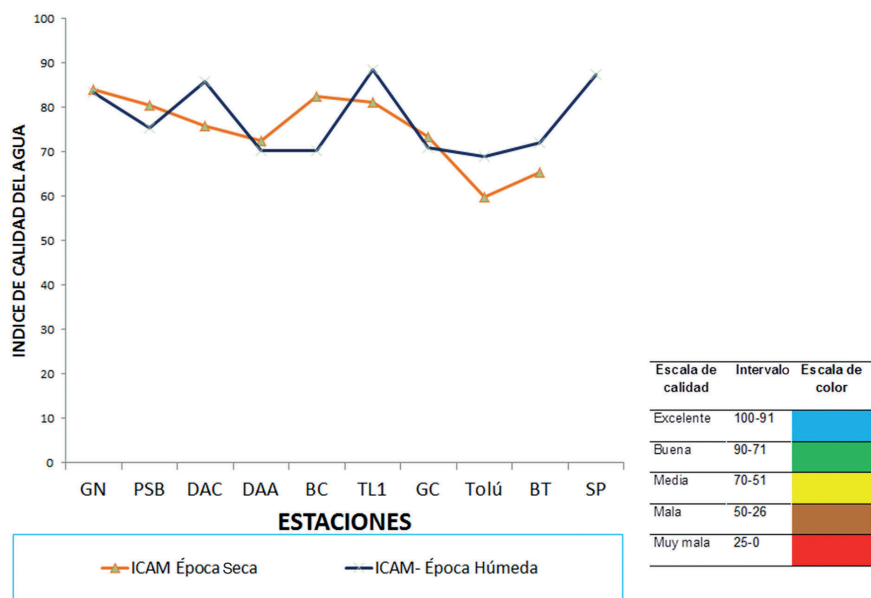


de materia orgánica, la cual ha sido aportada por descargas [31]. Este comportamiento fue manifestado contrariamente por [32] y [3] para esta época climática.

En esta investigación fue posible identificar relaciones entre componentes fisicoquímicos y microbiológicos para cada una de las épocas, encontrándose una fuerte asociación en cada una de las épocas. En primer lugar existe una estrecha relación entre los nutrientes y los indicadores de contaminación fecal, en especial en el fondo de la columna de agua, esto responde a lo mencionado por [33], quien menciona que en ambientes con ausencia de oxígeno las bacterias o los coliformes fecales usan los nitratos como fuente de respiración, degradándolo a nitritos, por lo tanto responde al aumento de recuento de estos indicadores con bajas concentraciones. De otro lado, [34] expone la relación entre indicadores biológicos como zooplancton y fitoplancton a las concentraciones de nutrientes, debido a que son los primeros organismos en consumirlo e incorporarlo fisiológicamente. Este autor menciona que algunas bacterias patógenas en cuerpos hídricos se adhieren temporalmente a la superficie de estos indicadores en condiciones adversas, por lo que permite afirmar que a mayores concentraciones de nutrientes, mayor cantidad de indicadores biológicos y a su vez microorganismos patógenos.

Asimismo, la relación de la salinidad y la temperatura, encontrándose que durante la época seca, a causa de los vientos Alisios, estos causan un desplazamiento de la capa superficial, siendo remplazada por una masa de agua profunda, provocando una disminución de la temperatura y aumento de la salinidad. Del mismo modo, durante la época de lluvia, el aporte de aguas dulces de los ríos hacia el mar causa una disminución de la salinidad en la capa superficial [35]. La relación de estas variables al componente microbiológico responde a que a mayores temperaturas es favorecida la viabilidad e incremento del ritmo de reproducción de microorganismos; así también, la baja salinidad infiere en el efecto bactericida que controla la población microbiana presente en el agua [34].

En general, como se observa en la Figura 6, las estaciones del presente estudio reportaron una calidad del agua entre media y buena, con mayores variaciones durante la época de lluvia, como las registradas en las estaciones Desembocadura Arroyo Alegría, Bahía Cispatá y Golfo Centro, las cuales presentaron un deterioro de la calidad del agua, pasando de una calidad del agua buena a media. Por el contrario, la estación de Boca de Tinajones presentó una mejoría en la calidad de sus aguas de media a buena para esta época. Por otra parte, la estación de Tolu no presentó ninguna variación de la calidad del agua durante estas dos épocas climáticas del año.



**Figura 6.** Variación del índice de calidad del agua del Golfo de Morrosquillo durante la época seca y de lluvia de 2013.

Es importante determinar la calidad del agua del golfo para establecer las condiciones en que se encuentra el cuerpo hídrico al ser continuamente influenciada por procesos naturales y actividades antrópicas. Se obtuvo como resultado del índice de calidad del agua por la Fundación de Saneamiento Nacional, que el agua del Golfo de Morrosquillo se encuentra en categoría buena para aguas de uso recreacional de contacto primario y secundario. Entre las variaciones encontradas en las dos épocas, las estaciones de Desembocadura Arroyo Cascajo, TLU1 y Boca de Tinajones mejoraron durante la época de lluvia; mientras que el resto disminuyó, dada las consecuencias mencionadas que traen las precipitaciones al aumentar el caudal de cuerpos hídricos, que aportan grandes cantidades de partículas, nutrientes y coliformes al mar, variando las propiedades del agua. Sin embargo, sólo una estación presentó un deterioro de la calidad del agua, pasando de buena a media.

Estos resultados fueron similares a los reportados por RedCAM, durante la época seca y de lluvia de 2010, lo cual categoriza la calidad del agua del golfo entre excelente y buena [36]. Para 2011 se reportó como buena para la época de lluvia, y en 2012 como excelente y buena en la época seca [10]. En la época de lluvias de 2012 fue establecida como agua de buena calidad. Finalmente, para 2013 RedCAM reportó que los departamentos de Sucre y Córdoba presentaron aguas buenas para la preservación de la flora de las para zonas costeras y estuarinas [22]. Por lo tanto, el Golfo de Morrosquillo mantiene una variación normal en su calidad del agua; sin embargo, se detecta una baja en su calidad para épocas de lluvias, debido a las características climáticas del régimen que genera cambios en la matriz de agua.

## CONCLUSIONES

En el Golfo de Morrosquillo se registraron mayores niveles de indicadores fecales durante octubre (época de lluvia) que en marzo (época seca), debido al incremento de las precipitaciones y el aumento de caudal de ríos y arroyos que contribuyen al aporte de nutrientes, sedimentos y coliformes totales.

Asimismo, es importante mencionar que el registro de altas concentraciones de indicadores de contaminación fecal en sistemas de playas, genera un riesgo directo para la salud de la población costera, debido al uso recreacional que es dado a este cuerpo hídrico (contacto primario

y secundario), como fue reportado en los recuentos de coliformes totales sobre la estación ubicada en Tolú ( $29 \times 10^3$  UFC/100mL), datos que superan los límites permisibles de la CEE.

En cuanto al índice de calidad del agua se determinó que las condiciones del cuerpo hídrico son de calidad buena, semejante a los resultados obtenidos por la RedCAM durante 2012 y 2013. Asimismo, se observó que la calidad del agua se reduce en época de lluvias, debido al constante aporte de aguas continentales al golfo que contribuye a la disposición de nutrientes, sólidos suspendidos, coliformes totales y fecales que afectan las características propias del agua, como salinidad, oxígeno disuelto, temperatura y transparencia. Es claro que el índice de calidad del agua es útil para resumir información y conocer, de forma general, las condiciones de un cuerpo de agua para sus diferentes usos.

## AGRADECIMIENTOS

Las autoras expresan agradecimientos al CIOH, en cabeza de su Director y al personal del laboratorio, Gustavo Tous, Jhon Salón, Karen López, Gisela Mayo, Hugo Javier Llamas y Liseth Arregoces, por su apoyo en la obtención y procesamiento de muestras, asesoría y acompañamiento para el desarrollo del presente artículo.

## LITERATURA CITADA

- [1] Molina, A., Molina, C., Giraldo, L., Parra, C. y Chevillo P. Dinámica marina y sus efectos sobre la geomorfología del Golfo de Morrosquillo. Bol. Cient. CIOH (15): 93-113, 1994.
- [2] Afanador Franco, F., Castro Mercado, I. F., Torres Otálvaro, N. Información espacial para el control y administración del litoral en el golfo de Morrosquillo, Caribe Colombiano. Bol. Cient. CIOH (25): 94-109, 2007.
- [3] Cañón Páez, M., Quintana-Saavedra, D. M., López, R., Tous, G., Llamas, H. Caracterización fisicoquímica del Golfo de Morrosquillo y tanques de lastre de buques de tráfico marítimo. Bol. Cient. CIOH (28): 84-126, 2010.
- [4] Steer, R., Arias-Isaza, F., Ramos, A., Sierra-Correa, P., Alonso, D. y Ocampo, P. Documento base para la elaboración

- de la "Política Nacional de Ordenamiento Integrado de las Zonas Costeras Colombianas". Documento de consultoría para el Ministerio del Medio Ambiente. Serie Publicaciones Especiales No. 6, 1997.
- [5] Baptista, M. P., Castaño, N., Cárdenas, D., Gutiérrez, F. P., Gil, D. L. y Lasso, C. A. (eds). Análisis de riesgo y propuesta de categorización de especies introducidas para Colombia. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá, D. C., Colombia. 2010. 200 pp.
- [6] Dirección General de Ecosistemas, Ministerio del Medio Ambiente. Política nacional ambiental para el desarrollo sostenible de los espacios oceánicos y las zonas costeras e insulares de Colombia. Bogotá D.C., diciembre de 2000.
- [7] Documento Regional, República de Colombia, Departamento Nacional de Planeación. Documento regional para promover el desarrollo sostenible del Golfo de Morrosquillo, isla de San Bernardo e Isla Fuerte. Santiago de Tolú, julio 14 de 2010.
- [8] Hernández, M., Zamora, A. y López, A. Lineamientos de manejo integrado de la UAC estuarina río Sinú-Golfo de Morrosquillo. Serie de Documentos Generales Invemar-CVS No. 53. Santa Marta, 2012. P. 79.
- [9] Comisión Colombiana del Océano (CCO). Plan de Acción-Política Nacional del Océano y los Espacios Costeros (Pnoec 2011-2014). Edición 1. 2012.
- [10] Invemar. Informe del Estado de los Ambientes y Recursos Marinos Costeros en Colombia (2011). Serie de Publicaciones Periódicas No. 8. Agosto de 2012. Santa Marta, Colombia. 2012.
- [11] Invemar y Ministerio Medio Ambiente. Formulación del Plan de Manejo Integrado de la Unidad Ambiental Costera Estuarina del Río Sinú y Golfo de Morrosquillo, Caribe Colombiano. Fase I-Caracterización y Diagnóstico. Santa Marta, Colombia. Febrero de 2002.
- [12] Conpes 3177. Acciones Prioritarias y Lineamientos para la Formulación del Plan Nacional de Manejo de Aguas Residuales. Bogotá, D. C., 15 de julio de 2002.
- [13] Tyagi<sup>1</sup>, S., Sharma, B., Singh<sup>1</sup>, P., Dobhal, R. Water Quality Assessment in Terms of Water Quality Index. American Journal of Water Resources, 2013, Vol. 1, No. 3, 34-38.
- [14] NTC ISO IEC 17025:2005
- [15] APHA-AEEA-WEF, 2005. Standard Methods for the Examination of Water and Waster Water, 21Th Edition, Washintgon, D. C., 4500-O-G. Pp. 4-141 a 4-143.
- [16] Directiva 76/160/CEE del Consejo, de 8 de diciembre de 1975, relativa a la calidad de las aguas de baño.
- [17] Agency, U.S. Environmental Protection. Bacteriological Ambient Water Quality Criteria for Marine and Fresh Recreational Waters. Office of Research and Development Office of Water Regulations Microbiology and Toxicology, 2008.
- [18] Organización Marítima Internacional (OMI). Directrices para el control y la gestión del agua de lastre de los buques a fin de reducir al mínimo la transferencia de organismos acuáticos perjudiciales y agentes patógenos. Resolución A.868. Aprobado el 7 de noviembre de 1997.
- [19] Norma mexicana CE-CAA 001/89. Criterios Ecológicos de la Calidad del Agua del 13/12/1989.
- [20] Quintana-Saavedra, D. M. y Cañón Páez, M.L. Calidad sanitaria del agua de mar del Golfo Morrosquillo y del agua de lastre de buques de tráfico internacional. Bol. Cient. CIOH (28):127-153, 2010.
- [21] Sistema de Información Ambiental Marina (SIAM)-Red de Vigilancia de la Calidad Ambiental Marina (Redcam). Invemar. Página web: <http://cinto.invemar.org.co/siam/redcam/index.jsp>.
- [22] Vivas Aguas, L. Diagnóstico y evaluación de la calidad de las aguas marinas y costeras del Caribe y Pacífico colombiano. Serie de Publicaciones Periódicas del Invemar No. 4 (2014). Red de Vigilancia para la Conservación y Protección de las Aguas Marinas y Costeras de Colombia (Redcam).

- Informe Técnico 2013. Invemar. Santa Marta.
- [23] Aguirre, M., Vidal, V., Herrera, J., Valdés, D., Herrera, M. y Olvera, M. Ballast water as a vector of coral pathogens in the gulf of México: the case of the cayo arcas coral reef. *Marine Pollution Bulletin*, Vol. 56. 2008. Pp. 1570–1577.
- [24] Darakas, E., Koumoulidou, T., Lazaridou, D. Fecal indicator bacteria declines via a dilution of wastewater in seawater. *Desalination*, 2009. Pp. 1008–1015.
- [25] Alcaldía del municipio Santiago de Tolú. Página web: <http://www.santiagodetolu-sucre.gov.co/index.shtml#1>
- [26] Kay, D., Stapleton, C., Wyer, M., McDonald, A., Crowther, J., Paul, N., Jones, K., Francis, C. et al. Decay Of Intestinal Enterococci concentration in High Energy Estuarine And Coastal Waters: towards real time T90 values for modeling faecal indicators in recreational water. *Water research* Vol 39 (2005). Pp. 655 -667.
- [27] Quintero Rendón, L., Agudelo, E., Quintana, Y., Cardona S., Osorio A. Determinación de indicadores para la calidad del agua, sedimentos y suelos, marinos y costeros en puertos colombianos. *Revista Gestión y Ambiente*. Diciembre 2010. Volumen 12 No. 3. Pp 51-64.
- [28] Miravet, M. E., Ramírez, O., Montalvo, J., Delgado, Y. y E., Perigó. Numerical and qualitative index to measure water quality in recreational Cuban coastal waters. *Serie Oceanológica*. No.5, 2009 ISSN 2072-800x. Instituto de Oceanología. Ave.1ra e/184 y 186. Rpto. Flores. Ciudad Habana. Cuba.
- [29] Torres Vega, F. Desarrollo y aplicación de un ICA para ríos de Puerto Rico. Tesis de maestría en ciencias en ingeniería civil. Universidad de Puerto Rico, Recinto universitario de Mayagüez. 2009.
- [30] Barreto, M., Barrera, R., Benavides, J., Cardozo, E., Hernández, H., Marín, L. Diagnóstico Ambiental del Golfo de Morrosquillo (Punta Rada-Tolú), una aplicación de sensores remotos y SIG como contribución al manejo integrado de zonas costeras. Noviembre 25 de 1998–23 de julio de 1999.
- [31] Castro, L. Estudio de la contaminación microbiológica y su relación con los parámetros físico químicos en la bahía de Cartagena (Sector Laguito-Castillo grande). *Bol. Cient. CIOH* (16), 1997.
- [32] Invemar. Diagnóstico y evaluación de la calidad ambiental marina en el Caribe y Pacífico colombiano. Red de Vigilancia para la Conservación y Protección de las Aguas Marinas y Costeras de Colombia (Redcam). Technical Report. 301 pp. 2008.
- [33] Gallant, J. Contaminación de aguas subterráneas: nitratos y coliformes. *Revista Ambiente*. Ed. 27. Barcelona. 2006-2007. Pag. 13-16.
- [34] Quiñónez, E., Vásquez, C., Pedroche, F., Moreno, L. y Suárez, R. Presencia de los géneros *Vibrio* y *Salmonella* y detención de coliformes fecales en almejas del Golfo de México. *Revista Hidrobiológica* 200, 10(2): 131-138.
- [35] Muller, K. Interrelaciones entre salinidad-temperatura en Bahía de Santa Marta. *An. Inst. Inv. Mar – Punta Betín* 11. Santa Marta Colombia. 1979. Pp. 219–226.
- [36] Cañón Páez, M., Vanegas, T., Gavilán, M., Morris, L., Tous, G. Dinámica planctónica, microbiológica y fisicoquímica en cuatro muelles de la bahía Cartagena y buques de tráfico internacional. *Boletín Científico CIOH* No 23, pág. 46-59 (2005).