

EVALUACIÓN DE CONTAMINACIÓN MICROBIOLÓGICA ANTROPOGÉNICA EN AGUA DE MAR DE LA BAHÍA DE CARTAGENA-BOLÍVAR DURANTE ABRIL A JULIO DE 2019

Alejandra Gómez Cuartas *¹, Karen López Suarez †¹

¹Dirección General Marítima, Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Caribe (CIOH); Barrio El Bosque, Isla de Manzanillo, Bolívar

PALABRAS CLAVE

Calidad aguas recreativas
Contacto primario
Indicadores de
contaminación microbiológicos
Coliformes totales
Enterococcus spp
Escherichia coli, aguas marinas

KEYWORDS

Recreational water quality
Primary contact
Microbiological
contamination indicators
Total coliforms
Enterococcus spp
Escherichia coli
Marine waters

Recibido. 27 Noviembre 2019

Aceptado. 20 Enero 2020

RESUMEN: Durante abril a julio del 2019, se llevó a cabo un monitoreo donde se evaluó la calidad del agua en 26 estaciones distribuidas en tres sectores de la bahía de Cartagena (Bahía Externa, Interna y sector Isla Manzanillo). Se establecieron los niveles y las fuentes de contaminación en cada estación. Se encontró que parámetros fisicoquímicos como el pH, la temperatura, la salinidad, el oxígeno disuelto y turbidez, están dentro de los intervalos exigidos por la norma y son aptos para aguas marinas con uso recreativo de contacto primario. Para los parámetros microbiológicos (Coliformes totales, *Enterococcus spp*, *Escherichia coli*) se encontró que la Bahía interna y la Isla Manzanillo son los sectores que tienden a tener mayor concentración microbiana de coliformes totales. La Isla Manzanillo es el sector donde hubo presencia de todos los indicadores microbiológicos y, mayor presencia de *Enterococcus spp*. Mientras que en la Bahía Externa se observa mayor concentración de *E. coli*. También se evidencia que en temporada de lluvia aumenta la concentración microbiana. Como conclusión la bahía permanece bajo la influencia de caños, aguas negras y continua siendo alimentada con heces humanas y de animales de sangre caliente.

ABSTRACT: From April to July 2019, water quality monitoring was carried out evaluating 26 stations distributed in three sectors of Cartagena Bay (External, Internal Bay, and Manzanillo Island sector). The levels and sources of contamination were established at each station. Physicochemical parameters such as pH, temperature, salinity, dissolved oxygen, and turbidity, were within the required ranges by the standard and are suitable for marine waters with the recreational use of primary contact. As for the microbiological parameters (Total coliforms, *Enterococcus spp*, *Escherichia coli*), the highest microbial concentration of total coliforms were found in the internal bay and Manzanillo Island. The greater presence of *Enterococcus spp* was found in Manzanillo Island, the sector where there was the presence of all microbiological indicators. The highest concentration of *E. coli* was observed in the External Bay. It is also evident that the microbial concentration increases during the rainy season. In conclusion, the bay remains under the influence of sewage pipes and continues to be fed with human feces of warm-blooded animals.

Cítese: Gómez Cuartas, A. y López Suarez, K. (2019). EVALUACIÓN DE CONTAMINACIÓN MICROBIOLÓGICA ANTROPOGÉNICA EN AGUA DE MAR DE LA BAHÍA DE CARTAGENA-BOLÍVAR DURANTE ABRIL A JULIO DE 2019. Boletín Científico CIOH, 39(1), 23-32. <https://doi.org/10.26640/22159045.2020.499>.

INTRODUCCIÓN

El mar es de gran importancia para los seres humanos. Desde la antigüedad hasta nuestros días en él se han generado procesos estratégicos, industriales, políticos y militares como: transporte marítimo, transferencia de mercancías, mantenimiento y equilibrio de procesos biológicos. Adicionalmente, constituye un medio importante para el ciclo global de carbono y proporciona desarrollos económicos con actividades como la pesca, el turismo y la recreación humana (UNESCO, 2006).

El Instituto Nacional de Salud (2016), documentó casos de enfermedades causadas por la contaminación microbiológica de las aguas del mar. Las enfermedades diarreicas, respiratorias, intoxicaciones y dermatitis fueron las más comunes. En este informe además se indicó que las enfermedades causadas por bacterias marinas, coincidían con la época de lluvia.

Por tal motivo, se debe velar por la calidad de las aguas marinas, conservar sus características fisicoquímicas y microbiológicas, prevenir posibles contaminaciones por causas naturales o antropológicas y así evitar que los bañistas, deportistas y turistas queden expuestos a enfermedades y/o complicaciones médicas a causa de la mala calidad del agua (Vivas Aguas y Navarrete Ramírez, 2014).

La calidad de agua para fines recreativos de contacto primario se reguló mediante el informe de la Organización

Mundial de la Salud (OMS) en el 2003 y el Ministerio de Salud (Decreto 1594, 1984) en el decreto 1594 de 1984 Art.42. La OMS, 2003 establece a los *Enterococcus spp* como parámetro microbiológico indicador de calidad para las aguas y playas marinas de uso recreativo con un valor de referencias < 500 NMP/100ml como aguas aptas (OMS, 2003); además la OMS, asegura que este microorganismo es más resistente a las condiciones halófilas del ambiente que otros indicadores (Díaz et al., 2010; USEPA, 2012). Por otro lado, en el artículo 42, se establecen los valores permisibles para los parámetros microbiológicos y fisicoquímicos: Coliformes totales >1000 NMP/100ml, *E. coli*. >200 NMP/100ml, oxígeno disuelto: 70% concentración de saturación, pH 5.0 - 9.0 unidades (Decreto 1594, 1984).

Dado que, estos microorganismos pueden causar a la población enfermedades como: diarrea, gastroenteritis, enfermedades respiratorias, conjuntivitis, dermatitis, disentería, obstrucción abdominal y fiebre tifoidea (OMS, 2003; Díaz et al., 2010; USEPA, 2012; Instituto Nacional de Salud, 2016), son considerados indicadores de presencia de contaminación fecal antropogénica y/o de animales de sangre caliente en agua marina, sin embargo no tienen alta resistencia a las condiciones halófilas del mar, por lo que proporcionan información sobre contaminación fecal reciente.

Cartagena es considerada como uno de los principales destinos turísticos en Colombia (UNESCO, 1984). Mensualmente

*agomez@dimar.mil.co

†KLopez@dimar.mil.co

es frecuentada por un alto flujo de turistas nacionales e internacionales que encuentran en sus aguas una oportunidad para realizar deportes náuticos como: natación, triatlón, hidroterapia, navegación a vela y usar motos acuáticas e inflables móviles. Por lo tanto, al ser un lugar donde se realizan múltiples actividades recreativas de contacto primario, es primordial asegurar que sus aguas se encuentren en óptimas condiciones.

Por consiguiente, este trabajo evaluó la calidad microbiológica en la que se encuentra la bahía, considerando los lineamientos microbiológicos establecidos por la norma. Se establecieron tres zonas - Bahía Interna, Externa y el sector Isla Manzanillo, con el propósito de generar alertas ambientales para prevenir a la población y garantizar a los bañistas una buena calidad del agua.

ÁREA DE ESTUDIO

Cartagena está ubicada al norte occidente de Colombia, entre la latitud $10^{\circ} 26' - 10^{\circ} 16' N$ y longitud $75^{\circ} 30' - 75^{\circ} 36' W$ (Tuchkovenko y Rondón, 2002). Tiene una extensión de 609.1 km². Cartagena, cuenta con un sistema de alimentación acuática diverso, dado que, en sus aguas confluyen aguas del mar abierto, la escollera submarina, el canal de varadero, aportes del canal de Dique, algunos vertederos, caños, lagos, lagunas y ciénagas (Quintana *et. al.*, 2008). Por esta razón, el estudio dividió la bahía de Cartagena en 3 sectores: Bahía Interna, Externa y sector Isla Manzanillo (Figura 1), teniendo en cuenta sus actividades económicas y sus principales fuentes de alimentación acuática.

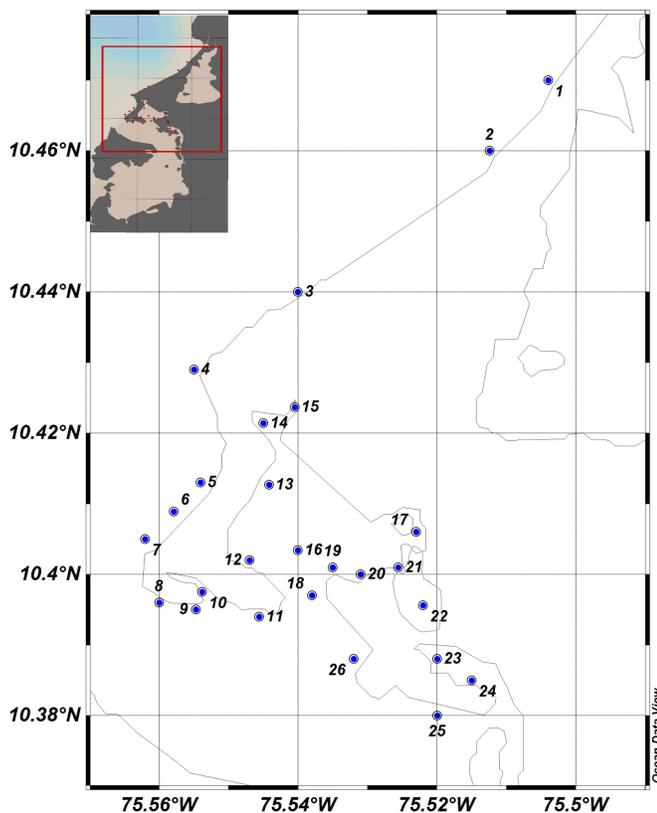


FIGURA 1. Estaciones (1-26) ubicadas en la Bahía de Cartagena. Las estaciones están sectorizadas, Bahía Externa E1-E10, Bahía Interna E11-E17 e Isla Manzanillo E18-E26. Ocean Data View (ODV).

Bahía Externa Cartagena

En este trabajo se considera a la Bahía Externa como una extensión de costa que abarca desde la Bocana (Figura 1. E1)

hasta la esquina de la Escollera (Figura 1. E8), incluyendo el sector de Castillo Grande (Figura 1. E9-E10). Es la zona con mayor actividad hotelera; principalmente porque la playa está abierta al público, tiene una profundidad máxima de 1.6 m y está alimentada directamente por el mar abierto. Por ende, se realizan actividades acuáticas, como: viajes en lancha, alquiler de flotadores/inflables/botes/motos acuáticas y deportes como natación, triatlón, navegar a vela, entre otros (Tabla 1).

TABLA 1. Coordenadas de las estaciones Bahía Externa E1-E10. Estaciones Bahía Interna E11-E17. Estaciones Bahía Interna E11-E17.

Nombre	Coordenadas en decimales
E1 B.Ext	10,4589 N -75,5111 W
E2 B.Ext	10,4544 N -75,5156 W
E3 B.Ext	10,4358 N -75,5399 W
E4 B.Ext	10,4225 N -75,5547 W
E5 B.Ext	10,4075 N -75,5542 W
E6 B.Ext	10,4031 N -75,5581 W
E7 B.Ext	10,4006 N -75,5619 W
E8 B.Ext	10,3958 N -75,5647 W
E9 B.Ext	10,3922 N -75,5594 W
E10 B.Ext	10,3942 N -75,5561 W
E11 B.Int	10,3903 N -75,5461 W
E12 B.Int	10,3956 N -75,5508 W
E13 B.Int	10,4103 N -75,5475 W
E14 B.Int	10,4214 N -75,5494 W
E15 B.Int	10,4194 N -75,5431 W
E16 B.Int	10,3981 N -75,5425 W
E17 B.Int	10,4089 N -75,5247 W
E18 I.Manz	10,3944 N -75,5381 W
E19 I.Manz	10,3931 N -75,5325 W
E20 I.Manz	10,3953 N -75,5303 W
E21 I.Manz	10,3947 N -75,5261 W
E22 I.Manz	10,3922 N -75,5247 W
E23 I.Manz	10,3878 N -75,5269 W
E24 I.Manz	10,3828 N -75,5231 W
E25 I.Manz	10,3822 N -75,5272 W
E26 I.Manz	10,3900 N -75,5333 W

Bahía Interna Cartagena

Para este estudio, comprende desde Castillo Grande (Figura 1. E11) hasta la Ciénaga de Las Quintas (Figura 1. E17). Tiene una profundidad promedio de 20 m. Está alimentada principalmente por la Ciénaga de la Virgen, las Quintas, la laguna de San Lázaro, efluentes del canal de Dique, sistema de caños, aguas vertidas y lagos internos ubicadas al interior de la ciudad (Establecimiento Público Ambiental-Epa Universidad de Cartagena, 2015). Dentro de la Bahía Interna se realizan actividades económicas, de comercialización, turística y deportivas como: transporte acuático, viajes en catamarán y lanchas rápidas, navegación en veleros, sky acuático, prácticas de buceo-salvamento-submarinistas entre otros (Tabla 1).

Sector Isla Manzanillo

En esta isla se encuentra ubicada una base militar, por ende, no es abierta para turistas ni para la población en general; sin embargo, se realizan actividades militares como:

buceo, salvamento, navegación a vela, natación, triatlón, entre otros. Está influenciada por aguas del por emisario submarino, efluentes del canal de Dique, vertimientos industriales y domésticos (EPA y U. Cartagena, 2015). Para esta investigación se abarcó todo el perímetro de la Isla (Figura 1. E18-E26) (Tabla 1).

METODOLOGÍA

Se debe evaluar la calidad de las aguas de la Bahía de Cartagena mediante monitoreos constantes. En vista de que, es una zona influenciada por descargas de aguas continentales, vertimientos de aguas domésticas e industriales sin el adecuado tratamiento, caños clandestinos, liberación de lixiviados, residuos sólidos, efluentes del canal de Dique, desechos y descargas de actividades relacionadas con el transporte marítimo -cruceros nacionales e internacionales y/o embarcaciones menores- como aguas de lastre y de sentina. Este artículo da información del grado de contaminación microbiológica antropogénica en el agua de mar de la bahía de Cartagena-Bolívar dividida en la bahía interna, bahía externa e Isla de manzanillo durante los meses de abril a julio del año 2019, a partir de la cuantificación de los microorganismos indicadores (Coliformes totales, *E. coli.* y *Enterococcus spp*) mediante la metodología de sustrato enzimático definido (Colilert y Enterolert) expresada en unidades de NMP/100ml.

Muestreo

Para el análisis de los parámetros microbiológicos se recolectaron las muestras de agua en superficie mediante botellas Schott de vidrio de borosilicato, previamente esterilizadas en autoclave a 121°C, 15 minutos y 15 psi, sumergiéndolas a 30 cm de la superficie de la interfase agua-aire. Posteriormente las muestras microbiológicas fueron almacenadas en neveras de campo a 4°C hasta su análisis en laboratorio.

Adicionalmente, se registraron variables fisicoquímicos *in-situ* para lo cual se utilizaron sondas multiparamétricas y se siguieron los procedimientos de temperatura y pH (4500-H-B, *Electrometric Method*, SM Ed. 22), oxígeno disuelto (4500-O-G *Method de membrane*, SM Ed. 21), salinidad (2520 B, *Electrical Conductivity Method*, SM Ed. 22), turbidez (2130 B, *Nephelometric Method*, SM Ed. 23). También se registraron las condiciones climáticas-temporales como: nubosidad, hora, fecha y georreferencias.

En el laboratorio, las muestras de microbiología, se procesaron siguiendo los lineamientos del inserto de Coliformes Totales, *E. coli* y *Enterococcus spp* suministrados por el proveedor IDEXX Quanti-Tray® de Colilert y Enterolert que utiliza la tecnología de sustrato definido (DST). Se analizaron de acuerdo con los métodos, Colilert SM 9223B Ed 22 y Enterolert SM 9230 Ed 22 respectivamente. Para ello, se tuvo en cuenta la turbidez de cada muestra, se diluyó según su concentración (100, 10-1, 10-2). Luego, se agregó a la dilución el contenido del vial que contiene el reactivo Colilert y Enterolert. Posteriormente, se vertió la solución a la bandeja de recuento bacteriano Quanti-Tray® y se procedió a sellar por calor en el equipo sellador IDEXX Quanti-Tray®. Finalmente, se incubó durante 24h a 35°C los Coliformes y a 41°C los *Enterococcus spp*.

RESULTADOS

La concentración de coliformes totales durante el mes de abril en promedio fue de 2117 NMP/100ml, cuyo intervalo de variación estuvo entre 9 y 7173 NMP/100ml; las estaciones que

presentaron mayor concentración fueron E17, E9, E15, mientras que, las estaciones con menor concentración fueron E13, E7, E5. En mayo, se evidencia un aumento de la concentración de coliformes totales el promedio alcanzó 25379 NMP/100ml, con un intervalo de variación entre 99 y 241957 NMP/100ml; las estaciones con mayor concentración fueron E14, E2 y E9, por otro lado, las que presentaron menor concentración de coliformes fueron E3 y E7. En junio, la concentración promedio de coliformes totales fue de 5302 NMP/100ml con intervalos que estuvieron entre 409 y 14300 NMP/100ml; las estaciones con mayor concentración fueron E17, E22, E10 y las estaciones con menor concentración fueron E1, E7 y E4 (Figura 2). En julio el promedio fue de 6743 NMP/100ml con una variación de 63 hasta 77010 NMP/100ml; las estaciones con mayor concentración microbiana fueron E15, E23 y E19 y las de menor E7, E8 y E9 (Figura 2).

En cuanto a *Escherichia coli* en el mes de abril, el promedio fue de 284 NMP/100 ml, con un intervalo de variación entre 9 y 2.668 NMP/100 ml; las estaciones con mayor concentración fueron la E22, E9, E8, mientras que, las de menor concentración fueron E7, E5, E6. En mayo, la concentración se elevó a 2.257 NMP/100 ml, con un intervalo que osciló entre 99 y 23326 NMP/100 ml; las estaciones con mayor concentración de *E. coli.* fueron E14, E9 y E15 y las de menor concentración fueron E3, E10, E16 (Figura 3). En el mes de junio, descendió la concentración a 175 NMP/100 ml, con intervalos entre 10 y 620 NMP/100 ml, siendo el muestreo con menor concentración de *E. coli.* durante el tiempo muestreado; las estaciones con mayor concentración fueron E17 y E22 y las de menor concentración fueron E16, E13 y E20 (Figura 3). En julio, el intervalo osciló entre 9 y 1310 NMP/100 ml, con promedio de 301 NMP/100 ml; las estaciones con mayor concentración microbiana fueron E23 y E19 y las que tuvieron menor concentración fueron E11, E7, E8 y E9 (Figura 3).

Por otro lado, la concentración de *Enterococcus spp* durante el periodo de muestreo fue baja. En abril, osciló entre 9 y 548 NMP/100 ml, con un promedio de 152 NMP/100 ml, de concentración; la estación con la concentración más alta fue E22, mientras que, las otras estuvieron por debajo de 500 NMP/100 ml (Figura 4). En mayo, el promedio registro 120 NMP/100 ml, con un intervalo de variación de 9 hasta 1112 NMP/100ml; E12 fue la estación que obtuvo mayor concentración microbiana con 1122 NMP/100ml, las demás estaciones estuvieron con concentraciones por debajo de 500 NMP/100ml (Figura 4). Durante junio, se obtuvo un promedio de 337 NMP/100 ml de *Enterococcus spp* con intervalos entre 9 y 1553 NMP/100 ml, siendo el mes con mayor concentración para este indicador, al tener 5 estaciones (E19, E14, E8, E5 y E20) por encima de 500 NMP/100 ml (Figura 4). En el mes de julio, descendió la concentración de *Enterococcus spp*, alcanzando el promedio más bajo de todo el muestreo 81 NMP/100 ml con intervalos que oscilaron entre 9 y 645 NMP/100 ml, teniendo solo a la E23 por encima de 500 NMP/100 ml (Figura 4).

Respecto a los parámetros fisicoquímicos, el pH registro valores entre 7.92 y 8.52 Unidades, la turbidez, entre 4.40 a 5.40 NTU, el oxígeno disuelto se mantuvo entre 5.13 y 9.06 mg/L, la temperatura osciló entre 27.90 a 32.10°C y la salinidad, varió entre 25.72 ppm y 32.52 ppm.

DISCUSIÓN

En los resultados obtenidos de esta investigación, se evidencia que un alto porcentaje de las aguas muestreadas en la bahía no son aptas para ser utilizadas con fines recreativos de contacto primario. Dado que, no cumplen con los intervalos

la norma (Decreto 1594, 1984; OMS, 2003) y las estaciones

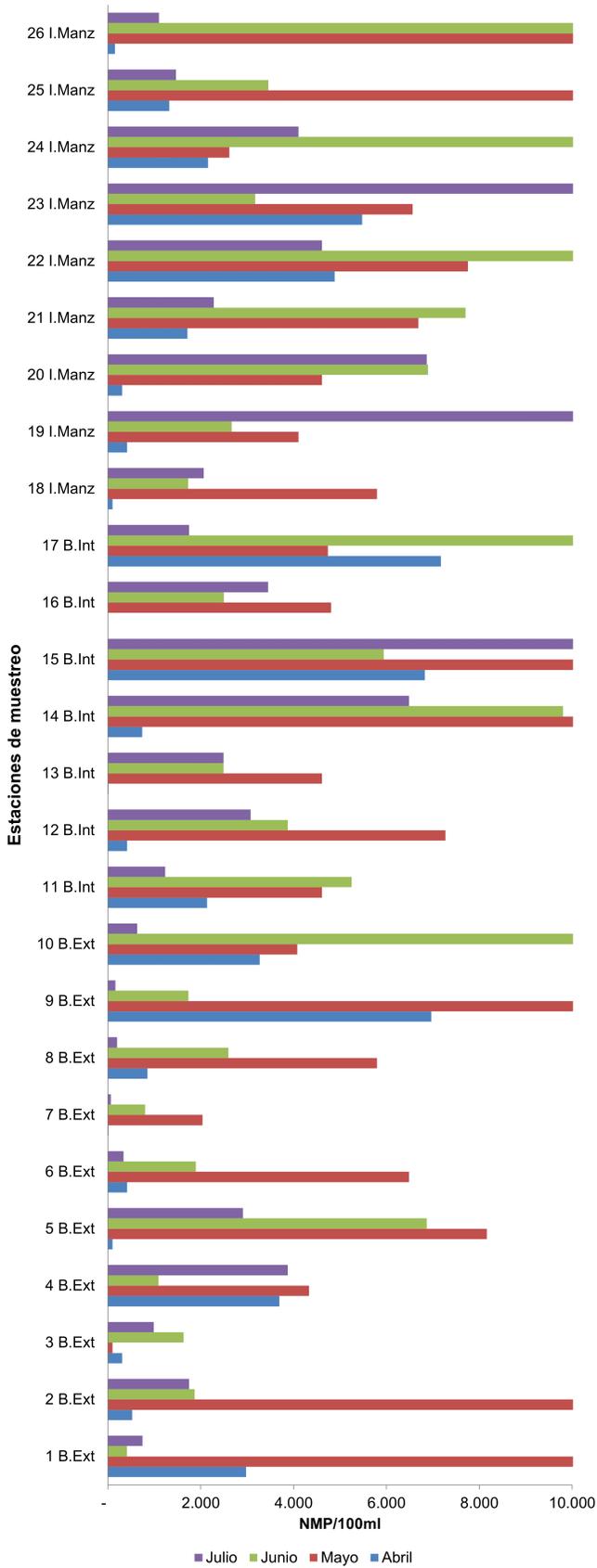


FIGURA 2. Comportamiento/concentración de coliformes totales durante los meses de muestreo.

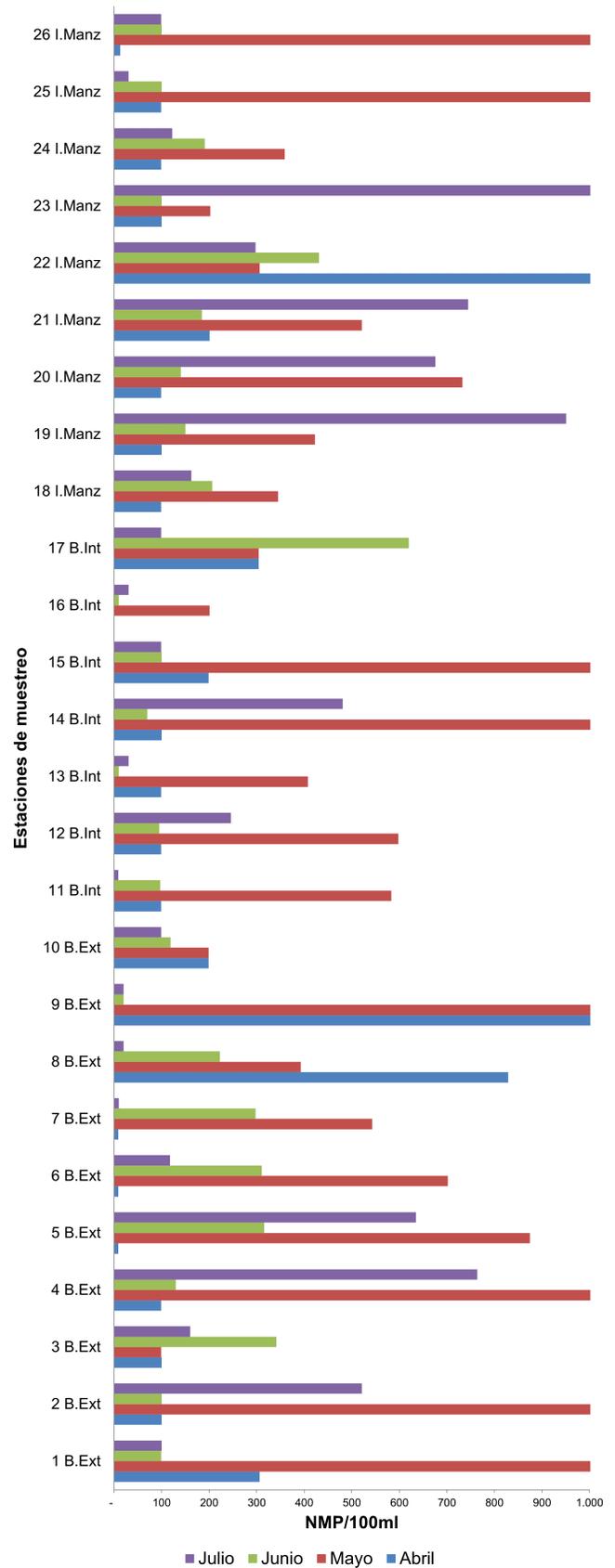


FIGURA 3. Comportamiento/concentración de E. coli durante los meses de muestreo.

requeridos en los parámetros microbiológicos descritos en

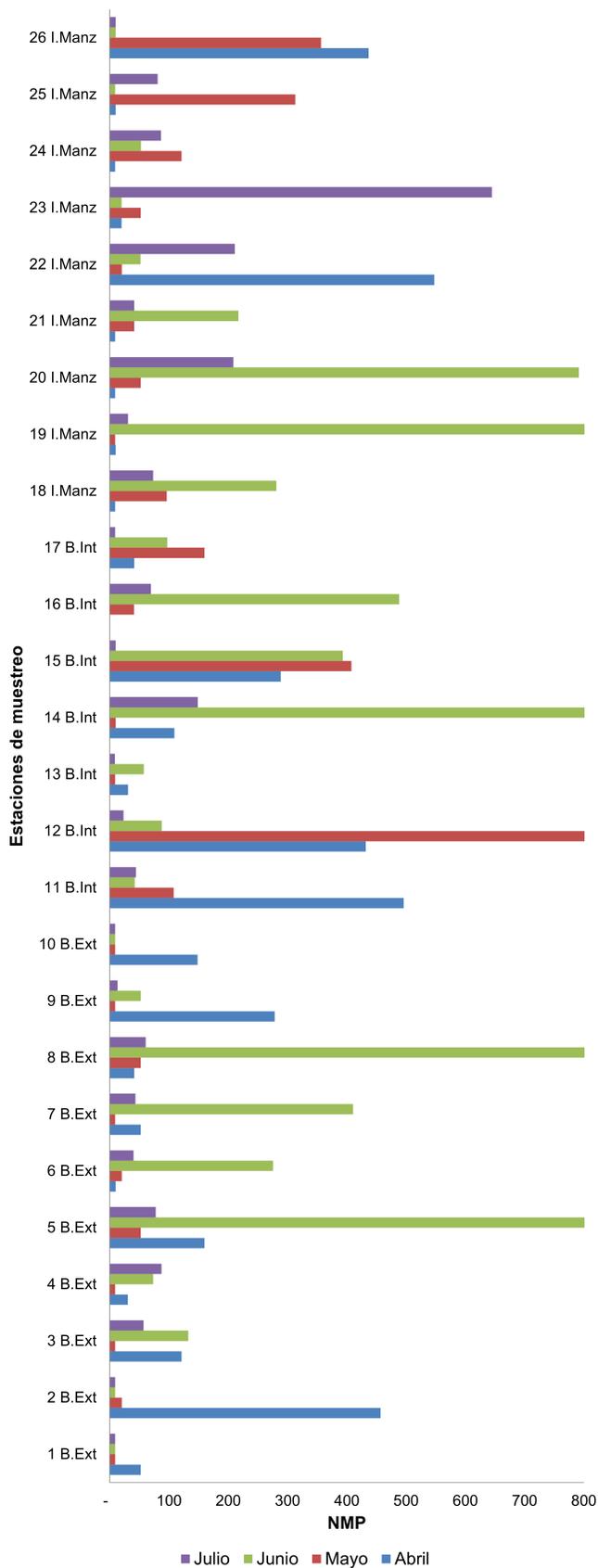


FIGURA 4. Comportamiento/concentración de *Enterococcus spp* durante los meses de muestreo.

sobrepasan los límites permisibles para Coliformes totales <1000
 Bol. Cient. CIOH 39(1): 23-32

NMP/100ml, *E. coli.* <200 NMP/100ml y *Enterococcus spp* <500 NMP/100ml.

Con el fin de establecer el nivel de contaminación de los diferentes sectores de la bahía de Cartagena, se modificaron los niveles, los porcentajes, se agregó el parámetro de *Enterococcus spp* y se añadieron los colores a la tabla propuesta por Garay et al., (2001) para expresar contaminación. En la Tabla 1, se determinan los intervalos de concentración microbiana y el color, según el nivel de contaminación para cada parámetro, teniendo en cuenta los límites de las normas (Tabla 1) (Decreto 1594, 1984; OMS, 2003).

En la Bahía Externa se observó mayor concentración de *E. coli.* (Figura 5). Mientras que en la Bahía interna y la Isla Manzanillo son los sectores que tienden a tener mayor concentración microbiana de coliformes totales. Adicionalmente, la Isla Manzanillo fue el lugar con mayor presencia de *Enterococcus spp*.

Por otra parte, se evidencian cambios no solo en las localidades sino también en las diferentes épocas del año, encontrando a la mayoría de las estaciones en color rojo (Figura 5). En la Figura 6 se evidenciará el porcentaje de las estaciones con el nivel máximo de contaminación, el nivel 4. “Agua no apta para uso recreativo de contacto primario = color Rojo” y las estaciones que sobrepasan el límite permisible= color vino tinto (Tabla 1) y sus variaciones según la época del año dado que la dinámica microbiana se ve influenciada por las variaciones temporales.

Estas variaciones climáticas son debido a que la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT) para estos meses de diciembre hasta abril, se ubica cerca al Pacífico aumentando las precipitaciones en suroccidente del país (DIMAR, 2019abcd). Para la última semana de abril e inicios de mayo comienza la primera temporada de lluvias en Cartagena, dado que la ZCIT comienza a ascender al norte del país (DIMAR, 2019; IDEAM, 2014).

Por ende, para los meses de mayo a julio, aumentan las precipitaciones con variada frecuencia e intensidad en la ciudad de Cartagena de la siguiente manera: abril con aprox. 20 mm de precipitaciones correspondiente a 2 días de lluvia, mayo con aprox. 120 mm correspondiente a 12 días de lluvia, junio con aprox. 100 mm correspondiente a 10 días de lluvia y julio con aprox. 110 mm correspondiente a 11 días de lluvia (IDEAM, 2014; DIMAR, 2019abcd).

Como se observa en la Figura 6, las concentraciones de coliformes totales se elevaron en el mes de mayo y permanecieron elevadas durante los meses de junio y julio. Correspondiendo al comienzo de las precipitaciones en Cartagena (IDEAM, 2014; DIMAR, 2019abcd). Se observa que el 100% de las aguas de la Bahía Interna e Isla Manzanillo son aguas en nivel 4, durante los meses de lluvia; según el parámetro de coliformes totales. Para los meses de mayo y junio, el 70-90% de las aguas de la Bahía Externa también son aguas en nivel 4 de contaminación.

La dominancia de los coliformes totales en todas las estaciones con respecto a los otros microorganismos se debe a que los coliformes son un grupo conformado por cuatro géneros (*Escherichia*, *Klebsiella*, *Enterobacter*, *Citrobacter*) de bacterias entéricas que comparten características bioquímicas y morfológicas (Neal Guentzel, 1996). Además, los coliformes totales se pueden encontrar en otros hábitats como: suelos, plantas, aguas, intestinos de animales de sangre caliente; por consiguiente, pueden transferirse de otras matrices diferentes a las heces humanas, como: heces de animales domésticos

TABLA 2. Valoración conceptual indicadora del nivel de contaminación microbiológica.

Parámetro	NIVEL 0	NIVEL 1	NIVEL 2	NIVEL 3	NIVEL 4
Coliformes totales	0%-24% >1000	25%-50% >1000	51% - 75 % >1000	76% - 100 % >1000	>1000
<i>E. coli</i>	0%-24% >200	25%-50% >200	51% - 75 % >200	76% - 100 % >200	>200
<i>Enterococcus spp</i>	0%-24% >500	25%-50% >500	51% - 75 % >500	76% - 100 % >500	>500

y no domésticos, vertimientos industriales, lixiviados y aguas domésticas (Neal Guentzel, 1996).

Por consiguiente, la elevada concentración de coliformes totales en la Bahía Interna e Isla Manzanillo (Figura 5), se puede relacionar con la presencia de caños, aguas vertidas, lagos internos que confluyen en estos sectores; adicionalmente, la influencia en época de lluvia de las aguas del canal de Dique. Para estas dos zonas, los más afectados son los militares, puesto que, son los que realizan actividades de contacto primario (salvamento, buceo, navegación) dentro de la bahía; debido a que, la población civil no tiene contacto primario estas aguas, solo secundario.

En contraste, en el Figura 6, también se observa que la concentración de *E. coli*. tiene mayor fluctuación en el tiempo. El mes con mayor concentración para este parámetro fue mayo, determinando que el 80-90% de las aguas de las estaciones muestreadas son aguas nivel 4 para los tres sectores. Mientras que, para los meses de abril y mayo solo el 10% de las aguas fueron aguas nivel 4 en los sectores de la Bahía Interna e Isla Manzanillo, y del 30 al 40% fueron nivel 4 en la Bahía Externa.

Estas fluctuaciones se pueden deber principalmente a variaciones meteorológicas. En temporada de sequía, los microorganismos se sedimentan y se adhieren a los sedimentos, puesto que allí hay mayor disponibilidad de nutrientes y pueden formar consorcios (Nazar, 2007), disminuyendo su concentración en la superficie; aumentando el porcentaje de aguas superficiales nivel 0, 1, 2 y 3.

Por otro lado, cuando es temporada de lluvia los microorganismos aumentan su concentración en la superficie. Es por lo anterior que las concentraciones microbianas más altas de Coliformes totales y *E. coli*., fueron reportadas durante la temporada de lluvias fuertes y transitorias, como el caso de mayo a julio. Existe una relación entre el aumento de los microorganismos y las precipitaciones (Molina Bolívar Jiménez Pitre, 2017). Cuando llueve se generan recirculaciones dentro de la columna de agua, movimientos entre masas de aguas marinas y continentales, el sedimento se resuspende, provocando que los microorganismos y los nutrientes que se encontraban adheridos a los sedimentos se disuelvan en el agua, encontrándose disponibles, aumentando la productividad microbiana (Meneses Ortégón, 2013) elevando el porcentaje de aguas nivel 4.

La Bahía Externa fue el lugar con mayor concentración de *E. coli*. (Figura 5). Esta es la zona con mayor actividad hotelera, la que contiene mayor flujo de turistas realizando deportes acuáticos. Por ende, se debe realizar monitoreos constantes y si es el caso cerrar la playa hasta que las condiciones de salubridad mejoren. Ya que a nivel mundial se han reportado estudios realizados en costa-playa en donde los bañistas presentan enfermedades dermatológicas, digestivas, en mucosas, relacionadas con microorganismos fecales (Díaz et al., 2010).

Para el caso de la Bahía interna, se debe tener especial cuidado al momento de realizar maniobras de aguas de lastre en temporada de lluvia, puesto que, en el mes de mayo, *E. coli*. sobrepasa la concentración permisible por la norma, en la

mayoría de las estaciones. Por lo cual, se recomienda restringir la toma de agua de lastre en época lluviosa dentro de la Bahía Interna de Cartagena o de ser necesario extremar medidas de seguridad (gestión adecuada) antes de ser deslastrada en su puerto. Con el fin de evitar y prevenir el riesgo de contaminación microbiológica en los puertos internacionales y disminuir el intercambio de especies nativas.

Por otra parte, la Isla Manzanillo es el sector donde hubo presencia de todos los indicadores microbiológicos; y, mayor presencia de *Enterococcus spp* (Figura 5). Posiblemente debido a que, en esta Isla está ubicado el emisario submarino que deposita los desechos de las aguas domésticas de la ciudad a 25 metros de distancia de la costa (EPA y U. Cartagena, 2015). En época de lluvias y de fuertes vientos, las corrientes pueden distribuir los desechos a diferentes sectores de la bahía; afectando los ecosistemas acuáticos, cambiando la dinámica de la bahía, por consiguiente, disminuyendo la salud de la población y finalmente, alterando las actividades económicas y los servicios eco-sistémicos.

Adicionalmente, el indicador *Enterococcus spp* se comporta de manera diferente y se observa que su concentración no es tan elevada respecto a los otros indicadores. El porcentaje de aguas que no cumple con este parámetro está entre el 0 y el 20% (Figura 6). Esto se debe posiblemente a la distribución y velocidad de proliferación del microorganismo, ya que a pesar de ser más resistentes a las condiciones de salinidad que los coliformes, su densidad es menor y su abundancia en la naturaleza es más reducida en comparación con los coliformes (Larrea et. al., 2013)

Asimismo, no se encuentra tendencias relacionadas entre la concentración de *Enterococcus spp* y las temporadas meteorológicas. Posiblemente, la poca variación de estos microorganismos se deba su adaptación a las condiciones de salinidad en el agua (hasta 6,5% de NaCl), cambios de temperatura (10 a 45°C) y variaciones de pH (6-9.6) (Díaz et al., 2007). Al llover, la salinidad disminuye, la temperatura descende, el pH se neutraliza debido al intercambio iónico y el oleaje provocado por la lluvia, aumentando la concentración de oxígeno disuelto, disminuyendo la concentración de CO₂, por consiguiente, bajando el pH (USEPA, 2012). Por lo anterior, en sequía *Enterococcus spp* probablemente se mantiene en los sedimentos y las condiciones fisicoquímicas permanecen estables. Por ende, este microorganismo no varía su crecimiento, sin importar si las condiciones son lluviosas o secas. Por éstas y más razones, la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (USEPA, de las siglas en inglés) en 1986 recomendó el uso de *Enterococcus spp* como un indicador de contaminación fecal de aguas con fines recreativos (Díaz et. al., 2007; USEPA, 2012). Entre más concentrado esté éste microorganismo en las aguas, más posibilidades existen de que los bañistas contraigan enfermedades respiratorias de tipo febriles agudas y/o gastrointestinales (OMS, 2003).

Aunque el recuento de *Enterococcus spp* no presentó altas concentraciones en comparación con otros los parámetros. Este microorganismo es de vital importancia para identificar las fuentes de contaminación (fecal humano, fecal animal, mixta) de

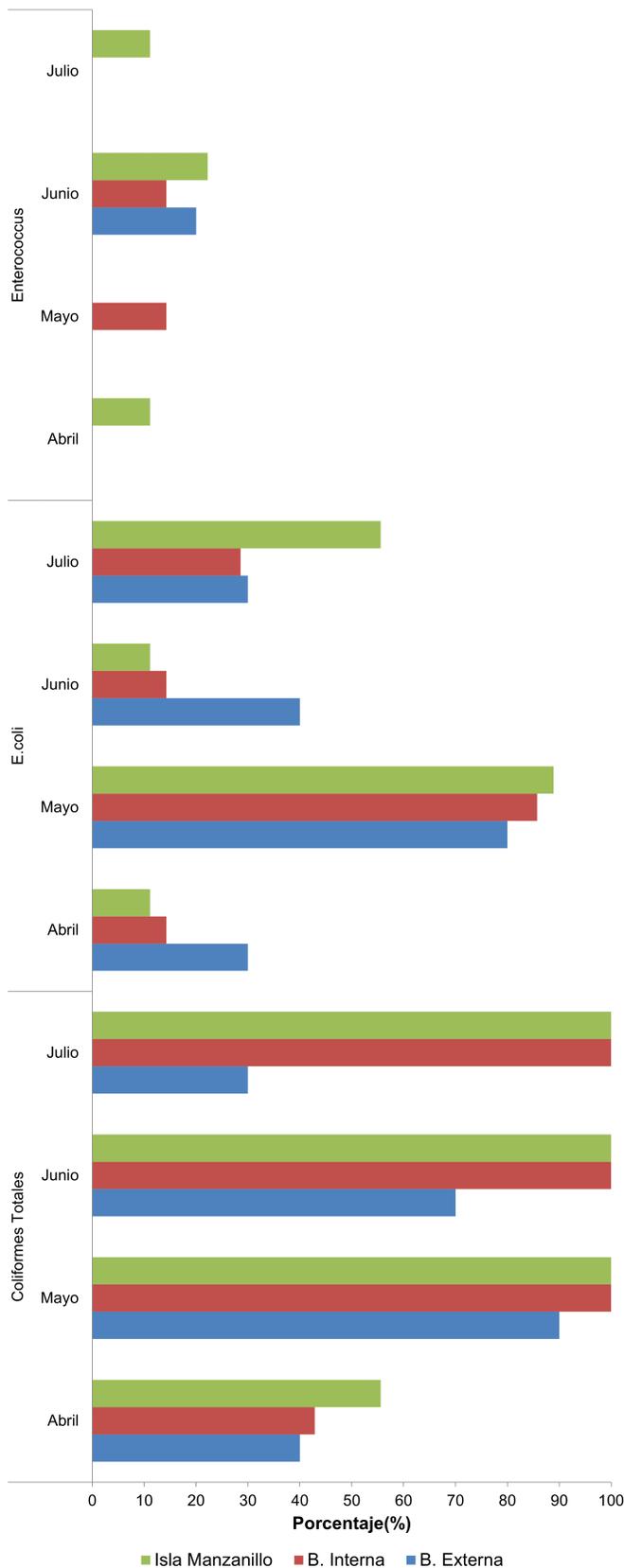


FIGURA 5. Porcentaje de estaciones de la Bahía de Cartagena que no son aptas para el uso recreativo de contacto primario

la bahía. Teniendo en cuenta la relación *E. coli.*/ *Enterococcus spp* (*EC/E*); se ha determinado en aguas que: si, el cociente de $EC/C \geq 4$ Contaminación fecal de origen humano; cuando

$EC/C \leq 0.7$ Contaminación fecal de origen animal; Sin embargo, para el intervalo entre 0.7 y 4 no se ha podido determinar el origen de la contaminación, ya que puede ser mixta (combinación de heces humanas y animales) (Larrea et al., 2013). En la siguiente Figura 7 se evidencia las fuentes de contaminación teniendo en cuenta la relación mencionada anteriormente.

Como se observa en la Figura 6, las concentraciones de coliformes totales se elevaron en el mes de mayo y permanecieron elevadas durante los meses de junio y julio. Correspondiendo al comienzo de las precipitaciones en Cartagena (IDEAM, 2014; DIMAR, 2019abcd). Se observa que el 100% de las aguas de la Bahía Interna e Isla Manzanillo son aguas en nivel 4, durante los meses de lluvia; según el parámetro de coliformes totales. Para los meses de mayo y junio, el 70-90% de las aguas de la Bahía Externa también son aguas en nivel 4 de contaminación.

La dominancia de los coliformes totales en todas las estaciones con respecto a los otros microorganismos se debe a que los coliformes son un grupo conformado por cuatro géneros (*Escherichia*, *Klebsiella*, *Enterobacter*, *Citrobacter*) de bacterias entéricas que comparten características bioquímicas y morfológicas (Neal Guentzel, 1996). Además, los coliformes totales se pueden encontrar en otros hábitats como: suelos, plantas, aguas, intestinos de animales de sangre caliente; por consiguiente, pueden transferirse de otras matrices diferentes a las heces humanas, como: heces de animales domésticos y no domésticos, vertimientos industriales, lixiviados y aguas domésticas (Neal Guentzel, 1996).

Por consiguiente, la elevada concentración de coliformes totales en la Bahía Interna e Isla Manzanillo (Figura 5), se puede relacionar con la presencia de caños, aguas vertidas, lagos internos que confluyen en estos sectores; adicionalmente, la influencia en época de lluvia de las aguas del canal de Dique. Para estas dos zonas, los más afectados son los militares, puesto que, son los que realizan actividades de contacto primario (salvamento, buceo, navegación) dentro de la bahía; debido a que, la población civil no tiene contacto primario estas aguas, solo secundario.

En contraste, en el Figura 6, también se observa que la concentración de *E. coli.* tiene mayor fluctuación en el tiempo. El mes con mayor concentración para este parámetro fue mayo, determinando que el 80-90% de las aguas de las estaciones muestreadas son aguas nivel 4 para los tres sectores. Mientras que, para los meses de abril y mayo solo el 10% de las aguas fueron aguas nivel 4 en los sectores de la Bahía Interna e Isla Manzanillo, y del 30 al 40% fueron nivel 4 en la Bahía Externa.

Estas fluctuaciones se pueden deber principalmente a variaciones meteorológicas. En temporada de sequía, los microorganismos se sedimentan y se adhieren a los sedimentos, puesto que allí hay mayor disponibilidad de nutrientes y pueden formar consorcios (Nazar, 2007), disminuyendo su concentración en la superficie; aumentando el porcentaje de aguas superficiales nivel 0, 1, 2 y 3.

Por otro lado, cuando es temporada de lluvia los microorganismos aumentan su concentración en la superficie. Es por lo anterior que las concentraciones microbianas más altas de Coliformes totales y *E. coli.*, fueron reportadas durante la temporada de lluvias fuertes y transitorias, como el caso de mayo a julio. Existe una relación entre el aumento de los microorganismos y las precipitaciones (Molina Bolívar y Jiménez Pitre, 2017). Cuando llueve se generan recirculaciones dentro de la columna de agua, movimientos entre masas de aguas marinas y continentales, el sedimento se resuspende, provocando que los

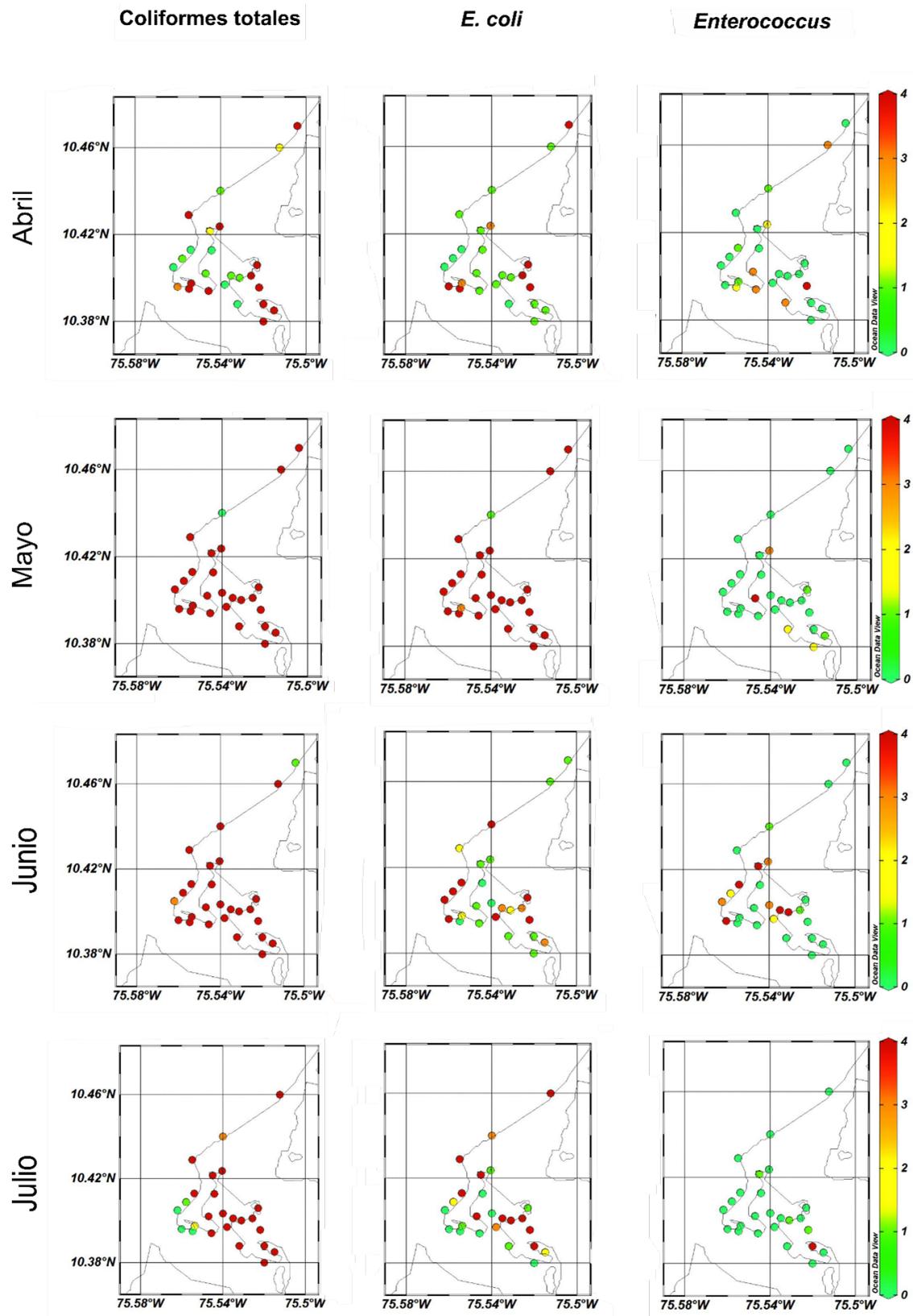


FIGURA 6. Mapas de Valoración indicadora del nivel de contaminación microbiológica para Coliformes totales, *E. coli* y *Enterococcus spp* (de izquierda a derecha), durante los meses de abril, mayo, junio y julio (de arriba hacia abajo) en la bahía de Cartagena.

microorganismos y los nutrientes que se encontraban adheridos a los sedimentos se disuelvan en el agua, encontrándose disponibles, aumentando la productividad microbiana (Meneses Ortegón, 2013) elevando el porcentaje de aguas nivel 4.

La Bahía Externa fue el lugar con mayor concentración de *E. coli*. (Figura 5). Esta es la zona con mayor actividad hotelera, la que contiene mayor flujo de turistas realizando deportes acuáticos. Por ende, se debe realizar monitoreos

constantes y si es el caso cerrar la playa hasta que las condiciones de salubridad mejoren. Ya que a nivel mundial se han reportado estudios realizados en costa-playa en donde los bañistas presentan enfermedades dermatológicas, digestivas, en mucosas, relacionadas con microorganismos fecales (Díaz *et al.*, 2010).

Para el caso de la Bahía interna, se debe tener especial cuidado al momento de realizar maniobras de aguas de lastre en temporada de lluvia, puesto que, en el mes de mayo, *E. coli.* sobrepasa la concentración permisible por la norma, en la mayoría de las estaciones. Por lo cual, se recomienda restringir la toma de agua de lastre en época lluviosa dentro de la Bahía Interna de Cartagena o de ser necesario extremar medidas de seguridad (gestión adecuada) antes de ser deslastrada en su puerto. Con el fin de evitar y prevenir el riesgo de contaminación microbiológica en los puertos internacionales y disminuir el intercambio de especies nativas.

Por otra parte, la Isla Manzanillo es el sector donde hubo presencia de todos los indicadores microbiológicos; y, mayor presencia de *Enterococcus spp* (Figura 5). Posiblemente debido a que, en esta Isla está ubicado el emisario submarino que deposita los desechos de las aguas domésticas de la ciudad a 25 metros de distancia de la costa (EPA y U. Cartagena, 2015). En época de lluvias y de fuertes vientos, las corrientes pueden distribuir los desechos a diferentes sectores de la bahía; afectando los ecosistemas acuáticos, cambiando la dinámica de la bahía, por consiguiente, disminuyendo la salud de la población y finalmente, alterando las actividades económicas y los servicios eco-sistémicos.

Adicionalmente, el indicador *Enterococcus spp* se comporta de manera diferente y se observa que su concentración no es tan elevada respecto a los otros indicadores. El porcentaje de aguas que no cumple con este parámetro está entre el 0 y el 20% (Figura 6). Esto se debe posiblemente a la distribución y velocidad de proliferación del microorganismo, ya que a pesar de ser más resistentes a las condiciones de salinidad que los coliformes, su densidad es menor y su abundancia en la naturaleza es más reducida en comparación con los coliformes (Larrea *et al.*, 2013).

Asimismo, no se encuentran tendencias relacionadas entre la concentración de *Enterococcus spp* y las temporadas meteorológicas. Posiblemente, la poca variación de estos microorganismos se deba su adaptación a las condiciones de salinidad en el agua (hasta 6,5% de NaCl), cambios de temperatura (10 a 45°C) y variaciones de pH (6-9.6) (Díaz *et al.*, 2007). Al llover, la salinidad disminuye, la temperatura desciende, el pH se neutraliza debido al intercambio iónico y el oleaje provocado por la lluvia, aumentando la concentración de oxígeno disuelto, disminuyendo la concentración de CO₂, por consiguiente, bajando el pH (USEPA, 2012). Por lo anterior, en sequía *Enterococcus spp* probablemente se mantiene en los sedimentos y las condiciones fisicoquímicas permanecen estables. Por ende, este microorganismo no varía su crecimiento, sin importar si las condiciones son lluviosas o secas. Por éstas y más razones, la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (USEPA, de las siglas en inglés) en 1986 recomendó el uso de *Enterococcus spp* como un indicador de contaminación fecal de aguas con fines recreativos (Díaz, Salas, Fernández de la Paz Martínez, 2007; USEPA, 2012). Entre más concentrado esté éste microorganismo en las aguas, más posibilidades existen de que los bañistas contraigan enfermedades respiratorias de tipo febriles agudas y/o gastrointestinales (OMS, 2003).

Aunque el recuento de *Enterococcus spp* no presentó altas

concentraciones en comparación con otros los parámetros. Este microorganismo es de vital importancia para identificar las fuentes de contaminación (fecal humano, fecal animal, mixta) de la bahía. Teniendo en cuenta la relación *E. coli./ Enterococcus spp* (EC/E); se ha determinado en aguas que: si, el cociente de EC/C \geq 4 Contaminación fecal de origen humano; cuando EC/C \leq 0.7 Contaminación fecal de origen animal; Sin embargo, para el intervalo entre 0.7 y 4 no se ha podido determinar el origen de la contaminación, ya que puede ser mixta (combinación de heces humanas y animales) (Larrea *et al.*, 2013). En la siguiente Figura 7 se evidencia las fuentes de contaminación teniendo en cuenta la relación mencionada anteriormente.

CONCLUSIONES

Según la valoración de los niveles de contaminación realizada, se evidencia que en la Bahía Externa se observa mayor concentración de *E. coli.*. Mientras que en la Bahía interna y la Isla Manzanillo son los sectores que tienden a tener mayor concentración microbiana de coliformes totales. Adicionalmente, la Isla Manzanillo fue el lugar con mayor presencia de *Enterococcus spp*.

Por otra parte, las concentraciones de coliformes totales y *E. coli.* se elevaron en el mes de mayo y permanecieron elevadas durante los meses de junio y julio. Durante la lluvia se observa que el 100% de las aguas de la Bahía Interna e Isla Manzanillo son aguas en nivel 4 para coliformes; y, que el 80-90% de las aguas de las estaciones muestreadas son aguas nivel 4 para los tres sectores para *E. coli.*

Teniendo en cuenta la relación *E. coli./ Enterococcus spp* (EC/E); la bahía permanece bajo la influencia de caños, aguas residuales y continua siendo alimentada con heces humanas y de animales de sangre caliente.

REFERENCIAS

- Díaz Álvarez, M., Salas Izquierdo, C. C., Fernández de la Paz, M. T., y Martínez Izquierdo, A. (2007). Características clínicas y epidemiológicas de las infecciones por enterococos en el niño. *Revista Cubana de Pediatría*, 79(1).
- Díaz Pérez, M., Rodríguez Martínez, C., y Zhurbenko, R. (2010). Aspectos fundamentales sobre el género *Enterococcus* como patógeno de elevada importancia en la actualidad. *Revista Cubana de Higiene y Epidemiología*, 48(2), 147-161.
- Dirección General Marítima, DIMAR. (2019a). Pronóstico climático del Caribe colombiano -Julio- Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Caribe (CIOH). <https://cecoldodigital.dimar.mil.co/2460/>.
- Dirección General Marítima, DIMAR. (2019b). Pronóstico climático del Caribe colombiano -Junio-. Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Caribe (CIOH). <https://cecoldodigital.dimar.mil.co/2459/>.
- Dirección General Marítima, DIMAR. (2019c). Pronóstico climático del Caribe colombiano -Mayo- Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Caribe (CIOH). <https://cecoldodigital.dimar.mil.co/2456/>.
- Dirección General Marítima, DIMAR. (2019d). Pronóstico climático del Caribe colombiano -Abril- Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Caribe (CIOH) <https://cecoldodigital.dimar.mil.co/2458/>.
- Establecimiento Público Ambiental-Epa Universidad de Cartagena (2015). Diseño del sistema inteligente de monitoreo de la calidad ambiental del distrito de Cartagena. Convenio Interadministrativo 0133-2015 celebrado entre el

Establecimiento Público Ambiental (EPA) y la Universidad de Cartagena (U. Cartagena).

Garay, J., Marín, B., Calvano, N., Ramírez, G., Troncoso, W., y Medina, O. (2001). Diagnóstico y evaluación de la calidad ambiental marina en el Caribe y Pacífico Colombiano. Red de vigilancia para la protección y conservación de la calidad de las aguas marinas y costeras. Tomo II. Informe Final. INVEMAR. 320 pp.

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia, IDEAM. (2014). Características climatológicas de ciudades principales y municipios turísticos.

Instituto Nacional de Salud. (2016). Enfermedades vehiculizadas por agua (EVA) e índice de riesgo de la calidad del agua (IRCA) en Colombia, 2015. INS, 2016. 101 p. ISBN: 978-958-13-0174-4: 1.

Larrea Murrell, J. A., Rojas Badía, M. M., Romeu Álvarez, B., Rojas Hernández, N. M., y Heydrich Pérez, M. (2013). Bacterias indicadoras de contaminación fecal en la evaluación de la calidad de las aguas: revisión de la literatura. *Revista CENIC. Ciencias Biológicas*, 44(3), 24-34.

Meneses Ortégón, L. A. (2013). Bacterioplancton de tres lagunas de alta montaña tropical andina en el departamento de Boyacá, Colombia. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. <https://repositorio.uptc.edu.co/handle/001/2008>

Ministerio de Salud. (1984). Usos del agua y residuos líquidos. Decreto 1594 de 26 de junio. Colombia. 52 pp.

Molina-Bolívar, G. y Jiménez-Pitre, I., 2017. - Análisis de la contaminación por Coliformes Termotolerantes en el estuario del río Ranchería, La Guajira (Colombia). *Bol. Cient. Mus. Hist. Nat. U. de Caldas*, 21 (2): 41-50.

Nazar C, J. (2007). Biofilms bacterianos. *Revista de Otorrinolaringología y Cirugía de Cabeza y Cuello*, 67(1). <https://doi.org/10.4067/S0718-48162007000100011>

Guentzel, M. N. (1996). Escherichia, Klebsiella, Enterobacter, Serratia, Citrobacter, and Proteus. In S. Baron (Ed.), *Medical Microbiology*. (4th ed.). University of Texas Medical Branch at Galveston

Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura, UNESCO. (2006). Declaración de la Comisión Oceanográfica Intergubernamental de la UNESCO. Hablemos de los océanos.

Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura, UNESCO. (1984). Cartagena como patrimonio Histórico y Cultural de la Humanidad. Serial No. 285.

Organización Mundial de la Salud. (2003). Guidelines for safe recreational water environments: Coastal and fresh waters (Vol. 1). World Health Organization. 219, Ginebra.

Quintana Saavedra, D., Cañón M. L., y Castro, I. (2008). Evaluación de la calidad microbiológica del agua de lastre de buques de tráfico internacional en Bahía de Portete y Puerto Bolívar, Guajira. *Boletín Científico CIOH*, 26, 143-156. <https://doi.org/10.26640/22159045.190>

Tuchkovenko, Y. S., y Rendón, S. R. (2002). Estudio del comportamiento de la contaminación bacteriana en la Bahía de Cartagena. *Boletín Científico CIOH*, 20, 56-67. <https://doi.org/10.26640/22159045.109>

United States Environmental Protection Agency, USEPA. (2012). Water Quality Standards Handbook. <https://www.epa.gov/wqs-tech/water-quality-standards-handbook>

Vivas-Aguas, L. J. y S. M. Navarrete-Ramírez. (2014). Protocolo Indicador Calidad de Agua (ICAM_{PEF}). Indicadores de monitoreo biológico del Subsistema de Áreas Marinas Protegidas (SAMP). Invemar, GEF y PNUD. Serie de Publicaciones Generales

del Invemar No. 69, Santa Marta. 32 pp.