

ESTUDIO DE CALIDAD SANITARIA DE AGUA Y ARENA DE PLAYAS RECREATIVAS EN ACAPULCO, GUERRERO

STUDY OF SANITARY QUALITY OF WATER AND SAND OF RECREATIONAL BEACHES IN ACAPULCO, GUERRERO

Villanueva Vargas D. D.¹, Fernández Rendón, C. L.,¹ Ramírez Romero, P.^{1*}

¹Laboratorio de Ecotoxicología, Departamento de Hidrobiología, División CBS, Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa. Av. San Rafael Atlixco 186, Col. Vicentina, Iztapalapa, CDMX, 09340. México

*Autor de correspondencia: patt@xanum.uam.mx

Recibido: 03/abril/2024

Aceptado: 19/junio/2024

RESUMEN

Los coliformes y enterococos son bacterias indicadoras de contaminación fecal utilizadas para evaluar la calidad sanitaria del agua en playas recreativas. Esta calidad sanitaria se enfoca al riesgo que tienen los turistas por exposición a agua marina contaminada, sin considerar a la arena, a pesar de que existe un contacto directo con este material. El objetivo del presente estudio fue cuantificar la concentración de coliformes totales, coliformes fecales y enterococos fecales en agua, y determinar la presencia de enterococos fecales en arena de tres playas recreativas del puerto de Acapulco. El muestreo se realizó durante una temporada de lluvias con alta afluencia turística y una temporada de secas con baja afluencia turística. Se tomaron muestras de arena, agua marina y agua dulce. La cuantificación de bacterias entéricas se estimó por medio de la técnica del Número Más Probable (NMP). Los resultados en muestras de agua dulce indican que existe una contaminación fecal proveniente de descargas de aguas residuales. El agua marina demostró que las tres playas no son aptas para uso recreativo por contacto directo porque superan los 200 NMP/100 mL de enterococos fecales y existe un riesgo a la salud pública. También se registraron altos valores de enterococos fecales en arena, con números de 150 a > 11000 NMP/100 g. Las concentraciones más elevadas se registraron durante temporada de lluvias y alta afluencia turística.

Por lo anterior, la exposición a arena de playas recreativas puede representar un riesgo potencial a la salud pública.

Palabras clave: coliformes, enterococos, calidad sanitaria, contaminación fecal, playas recreativas.

ABSTRACT

Coliforms and enterococci are bacteria that indicate fecal contamination and are used to evaluate the health quality of water on recreational beaches. This focus on sanitary quality considers the risk tourists face from contaminated seawater, but it neglects the potential health hazards of contact with sand, even though tourists come into direct contact with both. The objective of the present study was to quantify the concentration of total coliforms, fecal coliforms, and fecal enterococci in water and determine the presence of fecal enterococci in sand from three recreational beaches in the port of Acapulco. Sampling was conducted during a rainy season with a high tourist influx and a dry season with a low tourist influx. Sand, seawater, and freshwater samples were taken. The quantification of enteric bacteria was estimated using the Most Probable Number (MPN) technique. The results in freshwater samples indicate fecal contamination from wastewater discharges. The seawater showed that the three beaches are unsuitable for recreational use through direct contact because they exceeded 200 MPN/100 mL of fecal enterococci, and there is a risk to public health. High values of fecal enterococci in sand were also recorded, with numbers from 150 to > 11000 NMP/100 g. The highest concentrations were recorded during the rainy season and high tourist influx. Therefore, exposure to sand from recreational beaches may represent a potential risk to public health.

Key words: coliforms, enterococci, sanitary quality, fecal contamination, recreational beaches.

INTRODUCCIÓN

La contaminación microbiológica implica la presencia anormal de microorganismos de origen entérico que provienen de las descargas de aguas residuales. Este tipo de contaminación altera la calidad sanitaria del agua; lo que representa un riesgo para la salud pública y la vida silvestre (Fernández Rendón y Barrera Escorcía, 2013; Molina López *et al.*, 2014; León López, 2015).

El grado de contaminación microbiológica se determina a través de la presencia de bacterias indicadoras que habitan el tracto gastrointestinal de individuos homeotérmicos y son eliminadas a través de la materia fecal, siendo incapaces de reproducirse fuera del hábitat intestinal. Estas bacterias se encuentran asociadas a la presencia de microorganismos patógenos, pero presentan una mayor concentración, resistencia y supervivencia ante factores ambientales. Además, la detección y cuantificación de bacterias indicadoras es más sencilla, rápida y económica. A pesar de no ser patógenas su presencia se encuentra correlacionada con el riesgo a la salud pública (Cortés Lara, 2003; Fernández Molina *et al.*, 2001; Fernández Rendón y Barrera Escorcía, 2014; Larrea Murrell *et al.*, 2013). La mayoría de las bacterias indicadoras no forman esporas por lo que su presencia indica una contaminación fecal reciente (Fernández Rendón y Barrera Escorcía, 2014).

En México, los principales indicadores de contaminación microbiológica son los grupos coliformes totales, coliformes fecales y enterococos fecales (Fernández Rendón y Barrera Escorcía, 2014). Algunas bacterias pertenecientes a los coliformes totales presentan un origen no entérico, pero aún son utilizados como indicadores debido a su alta resistencia en ambientes no favorables (Fernández Rendón y Barrera Escorcía, 2013). Los coliformes fecales son un subgrupo termotolerante de los coliformes totales que pueden multiplicarse a temperatura de 44.5°C (Fernández Rendón y Barrera Escorcía, 2014). *Escherichia coli* es la especie más representativa de estas bacterias (Larrea Murrell *et al.*, 2013). Se considera que este grupo termotolerante es un mejor indicador por su origen fecal y su relación con la presencia de patógenos (Fernández Rendón y Barrera Escorcía, 2014; Griffin *et al.*, 2001). En cambio, los enterococos fecales se han establecido como los indicadores más óptimos para ambientes marinos, al presentar una mayor resistencia ante condiciones salinas (Fernández Rendón y Barrera Escorcía, 2014; Larrea Murrell *et al.*, 2013).

En playas de uso recreativo, el agua marina actúa como un medio de transmisión de patógenos hacia bañistas, causando enfermedades por medio del contacto directo, la aspiración o su ingestión accidental (Molina López *et al.*, 2014). Los usuarios más susceptibles ante el riesgo sanitario son niños, adultos mayores y personas inmunodeprimidas (Molina López *et al.*, 2014; Whitman *et al.*, 2014). La breve exposición de usuarios ante un importante grado de contaminación microbiológica puede ser causante de infecciones gastrointestinales y respiratorias, y en menor proporción provocar infecciones en la piel, ojos, oídos, genitales o vías urinarias (Arcos Pulido *et al.*, 2005; Craig *et al.*, 2004; Fernández Rendón y Barrera Escorcía, 2014).

La mayoría de estudios asociados a la calidad sanitaria en playas recreativas se encuentran enfocados al riesgo por exposición al agua marina, sin tomar en consideración que los usuarios también mantienen un contacto prolongado con la arena (Whitman *et al.*, 2014). Actualmente, existe la preocupación de que la arena pueda ser una vía de riesgo para la salud pública, debido a que sus propiedades, como la porosidad y el área superficial, pueden proteger a las bacterias de factores ambientales, permitiendo su supervivencia por periodos prolongados (Fernández Rendón y Barrera, Escorcía 2014; Whitman *et al.*, 2014).

El presente estudio tiene como objetivo determinar la concentración de bacterias indicadoras de contaminación fecal en agua y arena de tres playas recreativas ubicadas en la zona tradicional de Acapulco, Guerrero. Este puerto posee un alto interés turístico tanto a nivel nacional como internacional (Arellano Franco, 2010), y en su zona tradicional se localizan atractivos importantes como La Quebrada, Pie de la Cuesta, isla La Roqueta, y las playas Caleta y Caletilla, que presentan un oleaje tranquilo y poca profundidad (Navarro, 2010). Sin embargo, en esta zona del puerto el ruido y la contaminación han aumentado; los hoteles no reciben mantenimiento y en las playas es común la presencia de vendedores ambulantes y basura (Valenzuela Valdivieso y Coll-Hurtado, 2010). Todo lo anterior aunado a la alta afluencia turística contribuye a una deficiente calidad sanitaria del agua durante la temporada de lluvias (Arellano Franco, 2010; Flores Mejía *et al.*, 2011).

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio y plan de muestreo

El área de estudio se compone de tres playas recreativas ubicadas en la zona turística tradicional del puerto de Acapulco: playa Caletilla localizada entre los 16°49" latitud N y 99°54" longitud O; playa Manzanillo situada entre los 16°50" latitud N y los 99°54" longitud O; y playa Tamarindos ubicada entre los 16°51" latitud N y los 99°53" longitud O. Las coordenadas fueron tomadas por medio de la aplicación *GPS Status*. En playa Caletilla y playa Manzanillo se presenta un canal pluvial que desemboca al mar, mientras que en playa Tamarindos se deposita la carga hidráulica del arroyo El Camarón.

El plan de muestreo se efectuó en dos tiempos. El primer muestreo se realizó en julio de 2022, durante una temporada de lluvias y un periodo vacacional con alta afluencia turística (*Temporada de Lluvias/Turística*). El segundo muestreo se llevó a cabo en febrero de 2023, mes que coincide con la temporada de secas y un periodo de baja afluencia turística (*Temporada de Secas/No turística*).

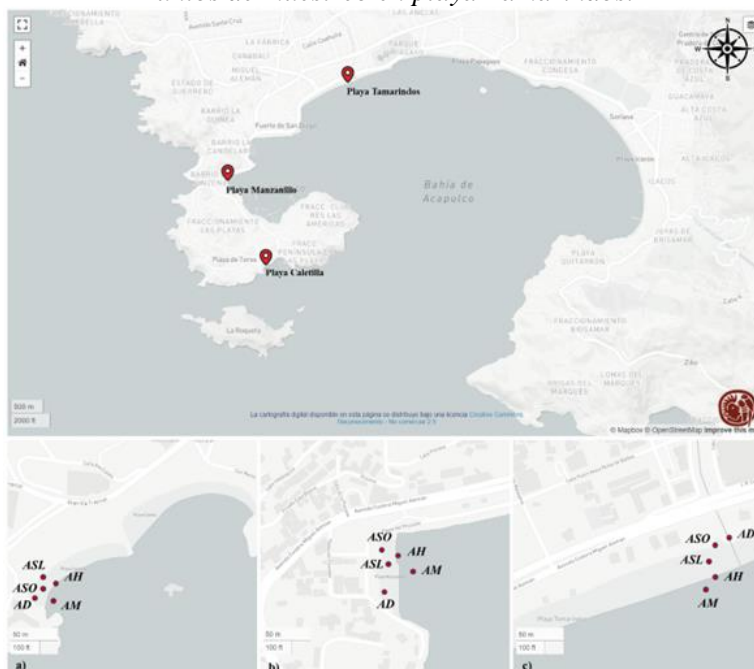
Por cada playa se tomó una muestra de agua dulce (AD) proveniente de los canales pluviales y el arroyo El Camarón, una muestra de agua marina (AM), y tres muestras de arena (Figura 1). Las muestras de agua dulce y agua marina fueron tomadas de acuerdo al *Manual Operativo: Monitoreo de la calidad del agua de uso recreativo de contacto primario en el agua de mar de playas y cuerpos de agua dulce* establecido por la SSA y la COFEPRIS (2024), utilizando frascos herméticos de vidrio de 125 mL, previamente esterilizados. Las muestras de arena fueron tomadas de acuerdo al estudio realizado por González y Emiliani (2005) clasificando a la arena de playa en tres ambientes diferenciables: arena seca en luz solar (ASL), arena seca en sombra (ASO) y arena húmeda (AH). La arena fue tomada por medio de cucharas metálicas estériles y almacenada en los frascos herméticos de vidrio estériles. Posteriormente, las muestras obtenidas fueron etiquetadas y resguardadas en una hielera a una temperatura aproximada de 4°C, para su posterior análisis en laboratorio.

Se registraron los parámetros fisicoquímicos *in situ* en las muestras de agua dulce y agua marina, que incluyeron: Temperatura (°C), potencial de Hidrógeno (pH), conductividad eléctrica (EC) y sólidos totales disueltos (STD).

Proceso de inoculación y expresión de tubos positivos

En la inoculación de muestras de agua dulce se cuantificaron coliformes totales y coliformes fecales con la técnica de tubos múltiples. Se utilizó el medio Colisure con tres diluciones (1, 0.1 y 0.01 mL de muestra de agua) y con tres réplicas que se incubaron a 35°C, durante 48 h. Los tubos que presentaron un viraje de color magenta a color lila indicaron la presencia de coliformes totales, y la emisión de fluorescencia ante la exposición de rayos UV es indicativa de la presencia de coliformes fecales (Beloti *et al.*, 2000).

Figura 1. Área de estudio: playas de uso recreativo en la zona turística tradicional del puerto de Acapulco; a) Puntos de muestreo en playa Caletilla; b) Puntos de muestreo en playa Manzanillo; c) Puntos de muestreo en playa Tamarindos.



Fuente: CONABIO, 2024. Nota: AD) Agua dulce; AM) Agua marina; ASL) Arena seca en luz solar; ASO) Arena seca en sombra; AH) Arena húmeda

En muestras de agua marina y arena, se cuantificaron enterococos fecales por medio de la técnica de tubos múltiples. Se utilizó el caldo Azida Dextrosa como medio presuntivo, con tres diluciones para agua (10, 1 y 0.1 mL de muestra de agua) y tres réplicas por dilución (Díaz Pérez *et al.*, 2013).

Para procesar las muestras de arena se colocó 1 g de muestra en 9 mL de medio y se sometieron a un proceso de agitación manual por 1 min y a un proceso de sonicación durante 2:30 min, con el objetivo de lograr un mayor desprendimiento de las bacterias adheridas a los granos de arena (Craig *et al.*, 2002; Fernández Rendón y Barrera Escorcía, 2013) y obtener un conteo más realista. En muestras de arena se realizaron tres diluciones (equivalentes a 1, 0.1 y 0.01 g de muestra de arena) con tres réplicas por cada dilución.

Todos los tubos de caldo Azida Dextrosa se incubaron a 35°C durante 48 h, con conteo a las 24 y 48 h. Posteriormente, se transfirieron tres asadas de los tubos positivos (con turbidez) a tubos con caldo Púrpura de Bromocresol-Azida para confirmar la presencia de enterococos fecales. Los tubos

se incubaron a 35°C durante 48 h, con un conteo a las 24 h. Los tubos positivos en la prueba confirmativa presentaron un viraje de color púrpura a color amarillo, que indica la presencia de enterococos fecales (Díaz Pérez *et al.*, 2013).

Estimación de bacterias por técnica del Número Más Probable (NMP)

La estimación del Número Más Probable por cada 100 mL de muestra (NMP/100 mL) de coliformes totales, coliformes fecales y enterococos fecales en agua dulce y agua marina se determinó por el valor de tabla de la NMX-AA-042-SCFI-2015 (Secretaría de Economía, 2015). El NMP de enterococos fecales en muestras de arena se determinó de acuerdo a los valores establecidos por la NOM-112-SSA1-1994 (Secretaría de Gobierno, 1994). Los resultados se transformaron para reportar el Número Más Probable por cada 100 gramos de muestra (NMP/100 g).

Análisis estadístico

Se realizó una prueba Shapiro-Wilk para determinar la Normalidad en los datos y posteriormente, se efectuó una prueba U de Mann-Wittney para establecer la existencia de diferencias significativas en el NMP/100 g de enterococos fecales en muestras de arena durante temporada de *Lluvias/Turística* y temporada de *Secas/No turística*.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Parámetros fisicoquímicos

Los parámetros fisicoquímicos evaluados *in situ* se muestran en el Cuadro 1. Las muestras de agua marina presentan temperaturas desde los 28.7°C hasta los 33.1°C, mientras que las temperaturas en agua dulce van desde los 29.9°C a los 33.9°C. Así mismo, se registraron temperaturas ligeramente más bajas en temporada de *Secas/No turística* que en temporada de *Lluvias/Turística*; estas variaciones en las temperaturas registradas se encuentran vinculadas a la hora de toma de muestra.

El pH registrado en muestras de agua marina va de 7.7 a 8.0, siendo en playa Caletilla donde se presentan los valores de pH más bajos y en playa Tamarindos los más altos. En muestras de agua

dulce se observó un intervalo de pH más amplio; el valor más bajo (6.3) se registró en el canal pluvial de playa Caletilla y el más alto (9.2) en el arroyo El Camarón en playa Tamarindos, durante temporada *Secas/No turística*. Ambos valores están fuera del límite permisible para protección de la vida acuática (Comisión Nacional del Agua, 2022).

La conductividad eléctrica de las muestras de agua dulce varió de 460 $\mu\text{S}/\text{cm}$ hasta 4,370 $\mu\text{S}/\text{cm}$, siendo en el arroyo El Camarón en temporada de *Lluvias/Turística* donde se registraron los valores más altos.

Finalmente, los sólidos totales disueltos (STD) en muestras de agua dulce presentaron valores de 220 a 2,080 ppm. En playa Tamarindos se registraron los valores más altos, con 960 ppm en temporada *Secas/No turística* y 2,080 ppm en temporada *Lluvias/Turística*.

Cuadro 1. *Parámetros fisicoquímicos registrados in situ para muestras de agua.*

		Temperatura (°C)		pH		C.E. ($\mu\text{S}/\text{cm}$)		STD (ppm)	
		AM	AD	AM	AD	AM	AD	AM	AD
Playa Caletilla	Lluvias / Turística	33.1	31.5	7.7	7.2	4735	713	2217	333
	Secas / No turística	30.0	31.2	7.7	6.3	3342	585	1560	296
Playa Manzanillo	Lluvias / Turística	32.7	33.2	7.9	7.1	4856	460	2282	220
	Secas / No turística	28.7	29.9	7.9	7.1	3299	580	1538	272
Playa Tamarindos	Lluvias / Turística	32.0	33.9	8.0	8.0	4703	4370	2228	2080
	Secas / No turística	28.9	30.5	8.0	9.2	3273	2018	1545	960

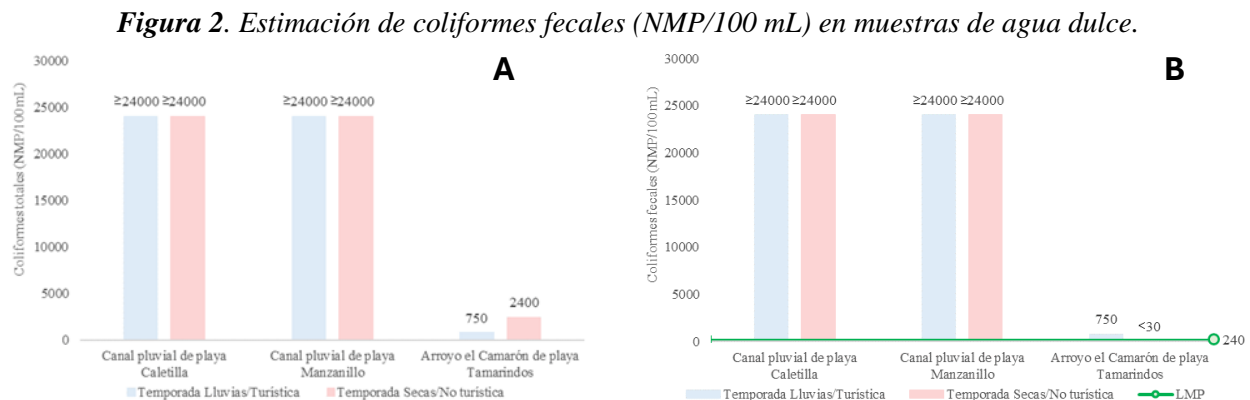
Nota. Temperatura (°C); conductividad eléctrica (CE); sólidos totales disueltos (STD); agua marina (AM); agua dulce (AD). Fuente: Elaboración propia

La muestra de agua del arroyo El Camarón, en playa Tamarindos, mostró un pH de 9.2. Este arroyo es considerado una de las principales subcuencas en donde se concentra la mayor densidad urbana del puerto de Acapulco, con severos problemas en el sistema de colección y transporte de aguas residuales (Arellano Franco, 2010). Además, se observó el vertimiento directo de desechos detergentes que pueden aumentar el pH del agua del arroyo, cerca de la zona de playa.

Por su parte, las altas concentraciones de iones, reflejadas por el valor de la conductividad eléctrica y los sólidos totales disueltos, son resultado del efecto de intrusión de agua marina en el arroyo, durante temporada de *Lluvias/Turística*.

Determinación de coliformes totales y coliformes fecales en muestras de agua dulce

Las muestras de agua dulce obtenidas de los canales pluviales de playa Caletilla y playa Manzanillo, mostraron un NMP/100 mL $\geq 24,000$ coliformes totales y coliformes fecales, tanto en temporada de *Lluvias/Turística* como en temporada de *Secas/No turística*. Por su parte, la muestra de agua dulce proveniente del arroyo el Camarón, en playa Tamarindos, presentó un NMP/100 mL de 750 coliformes totales y coliformes fecales durante temporada de *Lluvias/Turística*; mientras que en temporada de *Secas/No turística* la concentración de coliformes totales aumentó a 2,400, y la de coliformes fecales disminuyó a <30 (Figuras 2A y 2B).



Nota: LMP) Límite Máximo Permissible. Fuente: elaboración propia.

De acuerdo con las concentraciones de coliformes fecales, cinco de las seis muestras de agua dulce representan un riesgo a la vida acuática presente en aguas costeras y estuarios, al superar el Límite Máximo Permissible de 240 NMP/100 mL de coliformes fecales (Comisión Nacional del Agua, 2022).

Las elevadas concentraciones de coliformes totales y coliformes fecales en los canales pluviales de playa Caletilla y playa Manzanillo, junto con el pH ácido (6.3) registrado en playa Caletilla, demuestran que sus canales pluviales se encuentran fuertemente contaminados por aguas residuales que desembocan al mar. Esta descarga de agua contaminada es constante debido a que no se observa una variación de coliformes entre ambas temporadas de muestreo.

Es fundamental destacar que en estos canales pluviales no existen estudios previos de calidad sanitaria, a pesar de que niños y personas de la tercera edad permanecen dentro del agua de los

canales debido a la baja intensidad de su corriente y poca profundidad. Si bien estos canales no están catalogados como cuerpos de agua dulce aptos para recreación, su uso por parte de turistas representa un riesgo a la salud pública al superar el LMP de >200 de *E. coli*, establecido por la Secretaría de Salud y la Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios (SSA y COFEPRIS, 2024). La contaminación de los canales probablemente tenga su origen en las descargas de los establecimientos y asentamientos urbanos ubicados en la zona de playa y en las partes altas, debido a que esta zona del puerto presenta una alta densidad de puntos de contaminación, un deficiente mantenimiento y precariedad en sus servicios públicos (Valenzuela Valdivieso y Coll-Hurtado, 2010).

En cambio, el arroyo el Camarón presenta un aumento de coliformes fecales en temporada de *Lluvias/Turística*. Este aumento, también documentado por Arellano Franco (2010), alcanza sus concentraciones máximas durante el mes de julio con la descarga de sistemas sépticos en la parte alta del arroyo, siendo la fuente de origen de los coliformes fecales.

También es evidente que existe una disminución de coliformes totales y coliformes fecales en el arroyo, respecto a los canales pluviales. Este descenso de coliformes se debe a la interacción con factores fisicoquímicos y biológicos que afectan su supervivencia (Arcos Pulido *et al.*, 2005; Darakas *et al.*, 2009; Davies *et al.*, 1995; Fernández Rendón y Barrera Escorcia, 2014; Larrea Murrell *et al.*, 2013). Adams y Moss (1997) determinaron que bacterias como *E. coli* pueden detener su crecimiento al superar un pH de 9.5. El pH registrado en el arroyo fue de 8.0 en temporada de *Lluvias/Turística* y 9.2 en temporada de *Secas/No turística* y estos valores podrían limitar el crecimiento y sobrevivencia de las bacterias coliformes. La alta alcalinidad del arroyo tiene un efecto negativo más evidente en coliformes fecales respecto a coliformes totales, debido a que estos últimos presentan una mayor resistencia ante condiciones no favorables (Fernández Rendón y Barrera Escorcia, 2013). No obstante, estas concentraciones suponen un riesgo para la vida acuática y la salud pública, incluso de turistas, a pesar de que este arroyo tampoco se encuentra catalogado como un cuerpo de agua dulce con fines recreativos.

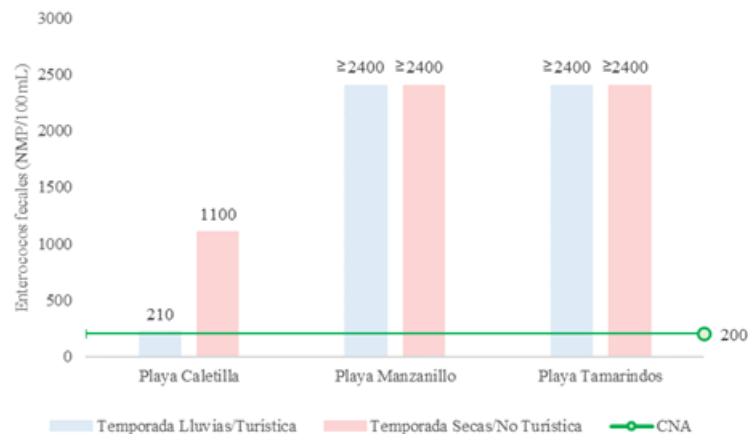
Determinación de enterococos fecales en muestras de agua marina

Respecto a muestras de agua marina, playa Caletilla presentó un NMP/100 mL de 210 enterococos fecales durante temporada de *Lluvias/Turística*, mientras que en temporada *Secas/No turística* esta

concentración aumentó a 1,100 NMP/100 mL. Por su parte, tanto playa Manzanillo como playa Tamarindos registraron $\geq 2,400$ NMP/100 mL de enterococos fecales durante las dos temporadas (Figura 3). Todas las muestras de agua marina superaron el criterio de clasificación de playas de 200 NMP/100 mL de enterococos fecales (COFEPRIS, 2024), por lo que ninguna playa es apta para uso recreativo.

Estudios previos han demostrado que las playas en la bahía de Acapulco presentan un aumento de bacterias de origen entérico durante la temporada de lluvias. En su trabajo, Arellano Franco (2010) evaluó las concentraciones de coliformes totales, coliformes fecales y enterococos fecales en los meses de marzo y julio del 2008, y determinó que existe un mayor impacto en la calidad de aguas costeras durante época de lluvias y de alta demanda turística, siendo Caletilla y Tamarindos, junto con playa La Garita, las que presentan una mayor afectación durante este periodo. Por su parte, Flores Mejía *et al.* (2011) demostraron que existe una relación entre el aumento de bacterias y el progreso de la temporada de lluvias, siendo julio el mes en el que se registraron concentraciones más bajas, respecto a septiembre con las concentraciones más altas.

Figura 3. Estimación de enterococos fecales (NMP/100 mL) en muestras de agua marina.



Nota: CNA) Criterio de clasificación para playas no aptas para uso recreativo.

Las muestras de agua marina evaluadas en el presente estudio no muestran un aumento de bacterias entéricas durante la temporada de *Lluvias/Turística*. De hecho, playa Caletilla presenta un aumento de enterococos fecales durante temporada *Secas/No turística*, mientras que playa Manzanillo y playa Tamarindos no registran variaciones entre ambos periodos de muestreo.

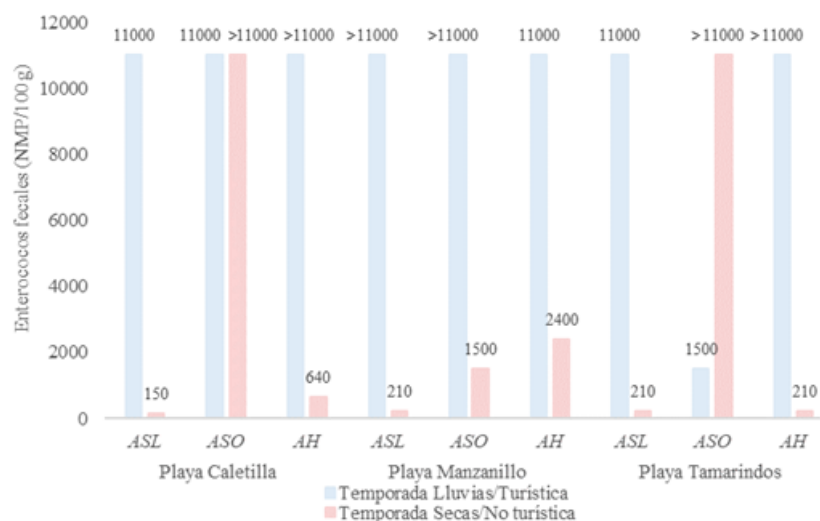
Este aumento de enterococos fecales en playa Caletilla durante *Secas/No turística*, junto con las altas concentraciones registradas en Manzanillo y Tamarindos, indican que estas playas se encuentran susceptibles a descargas directas e intermitentes de aguas residuales, por parte de comercios y establecimientos ubicados en la zona de playa (Arellano Franco, 2010; Flores Mejía *et al*, 2011). De igual forma, el hecho de que playa Manzanillo y playa Tamarindos no hayan registrado variación entre ambas temporadas, demuestra que esta descarga de aguas residuales es constante.

Determinación de enterococos fecales en muestras de arena

En temporada de *Lluvias/Turística*, el 88.8% de las muestras de arena registraron valores para enterococos fecales $\geq 11,000$ NMP/100 g, siendo la muestra de arena seca en sombra (ASO) en playa Tamarindos (11.1%) la única con un valor de 1,500 NMP/100 g.

En cambio, durante la temporada de *Secas/No turística*, el 77.7% de las muestras presentó valores entre 150 y 2,400 NMP/100 g de enterococos fecales, siendo las muestras de arena seca en sombra (ASO) de playa Caletilla y playa Tamarindos (22.2%) las únicas que registraron un valor $>11,000$ NMP/100 g de enterococos fecales (Figura 4).

Figura 4. Concentración de enterococos fecales (NMP/100 g) en muestras de arena durante temporada *Lluvias/Turística* y temporada *Secas/No turística*.



Fuente: Elaboración propia.

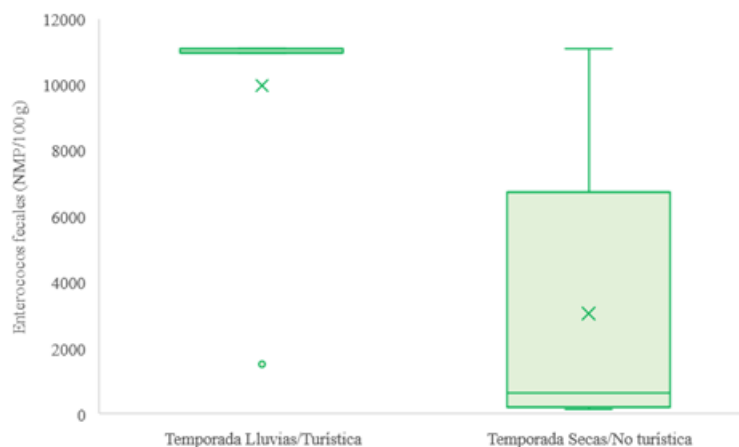
La alta concentración de enterococos fecales en muestras de arena seca en sombra (ASO) de playa Caletilla y playa Tamarindos durante *Secas/No turística*, puede explicarse con los resultados de Gonzalez y Emiliani (2005), donde registraron una mayor concentración de *E. coli* en arena expuesta en sombra respecto a la arena húmeda y a la arena expuesta a la luz solar. Esta concentración elevada de bacterias en sombra se debe a dos factores principales: la protección ante la radiación solar y a una mayor frecuencia de animales que buscan alimento y refugio en zonas sombreadas, provocando, a su vez, un aumento en la deposición de excretas (Gonzalez y Emiliani, 2005). Sin embargo, estudios como el de Bonilla *et al.* (2007) y Pinto *et al.* (2012), también han registrado altas concentraciones de bacterias indicadoras en arena húmeda y arena seca expuesta a la luz solar, a pesar de estar sometidas a factores adversos como una constante radiación solar, depredación y una alta salinidad que podría limitar la sobrevivencia de las bacterias (Bonilla *et al.*, 2007; Whitman *et al.*, 2014).

El análisis estadístico demostró que en temporada de *Lluvias/Turística* se registra una mayor concentración de enterococos fecales en arena (Figura 5). La elevada concentración de bacterias en arena durante periodos de alta afluencia turística también ha sido documentada por León López (2015), que encontró un aumento en las concentraciones de coliformes totales, coliformes fecales y enterococos fecales durante el periodo vacacional de Semana Santa en playas recreativas del estado de Sonora.

Sin embargo, la concentración de enterococos fecales del presente estudio también se encuentra influenciada por el periodo de lluvias, en donde los escurrimientos por parte de arroyos contaminados y el aporte de aguas residuales, provoca una infiltración de carga contaminante en la arena de playas recreativas (Arellano Franco, 2010).

La arena otorga a las bacterias una serie de microambientes protectores ante factores ambientales que limitan su supervivencia como la radiación solar y la depredación (Craig *et al.*, 2004; Fernández Rendón y Barrera Escorcía, 2014). A su vez, la permanencia de estas bacterias entéricas en la arena también depende de la producción de biopelículas y secreciones extracelulares compuestas por polisacáridos y proteínas (Fernández Rendón y Barrera Escorcía, 2013; Kuwae y Hosokawa, 1999; Whitman *et al.*, 2014).

Figura 5. Concentración de enterococos fecales (NMP/100 g) en muestras de arena durante temporada Lluvias/Turística y temporada Secas/No turística.



Fuente: Elaboración propia

Otro factor importante en la permanencia de bacterias en este entorno es la humedad presente en la arena. La humedad promueve el transporte, la reproducción, e incluso la reactivación de bacterias entéricas en un estado latente; y varía de acuerdo a la ubicación en la playa, el tamaño de grano y la profundidad del nivel freático, siendo mayor en zonas protegidas ante la radiación solar como las muestras de arena seca en sombra y en periodos de lluvias (Whitman *et al.*, 2014).

A pesar del importante resguardo que la arena brinda a bacterias patógenas, es necesario considerar que esta interfase entre arena y agua no es un sistema estático, ya que las bacterias pueden ser resuspendidas por efecto de mareas y corrientes, o incluso por actividades turísticas, representando un mayor riesgo de infección para usuarios (Craig *et al.*, 2002; Craig *et al.*, 2004; Delgadillo Hinojosa y Orozco Borbón, 1987; Whitman *et al.*, 2014).

El presente estudio de calidad sanitaria, junto con los trabajos de Bonilla *et al.* (2007), Gonzalez y Emiliani (2005), León López (2015) y Pinto *et al.* (2012), demuestran que la arena de playas recreativas presenta altas concentraciones de bacterias de origen entérico, lo que representa un entorno de alto riesgo a la salud pública debido al contacto directo que los usuarios mantienen con la arena (Gonzalez y Emiliani, 2005; León López, 2015). A pesar de que el contacto con arena es más prolongado que el contacto con agua marina, los programas de monitoreo y control de calidad solo contemplan la contaminación microbiológica presente en aguas de uso recreativo, sin considerar el riesgo potencial que se resguarda en la arena (Gonzalez y Emiliani, 2005; León

López, 2015; Whitman *et al.*, 2014). De igual manera, dentro de la normativa mexicana no existe un límite máximo permisible o criterios de riesgo con base en la contaminación por bacterias entéricas en arena. Debido a esto, es esencial establecer el estudio de la contaminación microbiológica en arena como un diagnóstico parcial dentro de la calidad sanitaria de playas recreativas, así como implementar un límite máximo permisible enfocado en la concentración de bacterias indicadoras en arena, especialmente en puntos de alto interés turístico como lo es el puerto de Acapulco.

CONCLUSIONES

Las altas concentraciones de coliformes totales y coliformes fecales registradas en los canales pluviales de playa Caletilla y playa Manzanillo, demuestran que existe una importante contaminación por descarga de aguas residuales, representando un riesgo significativo para la vida acuática y la salud pública, al ser importantes puntos de estancia para muchos usuarios. Por su parte, el arroyo el Camarón, ubicado en playa Tamarindos, representa un riesgo para la vida silvestre, al registrar importantes concentraciones de coliformes totales y coliformes fecales, a pesar de que la presencia de estas bacterias puede verse afectada por la alta alcalinidad de sus aguas.

A su vez, las estimaciones de enterococos fecales en agua marina también muestran una constante descarga de aguas negras en las tres playas, representando zonas de riesgo para la salud pública de los turistas y la gente local.

Finalmente, los valores determinados de enterococos fecales en arena, demuestran que este entorno presenta altas concentraciones de bacterias entéricas y patógenos, siendo mayor durante temporada de lluvias y alta afluencia turística. Actualmente, los estudios de calidad sanitaria enfocados en arena no son considerados por las autoridades y la normativa correspondiente, a pesar de que las altas concentraciones en arena representan un riesgo potencial a la salud pública, debido a que los usuarios mantienen un contacto directo más prolongado con la arena respecto al agua marina.

REFERENCIAS

- Adams, M. R., y Moss, M. O. (1997). Microbiología de los alimentos. Capítulo 7: 7.7 *Escherichia coli*. 227-233.
- Arcos Pulido, M. D. P., Ávila de Navia, S. L., Estupiñán Torres, S. M., y Gómez Prieto, A. C. (2005). Indicadores microbiológicos de contaminación de las fuentes de agua. *NOVA publ. cient*, 3 (4), 69-79.
- Arellano Franco, H. E. (2010). Evaluación del impacto de la contaminación puntual y difusa en la bahía de Acapulco, Guerrero [Tesis de Maestría, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua]. Repositorio Institucional del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
- Beloti, V., Barros, M. de A. F., Nero, L. A., Santana, E. H. W. de, Souza, J. A. de, & Franco, B. D. G. M. (2000). Avaliação do desempenho do ColiSure™ na enumeração de coliformes totais e *Escherichia coli* em leite pasteurizado. *Semina: Ciências Agrárias*, 21 (1), 15–18.
- Bonilla, T. D., Nowosielski, K., Cuvelier, M., Hartz, A., Green, M., Esiobu, N., McCorquodale, D. S., Fleisher, J. M. & Rogerson, A. (2007). Prevalence and distribution of fecal indicator organisms in South Florida beach sand and preliminary assessment of health effects associated with beach sand exposure. *Marine Pollution Bulletin*. 54 (9), 1472-1482.
- Comisión Nacional del Agua [CONAGUA]. (2022). Ley Federal de Derechos. Disposiciones aplicables en materia de aguas nacionales 2022. CONAGUA.
- Cortés Lara, M. C. (2003). Importancia de los coliformes fecales como indicadores de contaminación en la Franja Litoral de Bahía de Banderas, Jalisco-Nayarit. *Revista Biomédica*, 14 (2), 121-123.
- Craig, D. L., Fallowfield, H. J., & Cromar, N. J. (2002). Enumeration of faecal coliforms from recreational coastal sites: evaluation of techniques for the separation of bacteria from sediments. *Journal of Applied Microbiology*. 93 (4), 557-565.
- Craig, D. L., Fallowfield, H. J., & Cromar, N. J. (2004). Use of microcosms to determine persistence of *Escherichia coli* in recreational coastal water and sediment and validation with in situ measurements. *Journal of Applied Microbiology*, 96 (5), 922-930.

- Darakas, E., Koumoulidou, T., & Lazaridou, D. (2009). Fecal indicator bacteria declines via a dilution of wastewater in seawater. *Desalination*, 248 (1-3), 1008-1015.
- Davies, C. M., Long, J. A., Donald, M., & Ashbolt, N. J. (1995). Survival of fecal microorganisms in marine and freshwater sediments. *Applied and Environmental Microbiology*, 61 (5), 1888-1896.
- Delgadillo Hinojosa, F. & Orozco Borbón, M. V. (1987). Bacterial Pathogens In Sediments Of Bahía De Todos Santos, Baja California. *Ciencias Marinas*. 13 (3), 31–38.
- Díaz Pérez, M., Rodríguez Martínez, C., y Zhurbenko, R. (2013). *Enterococcus*, medios de cultivo convencionales y cromogénicos. *Revista Cubana de Higiene y Epidemiología*. 51 (1): 97-110.
- Fernández Molina, M. C., Álvarez Alcántara, A. y Espigares García, M. (2001). Transmisión fecohídrica y virus de la hepatitis A. *Higiene y Sanidad Ambiental*, 1, 8-18.
- Fernández Rendón C. L. y Barrera Escorcía G. (2013). Comparación de técnicas para la extracción de bacterias coliformes del sedimento del lago de Xochimilco, México. *Revista Argentina de Microbiología*, 45 (3), 180-184.
- Fernández Rendón, C. L. y Barrera Escorcía, G. (2014). Contaminación microbiológica en la zona costera del Pacífico Mexicano. En A.V. Botello, F. Páez-Osuna, L. Mendez-Rodríguez, M. Betancourt-Lozano, S. Álvarez-Borrego y R. Lara-Lara (eds.). *Pacífico Mexicano. Contaminación e impacto ambiental: diagnóstico y tendencias*. UAC, UNAM-ICMYL, CIAD-Mazatlán, CIBNOR, CICESE, 477-494.
- Flores Mejía, M. Á., Flores Hernández, M. y Ríos Miranda, M. de la L. (2011). Calidad bacteriológica de las principales playas de la bahía de Acapulco, Guerrero. *ContactoS* 80, 5-11.
- González, S. M. y Emiliani, F. (2005). Caracterización preliminar de la calidad microbiológica de la arena en las playas. *Asociación de Ciencias Naturales del Litoral. Natura Neotropicalis*. 36 (12), 85-88
- Griffin, D. W., Lipp, E. K., McLaughlin, M. R., & Rose, J. B. (2001). Marine Recreation and Public Health Microbiology: Quest for the Ideal Indicator. *Bioscience*, 51 (10), 817-825.

Kuwae, T. & Hosokawa, Y. (1999). Determination of abundance and biovolume of bacteria in sediments by dual staining with 4',6-diamidino-2-phenylindole and acridine orange: relationship to dispersion treatment and sediment characteristics. *Applied and Environmental Microbiology*. 65 (8), 3407-3412.

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.

León López, C. E. (2015). *Evaluación de la calidad sanitaria de cuatro playas recreativas en el Noroeste de México*. [Tesis de Maestría, Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S. C.]. Repositorio del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S. C.

Molina López, M., García Ruiz, E. M., Espigares Rodríguez, E., Espigares García, M., Fernández-Crehuet Navajas, M. y Moreno Roldán, E. (2014). Valoración del riesgo de contaminación de aguas recreativas. Vigilancia sanitaria de las playas en España. *Higiene y Sanidad Ambiental*, 14 (2): 1191-1195

Pinto, K. C., Hachich, E. M., Sato, M. I. Z., Di Bari, M., Coelho, M. C. L. S., Matté, M. H., Lamparelli, C. C. & Razzolini, M. T. P. (2012). Microbiological quality assessment of sand and water from three selected beaches of South Coast, Sao Paulo State, Brazil. *Water Science and Technology*. 66(11), 2475-2482.

Secretaría de Economía [SEECO]. (2015). NMX-AA-042-SCFI-2015: Análisis de Agua – Enumeración de organismos coliformes totales, organismos coliformes fecales (termotolerantes) y *Escherichia coli* – Método del Número Más Probable en tubos múltiples (Cancela a la NMX-AA-42-1987). SEECO.

Secretaría de Gobernación [SEGOB]. (1994). Norma Oficial Mexicana. NOM-112-SSA1-1994. Bienes y servicios. Determinación de bacterias coliformes. Técnica del número más probable. SEGOB.

Secretaría de Salud [SSA] y Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios [COFEPRIS]. (2024). Manual Operativo: Monitoreo de la calidad del agua de uso recreativo de contacto primario en el agua de mar de playas y cuerpos de agua dulce. SSA y COFEPRIS.

Suárez Pita, M. (2002). Tendencia actual del estreptococo como indicador de contaminación fecal. *Revista Cubana de Higiene y Epidemiología*, 40 (1), 38-43.

Valenzuela Valdivieso, E. V. y Coll-Hurtado, A (2010). La construcción y evolución del espacio turístico de Acapulco (México). *Anales de geografía*, 30 (1), 163-190.

Whitman, R. L., Harwood, V. J., Edge, T.A., Nevers, M. B., Byappanahalli, M., Vijayavel, K., Brandão, J., Sadowsky, M. J., Wheeler-Alm, E., Crowe, A., Ferguson, D., Ge, Z., Halliday, E., Kinzelman, J., Kleinheinz, G., Przybyla-Kelly, K., Staley C., Staley, Z. & Solo-Grabiele, H. M. (2014). Microbes in beach sands: integrating environment, ecology and public health. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, 13, 329-368.