



CENTRO DE INVESTIGACIONES BIOLÓGICAS  
DEL NOROESTE, S.C.

---

---

Programa de Estudios de Posgrado

VARIABILIDAD DE LA CALIDAD SANITARIA EN  
PLAYAS RECREATIVAS DE GUAYMAS Y EMPALME:  
IMPLICACIONES EN RIESGOS A LA SALUD PÚBLICA

T E S I S

Que para obtener el grado de

Doctora en Ciencias

Uso, Manejo y Preservación de los Recursos Naturales  
(Orientación en Biología Marina )

P r e s e n t a

**Claudia Esmeralda León López**

La Paz, Baja California Sur, junio de 2020.

## ACTA DE LIBERACIÓN DE TESIS

En la Ciudad de La Paz, B. C. S., siendo las 16:15 horas del día 09 del Mes de junio del 2020, se procedió por los abajo firmantes, miembros de la Comisión Revisora de Tesis avalada por la Dirección de Estudios de Posgrado y Formación de Recursos Humanos del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S. C., a liberar la Tesis de Grado titulada:

**"Variabilidad de la calidad sanitaria en playas recreativas de Guaymas y Empalme: implicaciones en riesgos a la salud pública"**

Presentada por la alumna:

**Claudia Esmeralda León López**

Aspirante al Grado de DOCTOR EN CIENCIAS EN EL USO, MANEJO Y PRESERVACIÓN DE LOS RECURSOS NATURALES CON ORIENTACIÓN EN **Biología Marina.**

Después de intercambiar opiniones los miembros de la Comisión manifestaron su **APROBACIÓN DE LA TESIS**, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

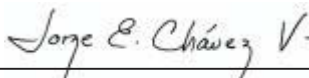
### LA COMISIÓN REVISORA



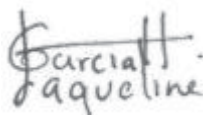
José Alfredo Arreola Lizárraga  
Director de Tesis



Renato Arturo Mendoza Salgado  
Co-Tutor



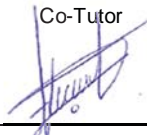
Jorge Eduardo Chávez Villalba  
Co-Tutor



Jaqueline García Hernández  
Co-Tutor



Lía Celina Rodríguez Méndez  
Co-Tutor



**Dra. Gracia Elicia Gómez Anduro**  
**Directora de Estudios de Posgrado y**  
**Formación de recursos Humano**

## **Conformación de Comités**

### **Comité Tutorial**

Dr. José Alfredo Arreola Lizárraga  
Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste  
Director de Tesis

Dr. Jorge Eduardo Chávez Villalba  
Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste  
Co- Tutor

Dr. Renato Arturo Mendoza Salgado  
Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste  
Co- Tutor

Dra. Lía Celina Rodríguez Méndez  
Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste  
Co- Tutora

Dra. Jaqueline García Hernández  
Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo  
Co- Tutora

### **Comité Revisor de Tesis**

Dr. José Alfredo Arreola Lizárraga  
Dr. Jorge Eduardo Chávez Villalba  
Dr. Renato Arturo Mendoza Salgado  
Dra. Lía Celina Rodríguez Méndez  
Dra. Jaqueline García Hernández

### **Jurado de Examen**

Dr. José Alfredo Arreola Lizárraga  
Dr. Jorge Eduardo Chávez Villalba  
Dr. Renato Arturo Mendoza Salgado  
Dra. Lía Celina Rodríguez Méndez  
Dra. Jaqueline García Hernández


### **Suplentes**

Dr. Jorge Hernández López  
Dr. Eugenio Alberto Aragón Noriega

## Resumen

Las playas son reconocidas como sistemas socio-ecológicos con importancia en todos los ámbitos: ecológico, ambiental, social y económico, por lo que su uso, manejo y preservación es relevante. Este estudio tiene como objetivo conocer la variabilidad de la calidad sanitaria del agua y de la arena en playas recreativas de una región semiárida subtropical, así como detectar riesgos potenciales a la salud pública. Se estudiaron cuatro playas: Los Algodones, San Francisco, Miramar y El Cochórit (Sonora, México). Su calidad sanitaria se determinó con base en la concentración de enterococos en el agua y en la arena; también se registraron la temperatura y salinidad del agua, así como la temperatura ambiental y precipitación. Adicionalmente, se registró la afluencia de personas y perros a las playas. Específicamente, en Los Algodones, San Francisco y Miramar se determinó la calidad sanitaria durante semana santa, verano e invierno para comparar entre playas y entre periodos vacacionales. En la playa El Cochórit se determinó su capacidad de carga turística, así como su calidad sanitaria antes, durante y después de semana santa. En Miramar se evaluó su condición sanitaria y se detectaron los riesgos a la salud pública a través de un ciclo anual. Los resultados de la calidad sanitaria del agua en periodos vacacionales mostraron que las playas tuvieron riesgo sanitario con valores promedio anual de enterococos superiores al límite permisible de 100 NMP 100 ml<sup>-1</sup> establecido por la norma mexicana NMX-AA-120-SCFI-2016 que establece los requisitos y especificaciones de sustentabilidad de calidad de playas: Miramar 1200 ± 1000 NMP 100 ml<sup>-1</sup>, San Francisco 1300 ± 860 NMP 100 ml<sup>-1</sup> y Los Algodones 900 ± 830 NMP 100 ml<sup>-1</sup>. La afluencia de usuarios explicó la contaminación bacteriana en semana santa, mientras que las escorrentías de lluvias, el aporte de aguas residuales urbanas y la afluencia de usuarios contribuyeron a la contaminación bacteriana en verano; la influencia de perros y avifauna acuática fue la principal fuente de contaminación bacteriana en invierno. La arena de las playas mostró mejor calidad sanitaria que el agua con concentraciones de enterococos < 200 NMP 100 ml<sup>-1</sup>. En El Cochórit la capacidad de carga estimada para dos condiciones de confort fue: 736 usuarios día<sup>-1</sup> con un confort de 5 m<sup>2</sup> por persona y 368 usuarios día<sup>-1</sup> con un confort de 10 m<sup>2</sup> por persona. En esta playa las concentraciones de enterococos en el agua (>500 NMP 100 ml<sup>-1</sup>) mostraron riesgo a la salud de los bañistas durante semana santa. La playa Miramar fue calificada con condición sanitaria muy pobre y los vertimientos de agua residual urbana sin tratamiento representaron la fuente más importante de contaminación fecal, indicada por concentraciones de enterococos en el agua > 1000 ± 500 NMP 100 ml<sup>-1</sup> la mayor parte del año. En conclusión, las playas Los Algodones, San Francisco, Miramar y El Cochórit tienen concentraciones de enterococos en agua que alcanzan mayores niveles de riesgo a la salud pública en semana santa y verano. Este conocimiento es útil para apoyar la gestión sanitaria y ambiental de las playas con énfasis en la prevención de riesgos a la salud pública de los usuarios.


**Palabras claves:** coliformes, enterococos, calidad sanitaria, capacidad de carga, sustentabilidad.

Vo.Bo. Director de Tesis:   
Dr. José Alfredo Arreola Lizárraga

## Summary

Beaches are recognized as socio-ecological systems with importance in all areas: ecological, environmental, social and economic, so their use, management and preservation is relevant. The objective of this study is to determine sanitary quality variability of the water and sand in recreational beaches in a semi-arid subtropical region, as well as to detect potential risks to public health. Four beaches were studied: Los Algodones, San Francisco, Miramar and El Cochórit (Sonora, Mexico). Its sanitary quality was determined based on the concentration of enterococci in the water and in the sand; water temperature and salinity, as well as air temperature and precipitation also were recorded. Additionally, the influx of people and dogs to the beaches was recorded. Specifically, in Los Algodones, San Francisco and Miramar, the sanitary quality during Easter, summer and winter was determined to compare between beaches and between vacation periods. On the El Cochórit beach, its tourist carrying capacity was determined, as well as its sanitary quality before, during and after Easter. In Miramar, its sanitary condition was evaluated and the risks to public health were detected through an annual cycle. The results of the sanitary quality of the water in vacation periods showed that the beaches had a sanitary risk with mean annual values of enterococci above the permissible limit of 100 NMP 100 ml-1 in according to the Mexican standard NMX-AA-120-SCFI-2016 that establishes the requirements and specifications for beach quality sustainability: Miramar  $1200 \pm 1000$  NMP 100 ml-1, San Francisco  $1300 \pm 860$  NMP 100 ml-1 and Los Algodones  $900 \pm 830$  NMP 100 ml-1. The influx of users explained bacterial contamination at Easter, while runoff rainfall, urban wastewater without treatment, and the influx of users contributed to bacterial contamination in summer; the influence of dogs and aquatic birds was the main source of bacterial contamination in winter. Beach sand showed better sanitary quality than water with enterococci concentrations  $< 200$  NMP 100 ml-1. In El Cochórit the estimated carrying capacity for two comfort conditions was: 736 users day-1 with a comfort of 5 m<sup>2</sup> per person and 368 users day-1 with a comfort of 10 m<sup>2</sup> per person. On this beach the concentrations of enterococci in the water  $> 500$  NMP 100 ml-1 showed a health risk for bathers during Easter. Miramar beach was rated with very poor health condition, and urban wastewater discharges without treatment represented the most important source of faecal contamination, indicated by enterococci concentrations in the water  $> 1000 \pm 500$  NMP 100 ml-1 most of the year. In conclusion, the Los Algodones, San Francisco, Miramar and El Cochórit beaches have enterococci concentrations in water that reach higher levels of risk to public health in Easter and summer. This knowledge is useful to support the health and environmental management of beaches with an emphasis on preventing risks to public health of users.

**Keywords:** coliforms, enterococci, health quality, load capacity, sustainability.

Vo.Bo. Director de Tesis:   
Dr. José Alfredo Arreola Lizárraga

## Dedicatoria

*Dedico este trabajo primeramente a Dios, que me permite salir adelante día a día, a mis padres y hermanas que siempre están a mi lado apoyándome, me dan la mano cuando me caigo, y me dan consejos cuando los necesito.*

*Con mucho amor para mi esposo y mi hija, que han estado a mi lado en este largo y bonito camino de aprendizaje, siempre están conmigo cuando más los necesito, me dan su hombro para llorar si es necesario o comparten conmigo mis risas y alegrías.*

## **Agradecimientos**

A mi familia por acompañarme siempre en este camino, de manera incondicional en cada paso de este proceso.

A mi director de tesis Dr. José Alfredo Arreola Lizárraga que me permitió continuar mis estudios bajo su dirección. Gracias por trasmitirme sus conocimientos durante estos 9 años de formación.

A mi comité tutorial: Dr. Jorge Eduardo Chávez Villalba, Dr. Renato Arturo Mendoza Salgado, Dra. Lía Celina Rodríguez Méndez, Dra. Jaqueline García Hernández que compartieron sus conocimientos y experiencias conmigo.

A mis amigos y compañeros de posgrado, gracias por brindarme su amistad y por los buenos momentos que pasamos juntos, sus consejos fueron de mucha ayuda en todo momento.

A la M. en C. María del Refugio López Tapia responsable del Laboratorio de Calidad del Agua donde realicé los análisis necesarios para la tesis y por su ayuda en los muestreos realizados.

M. en C. Edgar Alcántara Razo quien me ayudó en la elaboración de bases de datos e imágenes utilizadas en el documento de tesis. Así como su apoyo en el área de trámites de posgrado.

Ing. Gustavo Padilla Arredondo por la realización de gráficos de vientos, así como el apoyo prestado en la realización de los muestreos.

Ing. David Urias Laborín por brindarme apoyo en la elaboración de los mapas y apoyo en los muestreos realizados.

Dr. Luis Brito Castillo por permitirme realizar una estancia bajo su supervisión, así como por proveer datos de la estación meteorológica que está a su cargo.

Ing. Julio Egrén Félix Domínguez técnico del Laboratorio Modelación Espacial y Sensores Remotos; por el tratamiento de los datos meteorológicos utilizados en la tesis.

Dr. Jorge Hernández López por permitirme realizar una estancia de tesis bajo su supervisión en su laboratorio.

Ing. Francisco Javier Coira García por el apoyo prestado en la realización de los muestreos de la playa Miramar.

Ing. Xicohtécatl Galicia García por su apoyo en el área de informática y biblioteca.

Tania Verónica Núñez Valdez, por el apoyo brindado con trámites en el área de control escolar.

AI CENTRO DE INVESTIGACIONES BIOLÓGICAS DEL NOROESTE, S.C. por permitirme realizar el doctorado. A sus trabajadores por brindarme el apoyo en todas las áreas requeridas.

A CONACYT por otorgarme la beca 434868 para realizar mis estudios de doctorado.



## Contenido

Resumen .....	i
Summary .....	ii
Dedicatoria.....	iii
Agradecimientos .....	iv
Contenido.....	vi
Lista de figuras.....	ix
Lista de tablas .....	xi
<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>2. ANTECEDENTES .....</b>	<b>6</b>
<b>3. JUSTIFICACIÓN .....</b>	<b>11</b>
<b>4. HIPÓTESIS .....</b>	<b>12</b>
<b>5. OBJETIVOS.....</b>	<b>13</b>
5.1 Objetivo general .....	13
5.2 Objetivos específicos .....	13
<b>6. MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>14</b>
6.1 Área de estudio .....	14
6.2 Variabilidad de las concentraciones de enterococos en el agua y en la arena de tres playas de Guaymas .....	18
6.2.1 Trabajo de campo.....	18
6.2.2 Trabajo de laboratorio.....	20
6.2.3 Análisis de precipitación y viento.....	21
6.2.4 Análisis estadístico.....	22
6.2.5 Evaluación de la calidad sanitaria.....	22

6.3	Capacidad de carga de la playa recreativa rural El Cochórit .	23
6.3.1	Trabajo de campo.....	23
6.3.2	Trabajo de laboratorio.....	24
6.3.3	Estimación de la capacidad de carga .....	24
6.3.4	Evaluación de la calidad sanitaria.....	28
6.3.5	Información meteorológica.....	28
6.3.6	Análisis estadístico.....	28
6.4	Condición sanitaria de una playa recreativa urbana Miramar.	29
6.4.1	Trabajo de campo.....	29
6.4.2	Trabajo de laboratorio.....	30
6.4.3	Inspección sanitaria.....	31
6.4.4	Detección de riesgo a la salud de los bañistas .....	32
6.4.5	Análisis estadístico.....	32
<b>7.</b>	<b>RESULTADOS.....</b>	<b>34</b>
7.1	Variabilidad de las concentraciones de enterococos en el agua y en la arena de tres playas de Guaymas .....	34
7.1.1	Afluencia de usuarios.....	34
7.1.2	Parámetros fisicoquímicos.....	34
7.1.3	Precipitación y viento.....	34
7.1.4	Concentración de enterococos en agua .....	37
7.1.5	Concentración de enterococos en arena .....	39
7.2	Capacidad de carga de la playa recreativa rural El Cochórit .	41
7.2.1	Capacidad de carga.....	41
7.2.2	Afluencia de usuarios.....	42

7.2.3	Variables ambientales .....	43
7.2.4	Indicadores de contaminación fecal .....	44
7.3	Condición sanitaria de una playa recreativa urbana Miramar.	46
7.3.1	Inspección sanitaria .....	46
7.3.2	Calidad sanitaria del agua .....	49
7.3.3	Evaluación de la condición sanitaria de la playa .....	49
7.3.4	Detección de riesgo a la salud de los bañistas .....	50
<b>8.</b>	<b>DISCUSIÓN.....</b>	<b>57</b>
8.1	Variabilidad de las concentraciones de enterococos en el agua y en la arena de tres playas de Guaymas .....	57
8.2	Capacidad de carga de la playa recreativa rural El Cochórit .	61
8.3	Condición sanitaria de una playa recreativa urbana Miramar.	65
<b>9.</b>	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>71</b>
<b>10.</b>	<b>LITERATURA CITADA .....</b>	<b>73</b>
<b>11.</b>	<b>ANEXOS .....</b>	<b>86</b>

## Lista de figuras

<b>Figura 1.</b> Localización geográfica de las playas consideradas en este trabajo: (1) Los Algodones, (2) San Francisco, (3) Miramar, (4) El Cochórit.....	16
<b>Figura 2.</b> Localización de las estaciones de muestreo en las playas: Los Algodones, San Francisco y Miramar.....	20
<b>Figura 3.</b> Puntos de muestreo de la playa El Cochórit.....	23
<b>Figura 4.</b> Zonificación de la playa El Cochórit.....	24
<b>Figura 5.</b> Área de estudio y zonas de muestreo de la playa recreativa Miramar, Guaymas, Sonora.....	29
<b>Figura 6.</b> Fechas y horarios de muestreos (rombos rojos) de calidad del agua mostrando la condición de la marea. Se indican el número de muestreo (recuadros inferiores), periodo vacacional de semana santa (recuadro rojo) y periodo vacacional de verano (recuadro azul).....	30
<b>Figura 7.</b> Precipitación media durante la década 2004-2014 en la región de las playas Los Algodones, San Francisco y Miramar.....	35
<b>Figura 8.</b> Dirección e intensidad de viento en un periodo de 20 días antes a los días de muestreo: 1) 16 marzo - 6 abril, 2) 1 - 21 abril, 3) 26 abril - 17 mayo, 4) 22 mayo - 14 junio, 5) 9 - 30 enero, 6) 15 enero - 5 febrero, 7) 22 enero - 12 febrero. ....	36
<b>Figura 9.</b> a) Precipitación acumulada tres semanas antes de cada muestreo y temperatura superficial del mar durante los muestreos, b) ocurrencia de usuarios durante el tiempo de muestreo, Concentración de enterococos en agua en las playas c) Los Algodones, d) San Francisco y e) Miramar: antes de semana santa (1) durante semana santa (2), después de semana santa (3 y 4) e invierno (5,6 y 7). .....	38
<b>Figura 10.</b> a) Precipitación acumulada tres semanas antes de cada muestreo y temperatura superficial del mar durante los muestreos, b) ocurrencia de usuarios durante el tiempo de muestreo, Concentración de enterococos en arena en las playas c) Los Algodones, d) San Francisco y e) Miramar: antes de semana santa (1) durante semana santa (2), después de semana santa (3 y 4) e invierno (5,6 y 7). .....	40
<b>Figura 11.</b> Afluencia de usuarios durante los cuatro periodos de muestreo (1) antes de semana santa, (2) durante semana santa, (3 y 4) posterior a semana santa en la playa El Cochórit, Sonora. Las líneas representan la capacidad de carga de la playa con dos niveles de confort (continua 5 m <sup>2</sup> por persona y punteada 10 m <sup>2</sup> por persona).....	42

**Figura 12.** Valores de temperatura (línea azul) y salinidad (línea roja) del agua en la playa El Cochórit durante los cuatro periodos de muestreo (1) antes de semana santa, (2) durante semana santa, (3 y 4) después de semana santa..... 43

**Figura 13.** Temperatura ambiental promedio (línea continua) y el acumulado de precipitación mensual (barras) durante el periodo enero-diciembre 2014 en Empalme Sonora. .... 44

**Figura 14.** Indicadores de contaminación ambiental a) coliformes totales b) coliformes fecales y c) enterococos en la playa El Cochórit durante los 4 periodos de muestreo (1) antes, (2) durante y (3 y 4) después de semana santa. La línea roja continua representa el límite de la WHO (2003) para la concentración de enterococos y la línea punteada representa el límite establecido por la normatividad mexicana (SE,2016)..... 45

**Figura 15.** Concentración de enterococos en las zonas de playa y canal durante 2017. La línea punteada indica el límite de concentración de enterococos (100 NMP) establecido por la normatividad mexicana (SE, 2016) y la línea continua indica el límite (500 NMP) establecido por la WHO (2003). .... 51

**Figura 16.** Distribución de frecuencias de las concentraciones de enterococos en agua en las zonas de playa (barra con diagonales) y canal (barra solida) en la playa Miramar..... 52

**Figura 17.** Concentraciones de enterococos en agua en la playa Miramar: a) zona de canal durante flujo y reflujos de marea en octubre - diciembre 2017 y b) zona de playa, durante mañana y tarde en el ciclo anual. .... 53

**Figura 18.** Comportamiento de (a) temperatura y (b) salinidad del agua en las zonas de playa y canal durante el estudio (25 muestreos catorcenales) y (c) comparación de los valores de salinidad del agua durante flujo y reflujos de marea en la zona del canal en el ciclo anual. .... 54

**Figura 19.** a) Concentraciones promedio por mes de enterococos en agua de la zona de playa (línea continua naranja) y zona de canal (línea punteada verde), así como el acumulado mensual de precipitación(barras amarillas) durante enero – diciembre 2017. La línea punteada roja representa el límite de concentración de enterococos establecido por la normatividad mexicana (SE, 2016) y la línea continua roja la categoría de máximo riesgo sanitaria WHO (2003). b) Afluencia de usuarios (barra solida) y perros (barra con diagonal) registrados durante los muestreos, c) Afluencia mensual de usuarios. La línea punteada verde representa la capacidad de carga..... 56

## Lista de tablas

<b>Tabla I.</b> Síntesis de las características y del entorno de las playas. ....	17
<b>Tabla II.</b> Periodos para análisis de viento y precipitación en función de la fecha de muestreo. ....	21
<b>Tabla III.</b> Criterios de calidad del agua para uso recreativo de contacto primario de acuerdo a la WHO (2003). ....	22
<b>Tabla IV.</b> Área equivalente usada por persona (Yepes, 2002). ....	26
<b>Tabla V.</b> Factores de corrección utilizados para determinar la CCR. ....	27
<b>Tabla VI.</b> Indicadores de capacidad de manejo aplicados para evaluar la capacidad de carga efectiva en la playa El Cochórit (propuestos por Souza et al., 2014). ....	28
<b>Tabla VII</b> Ponderación asignada a categorías de las variables de inspección sanitaria. ....	32
<b>Tabla VIII.</b> Ponderación asignada a categorías de riesgo sanitario. ....	32
<b>Tabla IX.</b> Clasificación por contaminación fecal bacteriana y probabilidad de riesgo a enfermedades gastrointestinales (GI) y respiratorias febriles agudas (RFA) (WHO, 2003). ....	33
<b>Tabla X.</b> Valores de parámetros fisicoquímicos del agua de las playas: Los Algodones, San Francisco y Miramar. ....	34
<b>Tabla XI.</b> Capacidad de manejo de la playa El Cochórit. ....	41
<b>Tabla XII.</b> Resumen de la capacidad de carga para la playa El Cochórit. ....	42
<b>Tabla XIII.</b> Inspección sanitaria: bañistas, infraestructura sanitaria, embarcaciones y animales. ....	47
<b>Tabla XIV.</b> Inspección sanitaria: aportes de aguas residuales, fugas en el sistema de drenaje y precipitación. ....	48
<b>Tabla XV.</b> Resultados de inspección sanitaria. ....	49
<b>Tabla XVI.</b> Evaluación de la condición sanitaria con base en los resultados de la inspección sanitaria y la concentración de enterococos en el agua (WHO, 2003). ....	50

## 1. INTRODUCCIÓN

La playa es una formación costera definida como la unidad geomorfológica conformada por la acumulación de sedimentos no consolidados, está delimitada por la marea baja del lado del mar y por el límite que produce la acción del oleaje de tormenta del lado de la tierra; la playa es un ambiente dinámico donde interaccionan el aire, el agua y la arena (Komar, 1998).

Aproximadamente el 50 % de la población global vive a 150 km de la línea de costa. La urbanización de esta zona, así como el mal manejo de los ecosistemas costeros, han propiciado un deterioro del ambiente marino; sobre todo por construcciones no planificadas adecuadamente (Barragán y De Andrés, 2016). En particular, las playas son ecosistemas con paisajes y escenarios atractivos que proporcionan una valiosa contribución económica a los destinos turísticos (Houston, 2013), y cubren una amplia gama de valores ambientales, cuya importancia depende del contexto cultural, económico y ambiental (Schlacher *et al.*, 2008). Los valores de uso directo de las playas, incluyen la recreación, el turismo, la investigación y la educación, destacando los dos primeros por brindar beneficios económicos directos (Prayaga, 2017). Sin embargo, hay una preocupación cada vez mayor sobre la protección y gestión sostenible de los recursos costeros; debido a la creciente degradación y uso excesivo que se presentan en las playas al sobrepasar constantemente su capacidad de carga, provocando alteraciones físicas, económicas y sociales (Kline y Swallow, 1998; Bonnie y Mazaffer, 1990). Otra preocupación es el potencial riesgo a la salud pública, ya que los usuarios de las playas pueden estar expuestos a una variedad de microorganismos que causan enfermedades. En el agua de las playas, muchos de los agentes infecciosos que son de preocupación resultan de la contaminación fecal (Fleisher *et al.*, 2010; Arnold *et al.*, 2013; Fewtrell and Kay, 2015) y ésta se potencializa por varios factores; influencia de aguas residuales urbanas sin tratamiento o con tratamiento insuficiente (Fleisher *et al.*, 1998; Eisenberg *et al.*, 2016), escorrentías de lluvias en zonas urbanas con desbordamiento de alcantarillado (Haile *et al.*, 1999; Oliveira and Cunha, 2014), afluencia masiva de bañistas (Torres-Bejarano *et al.*, 2016), y ocurrencia de

animales (Wright *et al.*, 2009), o la influencia conjunta de varias de estas fuentes de contaminación fecal (Nevers *et al.*, 2018; León-López *et al.*, 2018). Por esta razón, es importante conocer la calidad ambiental de las playas turísticas. De acuerdo con Botero *et al.*, (2013), la calidad de una playa es el estado que presenta el sistema socio-natural, en relación con su funcionamiento de ecosistema y como satisfactor de necesidades humanas (entre ellas la subsistencia, ocio e identidad). Esta calidad ambiental se integra de tres dimensiones: sanitaria, ecosistémica y recreativa. Por lo tanto, identificamos una buena calidad ambiental cuando el sistema natural puede mantener su estructura y funcionamiento, y a su vez sostener las actividades humanas que en él se realizan. En vista de la importancia económica y social de las playas recreativas, se deben mantener condiciones sanitarias sin riesgo a la salud pública (Testolin *et al.*, 2019).

La World Health Organization (WHO, 2003) por sus siglas en inglés ha establecido: (1) categorías de riesgo a la salud en función de concentraciones de enterococos en el agua y (2) criterios de inspección sanitaria mediante la detección de las fuentes de contaminación fecal. Con estos dos factores puestos en una matriz, las playas pueden ser calificadas con condiciones sanitarias: "muy buenas", "buenas", "regulares", "pobres" o "muy pobres". Esto resulta útil para implementar medidas preventivas o correctivas para proteger la salud pública y contribuir al uso sostenible de las playas urbanas.

Los sistemas de clasificación de la calidad sanitaria del agua de las playas se adoptan comúnmente en todo el mundo como herramientas de gestión de playas para evaluar el riesgo de salud pública (Thoe *et al.*, 2018). Sin embargo, es importante considerar que los niveles de riesgo a la salud pública varían según varios factores; el entorno geográfico, las condiciones socioeconómicas, el clima, la infraestructura sanitaria y de tratamiento de aguas residuales, los patógenos asociados a las fuentes de contaminación (Girardi *et al.*, 2019; Verhougstraete *et al.*, 2020), así como las características geomorfológicas y oceanográficas, la afluencia de usuarios y nivel de gestión de las playas (Kelly *et al.*, 2018; McLachlan *et al.*, 2018).



La afluencia de turistas nacionales e internacionales a los destinos de sol y playa van en aumento. La mayoría de los usuarios seleccionan la playa como destino según los siguientes parámetros: i) seguridad, ii) entorno - instalaciones, iii) calidad del agua, iv) basuras y v) paisaje (Rangel-Buitrago *et al.*, 2016). Debido a que la calidad del agua es criterio de selección del destino, es importante implementar métodos que permitan conocer el estado de contaminación de las playas.

En México, en periodos vacacionales existen programas de monitoreo de la calidad del agua de las playas más importantes del país. Sin embargo, la frecuencia del monitoreo y el número de playas en estos programas es suficiente para garantizar que la calidad sanitaria de las playas sea apta para su uso recreativo sin riesgo para la salud pública. Esto principalmente se debe a que existen diversas fuentes de contaminación bacteriana que afectan la calidad del agua y de la arena. Las fuentes más importantes corresponden a aguas residuales tratadas y no tratadas, drenajes pluviales, desembocaduras de ríos, bañistas (defecación y/o desprendimiento), asentamientos irregulares que no cuentan con infraestructura de saneamiento y alcantarillado. Otras fuentes incluyen fosas sépticas cerca de la playa, defecación de animales como perros y gaviotas (Nevers, *et al.*, 2018), deposición en forma de aerosoles, descarga de agua de baños de embarcaciones, así como el transporte de bacterias fecales por lluvias, vientos, mareas y corrientes (Mangala *et al.*, 2013; Tilburg *et al.*, 2015). La WHO (2003) considera que las principales fuentes de contaminación de bacterias fecales en la playa son: (I) escorrentías pluviales contaminadas con desbordamientos de alcantarillado, (II) aguas residuales sin tratamiento o con tratamientos deficientes, y (III) bañistas. Aunque las fuentes de contaminación de aguas marinas varían de un lugar a otro, la importancia de mantener buena calidad sanitaria radica en la protección a la salud de los usuarios. A nivel mundial la exposición de la población a playas contaminadas, produce 120 millones de casos de trastornos gastrointestinales y 50 millones de casos de enfermedades respiratorias por año (Shuval, 2003). Las epidemias causadas por patógenos transmitidos por el agua y los peligros para la salud en los países en desarrollo se asocian principalmente con el manejo inadecuado de los recursos

hídricos. Para prevenir la propagación de enfermedades infecciosas transmitidas por el agua, las autoridades locales deben implementar una buena práctica de monitoreo de los ecosistemas acuáticos.

La evaluación de la calidad sanitaria y microbiológica del agua y de la arena de las playas, se realiza utilizando diferentes tipos de bacterias como indicadores microbiológicos. Los indicadores “ideales” de contaminación fecal presentan características como: (1) no ser patógenos para el ser humano, (2) se pueden cuantificar mediante metodología simple y rápida, (3) presentan supervivencia similar a los agentes patógenos y (4) tienen una fuerte asociación con los mismos (Byappanahalli *et al.*, 2012).

En el agua de las playas, la calidad microbiológica ha sido evaluada mediante bacterias indicadoras de contaminación fecal, tales como coliformes totales, coliformes fecales, *E. coli*, y enterococos (Oliveira *et al.*, 2016). En particular, las bacterias coliformes no son consideradas como buenas indicadoras de contaminación fecal en el agua de mar porque tienen escasa resistencia a la salinidad. Por ejemplo *E. coli* en agua de mar permanece < 1 día mientras que los enterococos permanecen hasta 2.5 días (Noble *et al.*, 2003). La WHO estableció el riesgo a la salud de bañistas en playas en función de las concentraciones de enterococos (WHO, 2003) debido a que: (1) están presentes en el intestino de muchos animales, (2) son abundantes en heces humanas y de animales, (3) se cultivan con facilidad, (4) tiene alta correlación con los resultados sanitarios en las aguas dulces y marinas, (5) crecen fácilmente en condiciones de laboratorio en un rango de temperatura de 10 a 45 °C, 6.5 % de cloruro de sodio, pH 9.6, y (6) están asociados directamente con enfermedades respiratorias así como con gastroenteritis, conjuntivitis y dermatitis (Pruss, 1998; Carrero-Colón *et al.*, 2011). El uso de enterococos como indicadores, debe considerar que sus poblaciones pueden ser endógenas en los sedimentos y los suelos, y no exclusivamente de origen fecal, para evitar evaluaciones imprecisas (Desmarais *et al.*, 2002).

El objetivo de este trabajo es generar información para conocer la variabilidad espacial y temporal de la calidad sanitaria del agua y de la arena en playas recreativas de Guaymas y Empalme con un enfoque en la detección de los riesgos a la salud pública, que sirva como modelo para aplicar en otras playas del país de zonas semiáridas subtropicales.

## 2. ANTECEDENTES

Diversas contribuciones científicas han abordado la problemática sanitaria del agua en playas recreativas, aportando evidencia mediante bacterias fecales como indicadores biológicos y la relación que éstas tienen con enfermedades. Fleisher *et al.* (2010), observaron que los bañistas pueden estar expuestos a contraer enfermedades, aunque no se conozca una fuente de contaminación por descarga de aguas residuales. En este sentido Arnold *et al.* (2013) detectaron que los nadadores son más propensos a contraer enfermedades gastrointestinales que los no nadadores, pero no observaron una asociación entre los indicadores y las enfermedades adquiridas por los bañistas en aguas relativamente de buena calidad.

A nivel mundial se han propuesto diversos parámetros para evaluar y conocer la calidad ambiental y sanitaria de las playas. Por ejemplo, Botero *et al.* (2013) realizaron una revisión de los componentes ambientales observando que la mayoría de los parámetros se refieren a la calidad del agua de mar, mientras que la cantidad de parámetros sobre la arena, el aire y los ecosistemas es menos representativa.

Estudios que aportan evidencia de la calidad sanitaria del agua en las playas han mostrado que altas concentraciones de indicadores fecales pueden representar un riesgo para la salud pública. Brown *et al.* (2017) mediante la evaluación cuantitativa de riesgo microbiano para evaluar las concentraciones del marcador *Catellibococcus* (CAT) en playas de California, determinaron que el umbral de referencia de la United States Environmental Protection Agency (USEPA) (~3 enfermedades 100 nadadores<sup>-1</sup>) fue superado, ya que las densidades de CAT oscilaron entre 4.6-9.8 log 10 copias CAT g<sup>-1</sup> de heces húmedas. Tilburg *et al.* (2017) examinaron la relación entre la calidad del agua, la precipitación y la escorrentía de lluvias al Golfo de Maine E.E.U.U, donde observaron que eventos de lluvia extremos incrementan las enfermedades de transmisión por el agua, debido a patógenos zoonóticos que son transportados a los ambientes costeros.

En un estudio realizado en la playa Teluk Kemang de Malaysia por Mangala *et al.* (2013), se observaron entre 20 y 1,940 UFC 100 ml<sup>-1</sup> de coliformes totales y entre 0 y 90 UFC 100 ml<sup>-1</sup> de *E. coli*, con relaciones significativas entre los indicadores biológicos y la temperatura, el pH y el potencial redox; mientras que las sintomatologías reportadas por los usuarios de la playa predominaron casos en la piel y en los ojos.

En países de América Latina, Oliveira *et al.* (2016) detectaron la presencia de contaminación fecal humana en 13 playas de Rio de Janeiro, Brasil, y observaron que únicamente el 46 % de las playas marinas presentaban niveles de *E. coli* en cumplimiento a los criterios de buena calidad del agua (< 2,500 NMP 100 ml<sup>-1</sup> de aquí en adelante se referirá a la simbología de número más probable como NMP). Vergaray *et al.* (2011) realizaron un análisis microbiológico del agua en 21 playas de Lima y detectaron focos de contaminación con heces humanas; calificando al agua del 33 % de las playas como inaceptables al utilizar coliformes totales y fecales como indicadores de contaminación fecal; al incluir *E. coli* el porcentaje de playas inaceptables se incrementaba a 48 % y al incluir a Enterococos se incrementaba a 67 %.

En México, inicialmente la norma de sustentabilidad de calidad de playas estableció el límite máximo de la concentración de enterococos fecales en el agua en 200 NMP (SE, 2006). Diez años después, la norma fue actualizada y el límite máximo de las concentraciones de enterococos en el agua de las playas se estableció en 100 NMP (SE, 2016). Los monitoreos realizados previo a periodos vacacionales en ~ 270 las playas recreativas en el periodo 2016-2019 mostraron que > 90 % tuvieron calidad sanitaria apta para baño. Sin embargo, la inspección sanitaria, el control de fuentes de contaminación y el monitoreo de enterococos en el agua de estas playas requiere mayor esfuerzo (Arreola-Lizárraga *et al.*, 2020).

En la playa Boquita de Miramar, Colima, Silva-Iñiguez *et al.* (2007) evaluaron el impacto de la actividad turística en la calidad bacteriológica del agua de mar. La abundancia de las bacterias enterococos fecales mostró un rápido y marcado

incremento durante el periodo de máxima afluencia turística, disminuyendo después de dicho periodo. Por lo tanto, la calidad de la playa durante el periodo de mayor afluencia turística llegó a ser de riesgo sanitario y no apta para actividades recreativas de contacto primario. Flores-Mejía *et al.* (2012) evaluaron la calidad bacteriológica en tres playas de uso recreativo en Acapulco, Guerrero y observaron valores entre 10 y 1,600 NMP. La calidad bacteriológica de las tres playas se mantuvo dentro de los límites permisibles sin riesgo sanitario hasta antes de la época de lluvias (julio a septiembre), pero la calidad bacteriológica disminuyó hasta una condición no recomendable o de alto riesgo sanitario durante agosto.

La investigación científica está enfocada principalmente a la evaluación de la calidad del agua para emitir un juicio acerca de la calidad de la playa. Sin embargo, la arena, la otra parte integral de la playa, no ha sido incluida en el esquema de monitoreo y regulación vigente. Sin embargo, los espacios porosos y la superficie del grano de arena proporcionan condiciones propicias para la supervivencia, reproducción y viabilidad de las poblaciones microbiológicas y se ha aportado evidencia que apoya la importancia de la arena de playa para la salud pública (Whitman *et al.*, 2014; Zhang *et al.*, 2015).

En la revisión realizada por Halliday y Gast (2011) sobre abundancia y distribución de las bacterias indicadoras fecales y patógenas que habitan en playas de diversas regiones climatológicas; determinaron la importancia de incluir la evaluación de la arena en la normatividad, ya que puede ser una fuente de infección para los usuarios. En todas las regiones, las bacterias indicadoras fecales son casi omnipresentes en la arena de playa, y se han encontrado relaciones similares entre la abundancia de indicadores fecales en arena seca, arena húmeda y agua. Pinto *et al.* (2012) determinaron en tres playas de la Bahía Baixada Santista en Sao Paulo (Brasil) los niveles de indicadores bacteriológicos fecales comúnmente asociados con enfermedades diarreicas, infecciones de la piel y membranas mucosas, observando que las concentraciones de bacterias fecales fueron mayores en la arena seca, intermedias en la arena húmeda y menores en el agua. Con base en este tipo de evidencias se ha recomendado

(no obstante la ausencia de criterios cuantitativos), el monitoreo de la calidad de la arena de playas para recabar información y poder establecer protocolos normalizados y criterios de evaluación (Sabino *et al.*, 2014).

Los estudios anteriores indican un posible problema de salud pública y sugieren el planteamiento de preguntas de investigación que deberían ser abordadas con el fin de apoyar las decisiones políticas en el futuro. Es importante buscar la mejora de criterios y metodologías para evaluar la calidad sanitaria de playas con fines recreativos. Abdelzaher *et al.* (2013) proponen el uso de herramientas integrales para un proceso de aprobación, cuya finalidad es determinar un programa de estudio enfocado en la prevención del origen de la fuente de contaminación. Fujioka *et al.* (2015) expusieron que las directrices para calidad de agua recreacional, deben ser eficaces y basadas en estudios de evaluación de riesgos microbianos, epidemiológicos y cuantitativos. Asimismo, deben considerar marcadores específicos de aguas residuales, así como patógenos entéricos humanos, de modo que los riesgos para la salud de los bañistas en todas las aguas recreativas pueden ser determinados.

La WHO (2003) ha establecido los grados de sustentabilidad de las playas y los riesgos a la salud pública tomando como criterio la concentración de enterococos en el agua de mar en las playas y la evaluación de inspección sanitaria. La normatividad mexicana que establece los requisitos y especificaciones de sustentabilidad de calidad de playas establece un valor  $< 200$  NMP de enterococos en agua de las playas para que ésta sea considerada con calidad apta para su uso recreativo de contacto primario. Los criterios para esto están basados en un diseño de muestreo mensual, considerando una muestra por mes, y muestreos pre-vacacionales, considerando un mínimo de seis muestras distribuidas a lo largo de dos semanas previas al periodo vacacional, considerando que las muestras deberán ser tomadas a 1 m de profundidad y en la hora de mayor uso de playa (SE, 2016). Sin embargo, las playas son sistemas dinámicos con cambios diurnos, estacionales e interanuales en el movimiento del agua y esto incide en la concentración de enterococos. Por otro lado, las fuentes de enterococos (usuarios, aguas residuales, escorrentías por lluvias,

desembocadura de ríos, etc.) tienen variaciones en magnitud a lo largo del año. Además, los enterococos también están en la arena de las playas (Halliday y Gast, 2011; Pinto *et al.*, 2012).

Con base en lo anterior, este estudio plantea que el monitoreo de enterococos debe realizarse tanto en el agua como en la arena. Asimismo, es importante considerar la afluencia de personas y animales a la playa, las lluvias y los procesos costeros (mareas, vientos, corrientes litorales, etc.) que modulan la dinámica de las playas en diferentes épocas del año con el fin de detectar con mayor certidumbre los periodos de riesgo a la salud pública.



### **3. JUSTIFICACIÓN**

La calidad sanitaria del agua marina en zonas recreativas es de gran importancia debido a su impacto en la salud humana, esta puede verse afectada por la afluencia de usuarios, las descargas de aguas residuales, escorrentías de lluvias, aporte de polvo por vientos, defecación de animales domésticos o salvajes, descargas fluviales de ríos, entre otros. Sin embargo, actualmente se desconocen la variabilidad de la calidad sanitaria de la mayoría de las playas en el país.

Este trabajo contribuirá a generar mayor conocimiento de la variabilidad de la calidad sanitaria de playas semi-áridas subtropicales a través de la determinación de la concentración de enterococos tanto en el agua como en la arena. La información generada puede aplicarse en análisis comparativos con playas de otras regiones del mundo (templadas y tropicales), así como en recomendaciones objetivas para el manejo de las playas recreativas, incluyendo posibles ajustes a la normatividad vigente y con ello propiciar impactos positivos en el desarrollo económico y social.

#### **4. HIPÓTESIS**

Las concentraciones de enterococos en el agua y en la arena de las playas recreativas mostrarán mayor riesgo a la salud pública (enterococos en agua > 100 MPN) en semana santa y verano, y su variabilidad estará asociada a la afluencia de usuarios que se incrementa en periodos vacacionales, así como a los vertimientos de aguas residuales urbanas sin tratamiento y escorrentías de lluvias que se incrementan en verano.

## **5. OBJETIVOS**

### **5.1 Objetivo general**

Explicar la variabilidad espacial y temporal de la calidad sanitaria del agua y de la arena en playas recreativas de Guaymas y Empalme con un enfoque en la detección de riesgos a la salud pública, que sirva como modelo para aplicar en otras playas del país de zonas semiáridas subtropicales.

### **5.2 Objetivos específicos**

- Determinar la variabilidad de las concentraciones de enterococos en el agua y en la arena de tres playas de Guaymas, así como el riesgo a la salud pública en periodos del año con diferente magnitud de afluencia de usuarios; considerando las condiciones de viento, lluvia y variables del agua prevalecientes.
- Estimar la capacidad de carga de la playa recreativa rural El Cochórit, así como la magnitud y efecto de la afluencia de usuarios en periodos vacacionales en la calidad sanitaria de la playa.
- Evaluar la condición sanitaria de una playa recreativa urbana Miramar y detectar los riesgos a la salud de los bañistas a través del ciclo anual.

## 6. MATERIALES Y MÉTODOS

### 6.1 Área de estudio

Las playas consideradas en este estudio son Los Algodones, San Francisco, y Miramar en el municipio de Guaymas, y El Cochórit en el municipio de Empalme (Fig. 1). En esta región el clima es del tipo seco desértico (BW), las temperaturas máximas varían entre 28 y 29 °C y las mínimas entre 10.2 y 11.9 °C. (García, 2004). Las precipitaciones fluctúan entre 0.1 y 94 mm, con un promedio histórico de 230 mm anuales; el mes más lluvioso es agosto (~67 mm en promedio) y el más seco es mayo (~1 mm en promedio) (Vega-Granillo et al., 2011). Las mareas son clasificadas como mixtas semidiurna. Los vientos son del norte y noroeste de 19 a 28 kph (10 a 15 nudos). Durante los meses de octubre a abril, el viento dominante es de componente "norte", debido a los sistemas de alta presión que impulsan a los frentes fríos en esta época del año. Durante los meses de mayo a septiembre, se presenta el dominio de los vientos alisios (vientos del este), así como el dominio de la circulación de las brisas locales. En la Tabla I se presenta una síntesis de las características y del entorno de estas playas.

La playa Los Algodones tiene una longitud aproximada de 1.8 km y una pendiente hacia la costa de 2.4 %. Está ubicada en San Carlos (Guaymas) en una pequeña ensenada protegida al noroeste por un sistema de islotes (Isla San Luis, Isla Doble e Isla El venado) y por una saliente montañosa al sureste denominada Punta San Antonio. Presenta áreas de dunas con altura aproximada de 40 m y áreas bajas en la pos-playa que son inundadas en mareas extremas y eventos de lluvia. Existen al menos dos puntos de descargas fluviales intermitentes a esta playa. El rango de mareas es de 0.85 m y la altura del oleaje que incide en la playa es relativamente baja < 1 m la mayor parte del año, con periodos que oscilan entre los 3 y 7 s. Es una playa ideal para nadar, bucear, usar motos acuáticas, practicar tabla-vela, montar a caballo, jugar voleibol y fútbol durante todo el año.

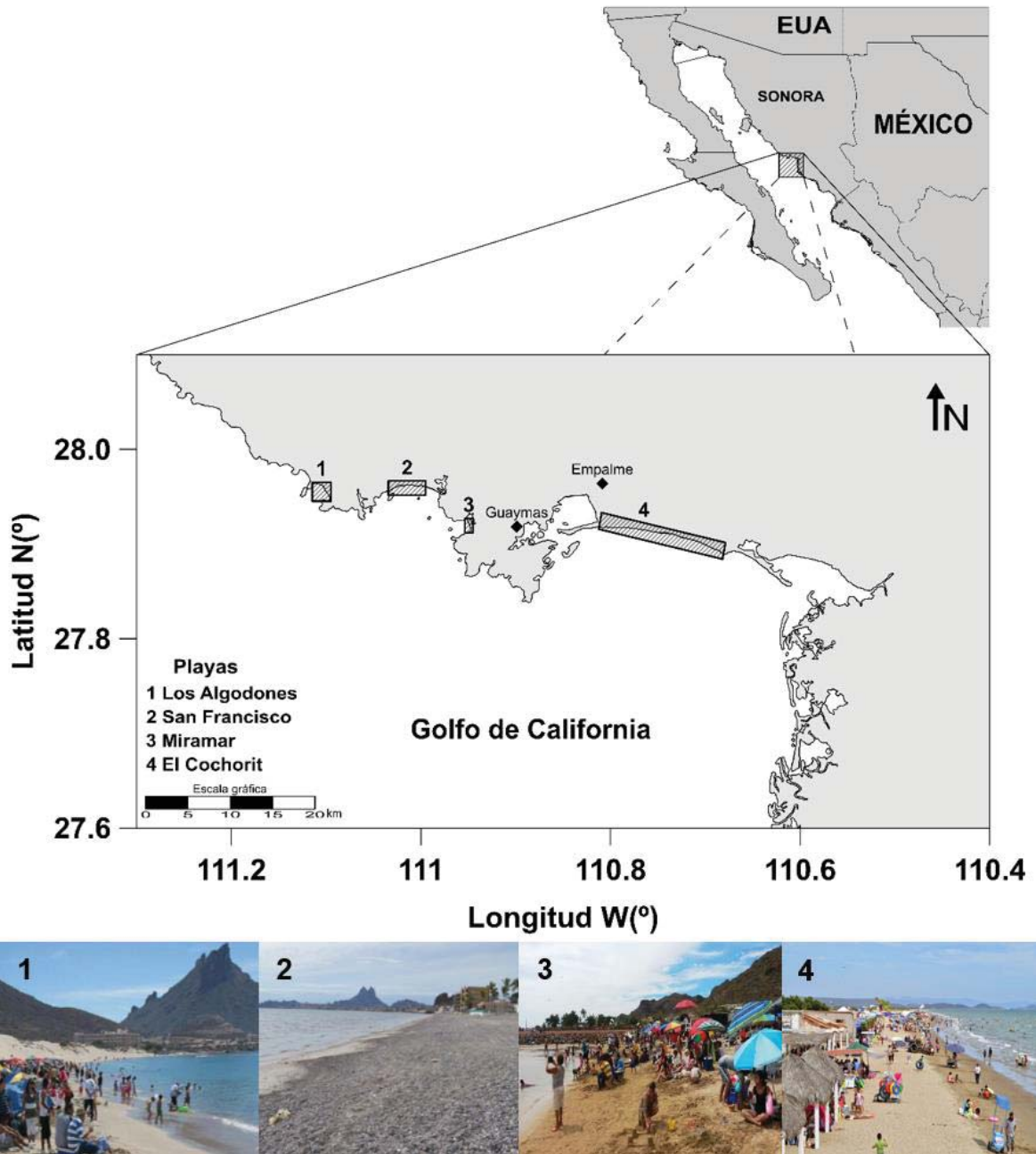
La playa San Francisco en San Carlos (Guaymas) tiene una longitud aproximada de 1.5 km y es ligeramente cóncava con una pendiente hacia la costa de 1.2 %.

Tiene tres corrientes fluviales intermitentes que desembocan a la costa. La pos-playa es un terreno plano y bajo con dunas costeras estabilizadas por vegetación halófila, éstas actúan como área de amortiguamiento de las escorrentías y atrapan la mayor parte de los sedimentos acarreados. Es una de las playas más visitadas y extensas de la zona, por su suave oleaje es adecuada para la convivencia familiar, los paseos en lancha y kayaks.

La playa Miramar se localiza en la ciudad de Guaymas, Sonora (NW México). La playa corresponde a la parte externa de una barrera arenosa que separa el estero Bacochibampo de la bahía del mismo nombre y toda la barrera arenosa está urbanizada (Fig. 1). Es una playa disipativa de arena fina, tiene una longitud aproximada de 1 km y un área de uso de playa de 5 km<sup>2</sup> (García-Morales *et al.*, 2018a), donde la altura de oleaje y amplitud de marea son < 1 m; la precipitación anual es < 300 mm año<sup>-1</sup>; esta playa recibe aportes de aguas residuales urbanas sin tratamiento (León-López *et al.*, 2018). Por estar en la ciudad, esta playa es comúnmente visitada por sus habitantes la mayor parte del año y se ha estimado una capacidad de carga turística de ~ 423 personas por día (García-Morales *et al.*, 2018a).

La playa El Cochórit se localiza en el municipio de Empalme, Sonora, México. Es una playa de ~ 3.5 km longitud, estable, recta, con perfil morfodinámico intermedio-disipativo, la amplitud de marea es de 0.85 m, altura de oleaje ~ 1m la mayor parte del año, de pendiente suave y moderada de 4.3 ± 0.7 m, de arenas finas con diámetro predominante de  $\varnothing = 2.1$  (0.13 a 0.18mm de diámetro), el ancho promedio de la playa es de 15 m al nivel medio del mar y está limitada por dunas activas de baja altura y planicies de inundación (García-Morales *et al.*, 2017). El tipo de clima es BW(h') hw (e), muy árido y seco con temperatura promedio anual de 25 °C (García, 2004). El promedio anual de precipitación es de 230 mm anuales, el mes más lluvioso es agosto (~67 mm en promedio) y el más seco es mayo (~1 mm en promedio) (Vega-Granillo *et al.*, 2011). Los vientos de la región soplan de sureste-suroeste en verano y de noroeste-noreste en invierno (Douglas *et al.*, 1993).

La mayoría de los usuarios de la playa son de origen nacional, con edades de 20-39, visitan la playa principalmente en familia durante fines de semana y periodos vacacionales con motivos de diversión, baño y descanso, principalmente (García-Morales *et al.*, 2017). No hay restricciones para el acceso de animales domésticos a la playa. La playa no recibe aportes de agua residuales.



**Figura 1.** Localización geográfica de las playas consideradas en este trabajo: (1) Los Algodones, (2) San Francisco, (3) Miramar, (4) El Cochorit.

**Tabla I.** Síntesis de las características y del entorno de las playas.

		Playas							
Características		Los Algodones		San Francisco		Miramar		El Cochórit	
Tipo de sitio		Bahía		Playa abierta		Bahía		Playa abierta	
Longitud uso de playa		~ 1.8 km		~ 1.5 km		~ 1 km		~ 1.8 km	
Área uso de playa		~ 9,000 m <sup>2</sup>		~ 7,500 m <sup>2</sup>		~ 5,000 m <sup>2</sup>		~ 9,000 m <sup>2</sup>	
Tipo de costa		Micromareal (amplitud marea < 1 m)		Micromareal (amplitud marea < 1 m)		Micromareal (amplitud marea < 1 m)		Micromareal (amplitud marea < 1 m)	
Altura de oleaje		< 1 m		< 1 m		< 1 m		< 1 m	
Terreno adyacente		Arbustos Dunas de arena		Arbustos Dunas de arena		Manglares de Urbanización		Arbustos Dunas de arena	
Actividad humana		Residencial Hotel Veredas Comercio establecido		Residencial Veredas		Residencial Hotel Calles Comercio establecido		Carretera Comercio establecido	
Presencia de animales		Animales domésticos Aves marinas Caballos		Animales domésticos Aves marinas		Animales domésticos Aves marinas		Animales domésticos Aves marinas	
Predominancia de dirección de vientos		Verano del sureste Invierno del noroeste		Verano del sureste Invierno del noroeste		Verano del sureste Invierno del noroeste		Verano del sureste Invierno del noroeste	
Predominancia de dirección de corrientes costeras		Verano del sureste Invierno del noroeste		Verano del sureste Invierno del noroeste		Verano del sureste Invierno del noroeste		Verano del sureste Invierno del noroeste	
Precipitación anual y patrón estacional		<300 mm año <sup>-1</sup> mayor en verano		<300 mm año <sup>-1</sup> mayor en verano		<300 mm año <sup>-1</sup> mayor en verano		<300 mm año <sup>-1</sup> mayor en verano	
Vertimientos de aguas residuales		No		No		Sí		No	
Agua pluvial combinada con aguas residuales		Probable influencia		Probable influencia		Sí		Sí	
Presencia de embarcaciones		Eventual		Eventual		Eventual		Eventual	

## **6.2 Variabilidad de las concentraciones de enterococos en el agua y en la arena de tres playas de Guaymas**

### 6.2.1 Trabajo de campo

Las playas se estudiaron durante dos periodos principales; durante la mayor afluencia de turismo, (uso intenso en semana santa, 2014), y mínimo (invierno, 2016). La estrategia de muestreo durante semana santa, consistió en cuatro campañas de muestreo que se realizaron antes del periodo vacacional (2-5 de abril), durante semana santa (17-20 de abril), y 25 (13-16 mayo) y 50 (10-13 junio) días después de semana santa. La estrategia de muestreo durante invierno consistió en tres campañas; la primera durante los días 27-29 de enero, la segunda entre el 3 y 4 de febrero, y la tercera del 10 al 11 de febrero de 2016. En cada campaña se destinó un día de muestreo para cada playa, y durante el invierno, se consideraron dos playas por día, bajo el siguiente orden: Miramar, San Francisco y Los Algodones.

La estrategia de muestreo en cada campaña y para cada sitio consistió en recolectar cinco muestras de agua, tres muestras de arena seca y dos muestras de arena húmeda en los sitios con afluencia de turistas (Fig. 2).

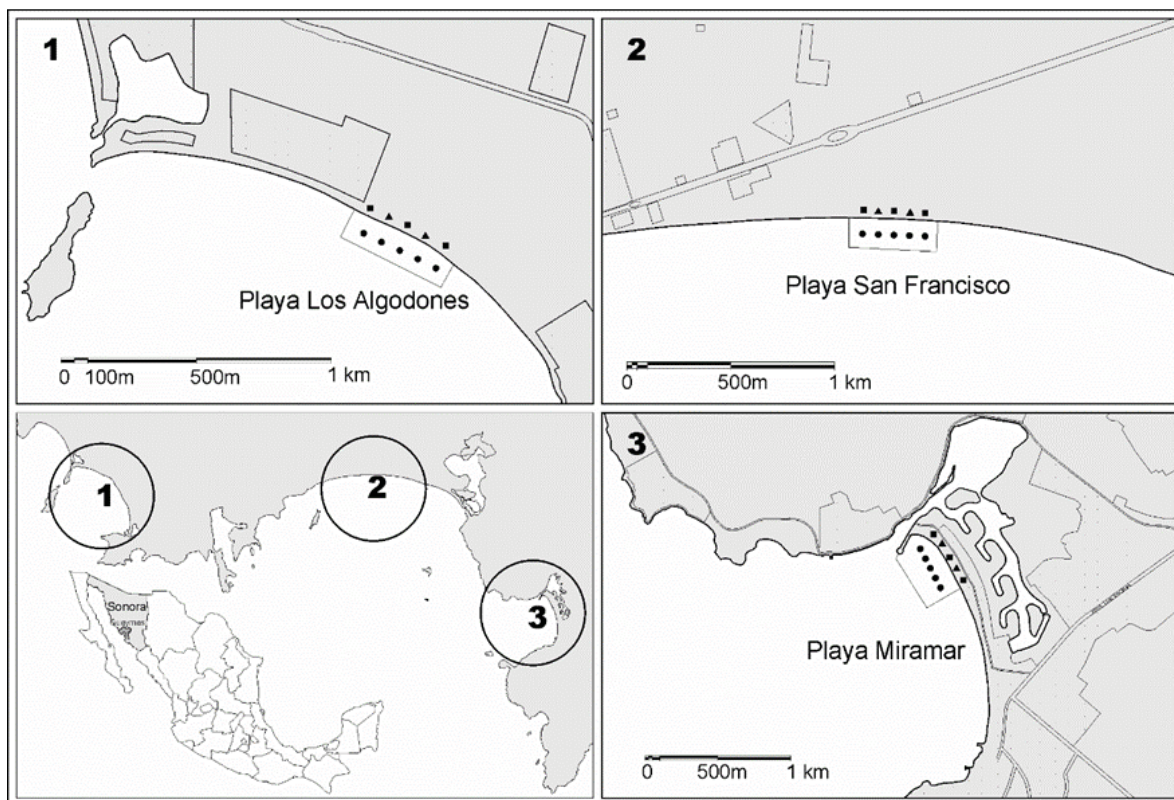
Los muestreos para agua se realizaron siguiendo los criterios de Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios (COFEPRIS), según la siguiente descripción: se tomaron las muestras en el lugar de mayor afluencia turística, para playas con oleaje de baja intensidad (playa Miramar) se tomaron las muestras a una profundidad de 1 m aproximadamente a contracorriente del flujo entrante y a 30 cm bajo la superficie del agua. Cuando la pendiente del fondo es pronunciada (playas Los Algodones y San Francisco), las muestras se tomaron en la orilla, donde la profundidad del agua esté entre el tobillo y la rodilla del verificador, a contracorriente del flujo entrante y a 30 cm debajo de la superficie del agua, en este caso es necesario cuidar que la muestra no contenga arena en la medida de lo posible. Se colectaron 100 ml de muestra en un recipiente estéril, el frasco fue introducido con la boca hacia abajo del agua, hasta la profundidad seleccionada de acuerdo al tipo de playa, se quitó el tapón



bajo el agua y, se invirtió el frasco para llenarlo hasta 2/3 del volumen del frasco, se colocó nuevamente el tapón bajo el agua para evitar contaminación, y se etiquetaron las muestras (COFEPRIS, 2013).

Las muestras de arena se tomaron siguiendo la metodología propuesta por Pinto *et al.* (2012) que consiste en recolectar 100 gr de arena de la capa superficial (primeros 5 cm) en bolsas de plástico con cierre hermético. Para ello, se consideraron los mismos sitios donde se colectaron las muestras de agua alternando un sitio para arena húmeda y un sitio para arena seca. Tanto las muestras de arena como las de agua se colocaron en hielo, dentro de una hielera, a una temperatura de ~ 4 °C para ser transportadas al laboratorio para su análisis.

En cada campaña y lugar de muestreo se registró: la temperatura, la salinidad, el oxígeno disuelto y el pH; con una sonda multiparamétrica YSI modelo 556 MPS. Asimismo, se contó el número de personas que estaban en la playa mediante un contador manual, tomando registro del total de usuarios en el momento del muestreo.



**Figura 2.** Localización de las estaciones de muestreo en las playas: Los Algodones, San Francisco y Miramar.

### 6.2.2 Trabajo de laboratorio

El análisis de muestras se realizó en el Laboratorio de Calidad del Agua del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C. Unidad Sonora.

Las muestras de arena fueron mezcladas con 900 ml de agua destilada mediante agitación magnética durante 1 minuto a baja velocidad (Pinto *et al.*, 2012) y posteriormente fueron analizadas al igual que las muestras de agua con la metodología de Substrato Cromogénico Definido (Enterolert™) sugerido por la norma mexicana NMX-AA-120-SCFI-2016 (SE, 2016) que establece los requisitos y especificaciones de sustentabilidad de calidad de playas. El procedimiento consistió en: añadir el contenido de un paquete de sustrato Enterolert™ a los 100 ml de muestra, mezclar homogéneamente hasta disolver el sustrato, verter la mezcla en una charola Quanti-Tray 2000, asegurarla en un sellador Quanti-Tray de IDEXX e incubar la charola a  $41 \pm 0.5$  °C durante 24 h.

Posteriormente las charolas se colocaron bajo una lámpara con luz UV de 6 vatios, 365 nm a distancia de 13 cm de la muestra, en un entorno oscuro. Las muestras que emitieron fluorescencia se consideraron positivas y mediante una tabla de número más probable (NMP), se determinó la concentración de enterococos por 100 ml de muestra.

### 6.2.3 Análisis de precipitación y viento

Se analizó una serie de datos de precipitación de 10 años (2004-2014) en la estación San Francisco (clave: 26292), operada por la Comisión Nacional del Agua, ubicada a 13 m sobre el nivel del mar en las coordenadas 24.55 N y 110.5 W cercana a las playas. Los registros diarios de lluvia fueron agrupados por mes, los gráficos se realizaron mediante una macro de Excel Vertex 42 (2016) Adicionalmente, se registró la lluvia acumulada, así como la dirección y velocidad del viento, tres semanas antes de cada uno de los siete muestreos realizados en el agua y arena de las playas (Tabla II). Para el análisis de vientos se empleó un macro ENVIROWARE (2016) pero fue ampliada para cubrir otras opciones gráficas (hasta 5 tipos) agrupando los datos de vientos para su transformación a frecuencias por cada rumbo cardinal. Las rosas de viento fueron elaboradas con GRAPHER V.9 para representar los intervalos de clase.

**Tabla II.** Periodos para análisis de viento y precipitación en función de la fecha de muestreo.

2014	2016
16 marzo - 6 abril	10 - 29 enero
1 - 21 abril	15 enero - 5 febrero
26 abril - 17 mayo	22 enero - 12 febrero
22 mayo - 14 junio	

#### 6.2.4 Análisis estadístico

Los datos de calidad de agua y arena entre playas se compararon mediante un análisis de varianza no paramétrico Kruskal-Wallis con una significancia de  $p < 0.05$ , los gráficos se realizaron mediante una macro de Excel Vertex 42.

#### 6.2.5 Evaluación de la calidad sanitaria

La evaluación de la calidad sanitaria se realizó con base en las concentraciones de bacterias en agua y arena, utilizando como referencia los criterios establecidos por la WHO (2003) para enfermedades gastrointestinales y enfermedades respiratorias febriles agudas que se muestran en la Tabla III. Cabe mencionar que la normatividad mexicana que establece los requisitos y especificaciones de sustentabilidad de la calidad de playas considera que el agua debe tener concentraciones de enterococos menores a 100 NMP para su uso recreativo de contacto primario (SE, 2016).

**Tabla III.** Criterios de calidad del agua para uso recreativo de contacto primario de acuerdo a la WHO (2003).

Intervalo de Enterococos NMP 100 ml <sup>-1</sup>	Calidad Bacteriológica para Enterococos
0 – 40	< 1 % riesgo enfermedades GI / < 0.3 riesgo enfermedades RFA
41 – 200	1 - 5 % riesgo enfermedades GI / 0.3 - 1.9 % riesgo enfermedades RFA
201 – 500	5 - 10 % riesgo enfermedades GI / 1.9 - 3.9 % riesgo enfermedades RFA
> 500	> 10 % riesgo enfermedades GI / > 3.9 % riesgo enfermedades RFA

Nota: NMP = Número Más Probable, RFA = Respiratorias Febriles Agudas, GI = Gastro-Intestinales

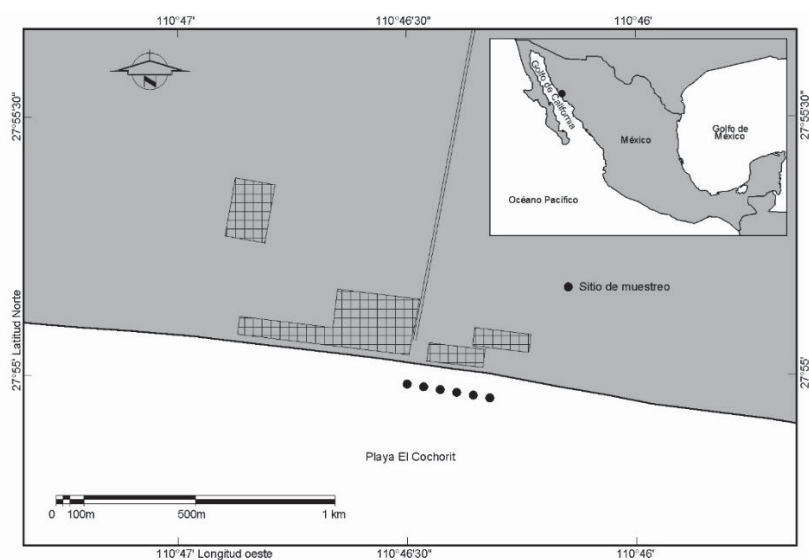
## 6.3 Capacidad de carga de la playa recreativa rural El Cochórit

### 6.3.1 Trabajo de campo

El muestreo se realizó teniendo como base el periodo vacacional de semana santa (2014). La estrategia de muestreo consistió en cuatro campañas de muestreo: 1) el 2 de abril (antes de semana santa), 2) 17 de abril (durante semana santa), 3) 13 de mayo (1 mes posterior a semana santa) y 4) 10 de junio (1 mes posterior a semana santa).

En cada campaña se recolectaron muestras de agua en seis sitios de la playa para determinar las concentraciones de bacterias coliformes totales, fecales y enterococos. La Fig. 3 muestra los sitios de muestreo, en cada uno se registró temperatura, salinidad, oxígeno disuelto y pH con una sonda multiparamétrica YSI modelo 556 MPS.

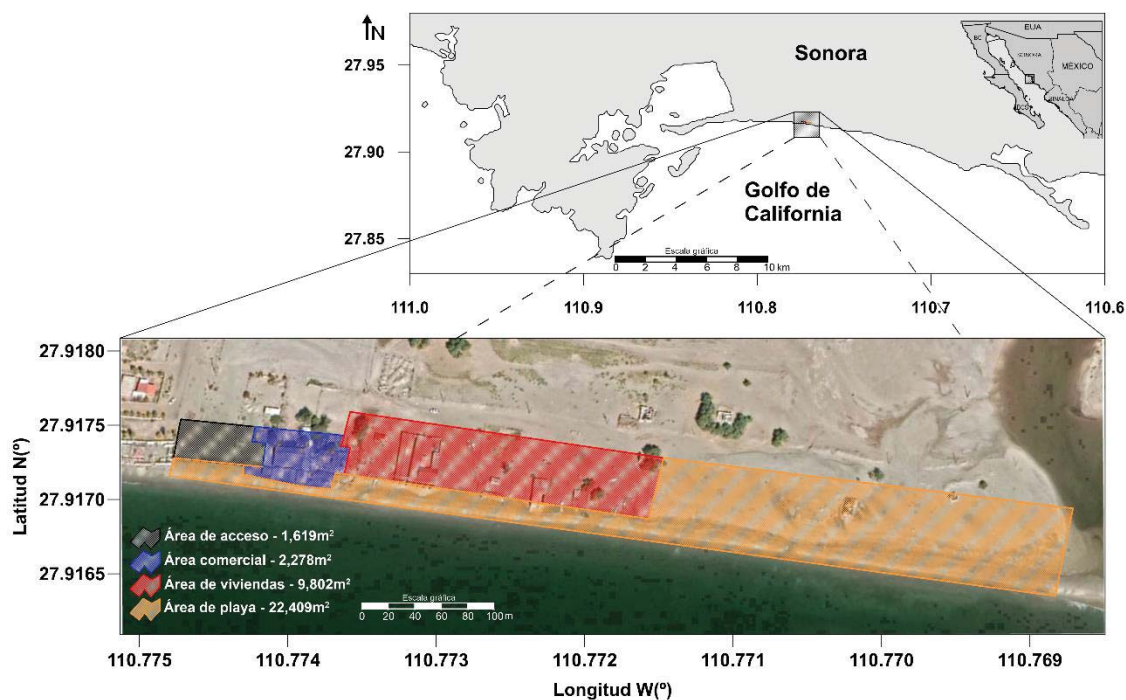
Durante los periodos de muestreo se contabilizó el número de personas que estaban en la playa. Así también, se tomaron georreferencias mediante un GPS de los puntos que delimitarían las distintas áreas de uso de la playa (Fig. 4).



**Figura 3.** Puntos de muestreo de la playa El Cochórit.

### 6.3.2 Trabajo de laboratorio

El trabajo de laboratorio se realizó en el Laboratorio de Calidad del Agua del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C. campus Guaymas, siguiendo la metodología citada anteriormente para enterococos. Para la determinación de coliformes totales y fecales se utilizó la técnica de Substrato Cromogénico Definido utilizando el sustrato Colilert® para coliformes y con una incubación de  $35\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ , durante 24 horas. Las muestras que presentan un viraje en el color del sustrato son consideradas positivas para coliformes totales y las que emiten fluorescencia bajo la presencia de luz UV se consideraron positivos para coliformes fecales. Mediante una tabla de número más probable (NMP), se determinó la concentración de coliformes totales y fecales por 100 ml de muestra.



**Figura 4.** Zonificación de la playa El Cochórit.

### 6.3.3 Estimación de la capacidad de carga

Se identificaron las zonas de playa y se estimaron sus áreas respectivas (Fig. 4). Esta zonación se realizó utilizando imágenes de satélite obtenidas de Google

Earth 2018. La georreferenciación y delimitación de las zonas se realizó con el software Surfer 10.

La capacidad de carga efectiva (CCE) de la playa fue estimada con base en los siguientes criterios propuestos por Cifuentes *et al.* (1999):

#### Capacidad de carga física (CCF)

Es el límite máximo de visitas que se pueden hacer al sitio durante un día. Está dada por la relación entre factores de visita (horario y tiempo de visita), el espacio disponible y la necesidad de espacio por visitante.

Para el cálculo se utilizó la siguiente fórmula:

$$CCF = \frac{S}{sp} * NV \quad (1)$$

Donde:

S = superficie disponible, en metros cuadrados (en este caso:  $24,028 m^2$  superficie total)

sp= superficie usada por persona (se aplicó el valor de aceptable y confortable, ver Tabla IV)

NV = número de veces que el sitio puede ser visitado por la misma persona en un día (en este caso, el horario de uso de playa es de 10:00 h a 19:00 h, los periodos de permanencia pueden ser hasta de 5 h. El número de veces que el sitio puede ser visitado por la misma persona es de  $9/5 = 1.80$  veces).

**Tabla IV.** Área equivalente usada por persona (Yepes, 2002).

Área usada por persona (m <sup>2</sup> persona <sup>-1</sup> )	Punto de saturación
< 2	Intolerable
3	Saturado
4	Limite aceptable
5	Aceptable
> 10	Confortable

#### Capacidad de carga real (CCR)

Es el límite máximo de visitantes, determinado a partir de la CCF de un espacio, una vez sometido a los factores de corrección definidos en función de las características particulares del lugar. Los factores de corrección se obtienen considerando variables físicas, ambientales, ecológicas, sociales, entre otras, expresadas en la ecuación general.

$$CCR = CCF * (FC_{fis} * FC_{amb} * FC_{ecol} * FC_{soc} * FC_{otro}) \quad (2)$$

Cada uno de los factores se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$FC_x = 1 \left( \frac{Mlx}{Mtx} \right) \quad (3)$$

Donde:

FC<sub>x</sub> = Factor de corrección por la variable “x”.

Mlx = Magnitud limitante de la variable “x”.

Mtx = Magnitud total de la variable “x”.

En este caso se aplicaron mareas, temperatura, lluvia, concesiones y viento (Tabla V).



**Tabla V.** Factores de corrección utilizados para determinar la CCR.

FCx	Variable	Mlx	Mtx
1	Mareas*	2 horas de ancho mínimo	9 horas de uso de playa
2	Temperatura	19 °C (Mínima promedio)	33 °C (Máxima)
3	Lluvia	13 días de lluvia al año	365 días del año
4	Viento	8 km hr <sup>-1</sup>	39 km hr <sup>-1</sup>
5	Concesiones	2 empresas	4 concesiones en ZOFEMAT

\*Las mareas son de tipo mixto semidiurno, con una diferencia entre cada cambio de marea de ~ 12 h, la playa es de ancho intermedio (15 m en promedio en marea baja) y de pendiente suave, por lo que el efecto de la marea en el área seca total para su uso, se estimó en una reducción de hasta un 60 % una vez al día en marea alta. La jornada de uso de playa de 9 horas, implica que la playa tendrá un ancho mínimo al menos 2 h del día.

#### Capacidad de carga efectiva (CCE)

Es el número que efectivamente se puede manejar o recibir en una playa, considerando la capacidad de carga actual y la capacidad de manejo.

$$CCE = CCR * CM \quad (4)$$

Dónde:

CCR = Capacidad de Carga Real

CM = Capacidad de Manejo.

La capacidad de manejo se basa en la infraestructura, los servicios y el equipo disponibles, observados durante el período de evaluación, utilizando los mismos indicadores propuestos por Sousa *et al.* (2014) (tabla VI).

**Tabla VI.** Indicadores de capacidad de manejo aplicados para evaluar la capacidad de carga efectiva en la playa El Cochórit (propuestos por Souza et al., 2014).

Indicadores	Clasificación		
	Bajo (1)	Medio (2)	Alto (3)
Baños públicos	Ausente	Escaso	Adecuado
Teléfonos públicos	Ausente	Escaso	Adecuado
Cestos de basura	Ausente	Escaso	Adecuado
Alumbrado público	Ausente	Escaso	Adecuado
Estacionamiento	Ausente	Escaso	Adecuado
Seguridad	Ausente	Escaso	Adecuado
Alojamiento	Ausente	Escaso	Adecuado
Bares y restaurantes	Ausente	Escaso	Adecuado
Accesibilidad	Ausente	Escaso	Adecuado

#### 6.3.4 Evaluación de la calidad sanitaria

La evaluación de la calidad sanitaria se realizó con base en las concentraciones de coliformes y enterococos en agua, utilizando como referencia los criterios establecidos por la WHO (2003).

#### 6.3.5 Información meteorológica

Se recopilaron los registros diarios de temperatura ambiental y precipitación de 2014, registrados en la estación meteorológica de la Comisión Nacional del Agua localizada ~3 km de la playa El Cochórit. Los datos de temperatura y lluvia se agruparon por mes y se presentaron en gráficos de cajas y bigotes.

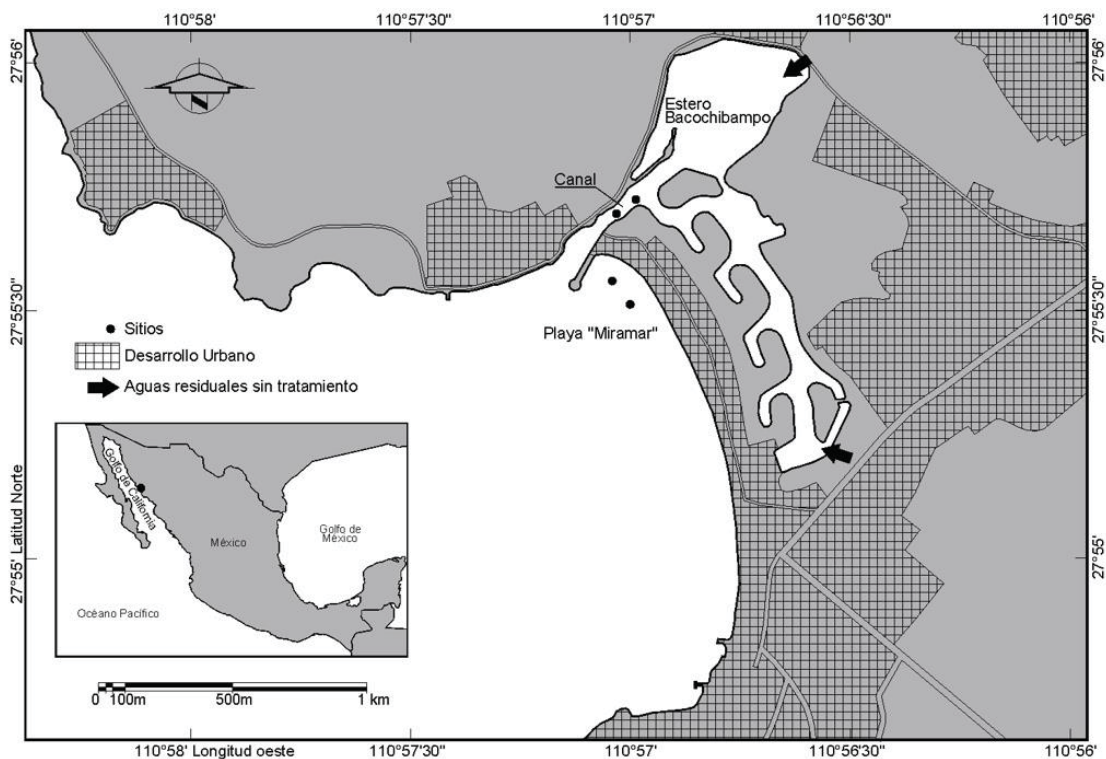
#### 6.3.6 Análisis estadístico

Los datos de calidad de agua entre campañas de muestreo se compararon mediante un análisis de Kruskal-Wallis con una significancia de  $p < 0.05$ ; los gráficos se realizaron mediante una macro de Excel Vertex42

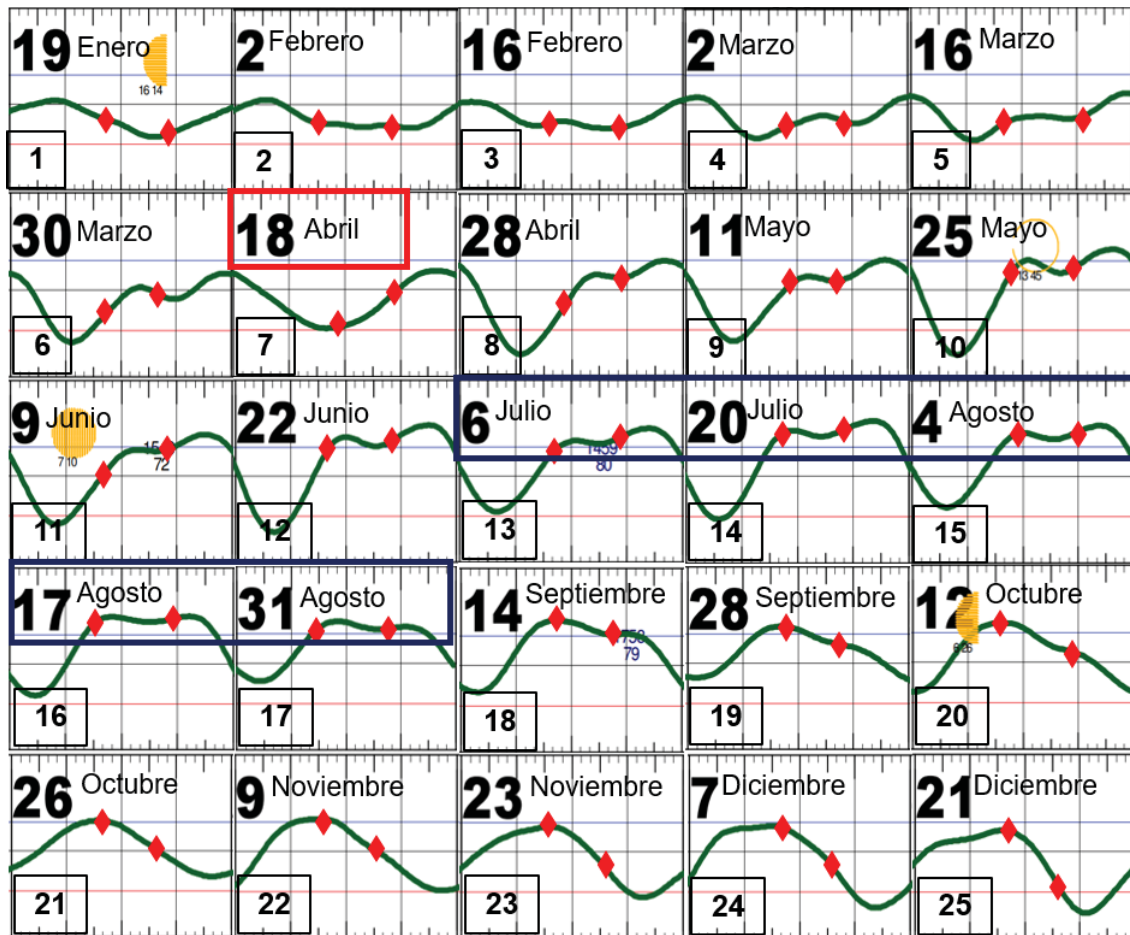
## 6.4 Condición sanitaria de una playa recreativa urbana Miramar

### 6.4.1 Trabajo de campo

Para cumplir el objetivo del trabajo se llevaron a cabo 25 muestreos durante el año 2017 (19 enero – 21 diciembre 2017); la concentración de enterococos se obtuvo en cuatro sitios, dos localizados en zona de playa y dos en zona de canal (Fig. 5) y en cada sitio se registró *in situ* la temperatura, salinidad y oxígeno disuelto del agua con una sonda multiparamétrica RBR (modelo XR-420 serie 17125). Los muestreos se realizaron cada 14 días, en la mañana y en la tarde, durante el periodo 19 enero – 21 diciembre 2017 (Fig. 6), recolectando en total 200 muestras de agua durante el periodo de estudio.



**Figura 5.** Área de estudio y zonas de muestreo de la playa recreativa Miramar, Guaymas, Sonora.



**Figura 6.** Fechas y horarios de muestreos (rombos rojos) de calidad del agua mostrando la condición de la marea. Se indican el número de muestreo (recuadros inferiores), periodo vacacional de semana santa (recuadro rojo) y periodo vacacional de verano (recuadro azul).

#### 6.4.2 Trabajo de laboratorio

Se analizaron 200 muestras de agua mediante la técnica de sustrato cromogénico definido Enterolert™ para identificar la concentración de *E. faecalis* y *E. faecium*. Esta metodología está avalada por la normatividad mexicana NMX-AA-120-SCFI-2016 (SE, 2016) que establece los requisitos y especificaciones de sustentabilidad de calidad de playas.

### 6.4.3 Inspección sanitaria

En la inspección sanitaria se consideraron las variables: bañistas, infraestructura sanitaria en la playa, aportes de aguas residuales, derrames de drenaje urbano, presencia de embarcaciones, cantidad de lluvia, y ocurrencia de animales. La inspección sanitaria fue realizada para periodos vacacionales y periodos no vacacionales.

La afluencia de bañistas y perros a la playa se registró en cada campaña de muestreo mediante un contador manual. Adicionalmente, se obtuvo información de la administración municipal acerca de la cantidad mensual de vehículos que ingresaron al estacionamiento de la playa para estimar la afluencia mensual de usuarios de la playa a través del año. La afluencia de bañistas se comparó con la capacidad de carga de esta playa estimada por García-Morales *et al.* (2018a) en ~ 423 personas por día.

La información de la infraestructura de servicios sanitarios de la playa fue calificada en función de sus condiciones, distancia de la zona de baño y frecuencia de uso.

La detección de los sitios donde se descargan aguas residuales se realizó mediante un recorrido en torno al estero Bacochibampo y su barrera arenosa, cuya parte externa representa la playa Miramar, y se detectaron dos sitios de descargas (Fig 5).

Los periodos y cantidad de lluvia se obtuvieron de una serie anual de datos de temperatura ambiental y precipitación con registros cada 10 minutos para el periodo 1 enero - 31 diciembre 2017, obtenida de una estación meteorológica Davis (modelo Vantage Vue 62050M) ubicada ~ 1 km de la playa Miramar, en instalaciones del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C. Los registros de precipitación, fueron agrupados por día y por mes para mostrar la lluvia acumulada por mes.

Las ponderaciones aplicadas al resultado cualitativo de las variables en la inspección sanitaria se muestran en la tabla VII. La ponderación aplicada al riesgo observado en la inspección sanitaria se muestra en la tabla VIII.

**Tabla VII** Ponderación asignada a categorías de las variables de inspección sanitaria.

Categoría	*Elementos	Animales
Muy bajo	0.1	0.1
Bajo	0.2	0.1
Moderado	1	0.2
Alto	3	1
Muy alto	12	1

\*Bañistas, infraestructura sanitaria, aguas residuales, derrames drenaje urbano, embarcaciones, lluvias

**Tabla VIII.** Ponderación asignada a categorías de riesgo sanitario.

Riesgo Sanitario	Ponderación
Muy bajo	0 – 0.19
Bajo	0.2 – 0.99
Moderado	1 – 2.99
Alto	3 – 11.99
Muy alto	> 12

#### 6.4.4 Detección de riesgo a la salud de los bañistas

La estimación de riesgo a la salud se basó en la concentración de enterococos en el agua de la playa, siguiendo los criterios de WHO (2003) (Tabla IX).

#### 6.4.5 Análisis estadístico

Se aplicaron análisis de Kruskal-Wallis con una significancia de  $p < 0.05$  para comparar: 1) las concentraciones de enterococos entre los muestreos a través del año, tanto para la zona de playa como de la zona de canal, 2) las concentraciones de enterococos de la zona de playa entre la mañana y la tarde, 3) las concentraciones de enterococos en la zona del canal durante invierno entre periodos de flujo y reflujos de marea y 4) los valores de salinidad en la zona del canal entre los periodos de flujo y reflujos de marea.

**Tabla IX.** Clasificación por contaminación fecal bacteriana y probabilidad de riesgo a enfermedades gastrointestinales (GI) y respiratorias febriles agudas (RFA) (WHO, 2003).

Categoría calidad microbiana	Concentración de enterococos NMP 100 ml <sup>-1</sup>	Riesgo estimado por exposición
A	0 – 40	< 1% riesgo enfermedades GI < 0.3 % riesgo enfermedades RFA
B	41 – 200	1– 5% riesgo enfermedades GI 0.3 –1.9 % riesgo enfermedades RFA
C	201 – 500	5 – 10% riesgo enfermedades GI 1.9 – 3.9% riesgo enfermedades RFA
D	> 500	> 10% riesgo enfermedades GI > 3.9% riesgo enfermedades RFA

## 7. RESULTADOS

### 7.1 Variabilidad de las concentraciones de enterococos en el agua y en la arena de tres playas de Guaymas

#### 7.1.1 Afluencia de usuarios

La afluencia de usuarios siguió el mismo patrón en las tres playas definido por una mayor afluencia (~ 96 %) en semana santa y menor en invierno y antes de semana santa (< 1 %). Posterior a semana santa la afluencia fue de ~ 1.5 % (Fig. 9a).

#### 7.1.2 Parámetros fisicoquímicos

La Tabla X muestra los valores mínimos y máximos, así como el promedio y la desviación estándar de los parámetros fisicoquímicos del agua que fueron observados durante el periodo de estudio en cada una de las playas.

**Tabla X.** Valores de parámetros fisicoquímicos del agua de las playas: Los Algodones, San Francisco y Miramar.

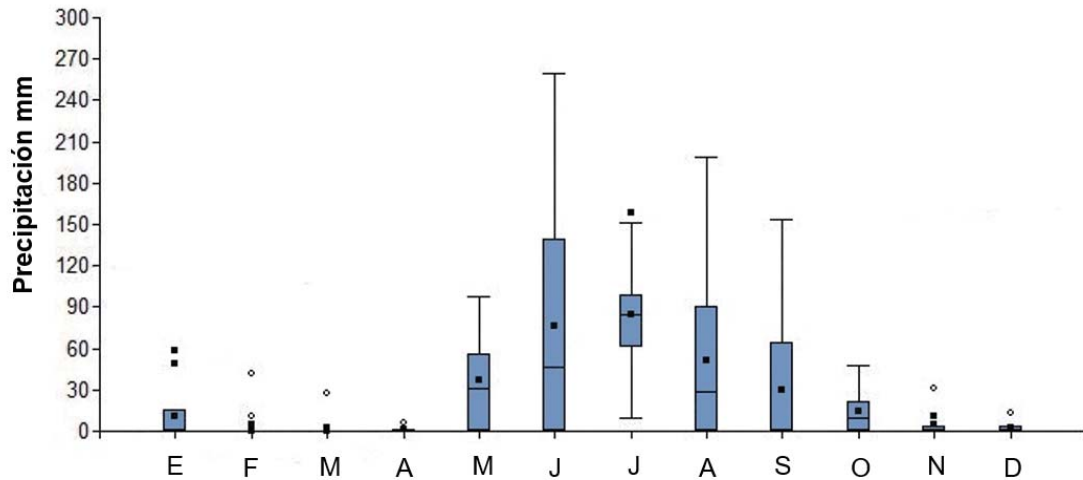
	Los Algodones			San Francisco			Miramar		
	Mín.-Máx.	Promedio	DE	Mín.-Máx.	Promedio	DE	Mín.-Máx.	Promedio	DE
Temperatura (°C)	17.6-31.5	21.50	4.74	18.3-31.5	21.81	4.23	17.2-30.4	21.53	4.41
Salinidad (ups)	30.3-36.8	35.08	1.93	29.7-36.8	34.97	1.84	30.4-36.9	35.13	1.89
O.D. (mg l <sup>-1</sup> )	3.2-7.5	6.19	1.38	3.4-7.7	6.26	1.26	5.8-8.1	7.04	0.71
pH	7.8-8.6	8.28	0.25	7.8-8.7	8.32	0.30	7.4-8.7	8.31	0.33

#### 7.1.3 Precipitación y viento

El comportamiento de la lluvia de los últimos 10 años, mostró que la mayor precipitación ocurre en julio (~ 85 mm mes<sup>-1</sup>) y la menor en abril (< 1 mm mes<sup>-1</sup>) (Fig. 7). Específicamente, previo a los muestreos de antes (1) y durante semana santa (2) no se registraron lluvias; en ambos periodos de muestreo posteriores

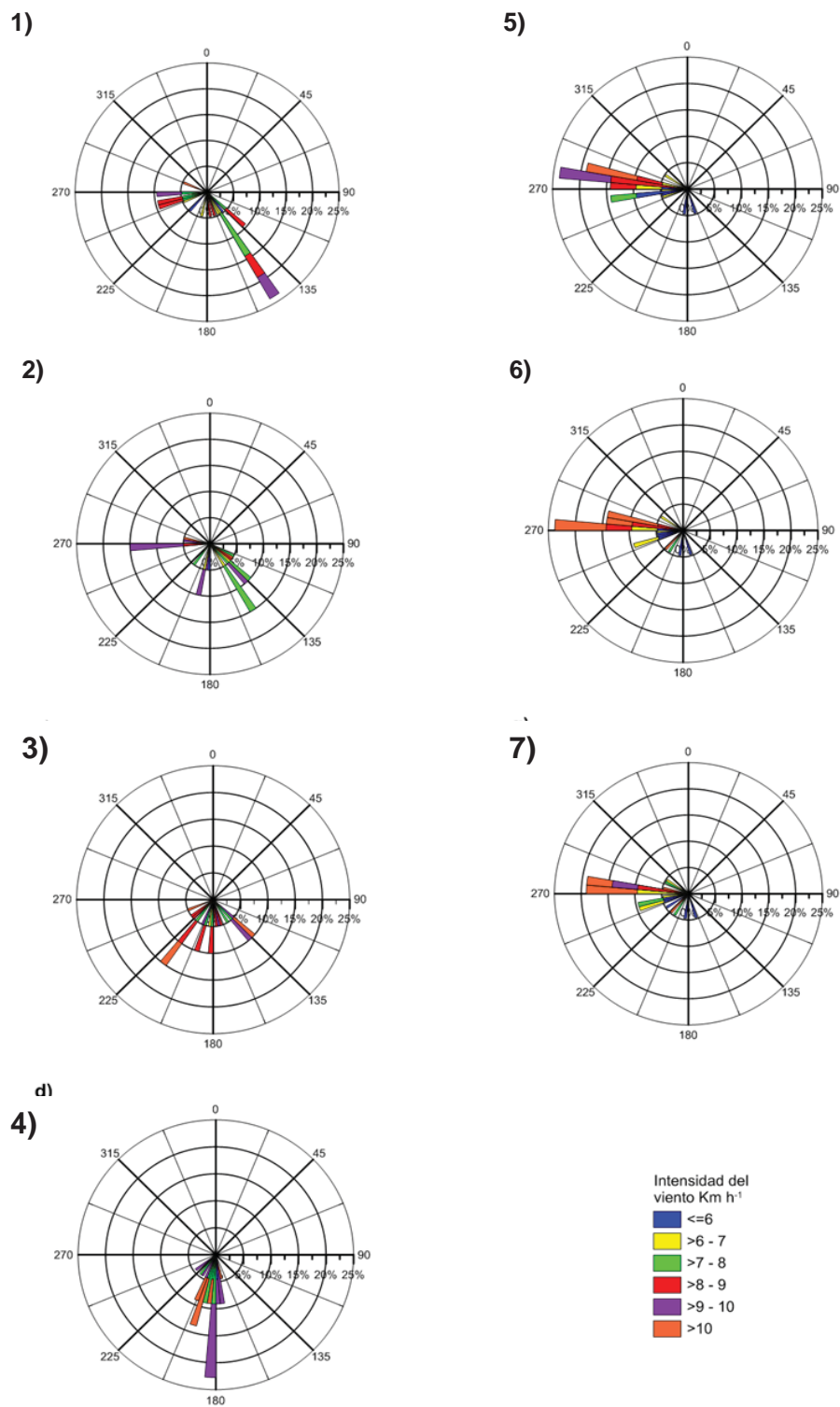


a Semana Santa (3 y 4) se observó la mayor precipitación ~ 80 mm; previo a los muestreos de invierno la precipitación fue insignificante (< 1 mm) (Fig. 9a, 10a).



**Figura 7.** Precipitación media durante la década 2004-2014 en la región de las playas Los Algodones, San Francisco y Miramar.

Los vientos predominantes antes de semana santa (1) fueron del SE con velocidades entre 8 y 9 km h<sup>-1</sup>. Durante semana santa (2) fueron vientos dominantes del SE con velocidades entre 9 y 10 km h<sup>-1</sup>. Después de semana santa (3,4), predominaron vientos del SW y S con velocidades superiores a los 10 km h<sup>-1</sup>. En invierno (5, 6 y 7), los vientos predominantes fueron del WNW con velocidades superiores a los 10 km h<sup>-1</sup> (Fig. 8).



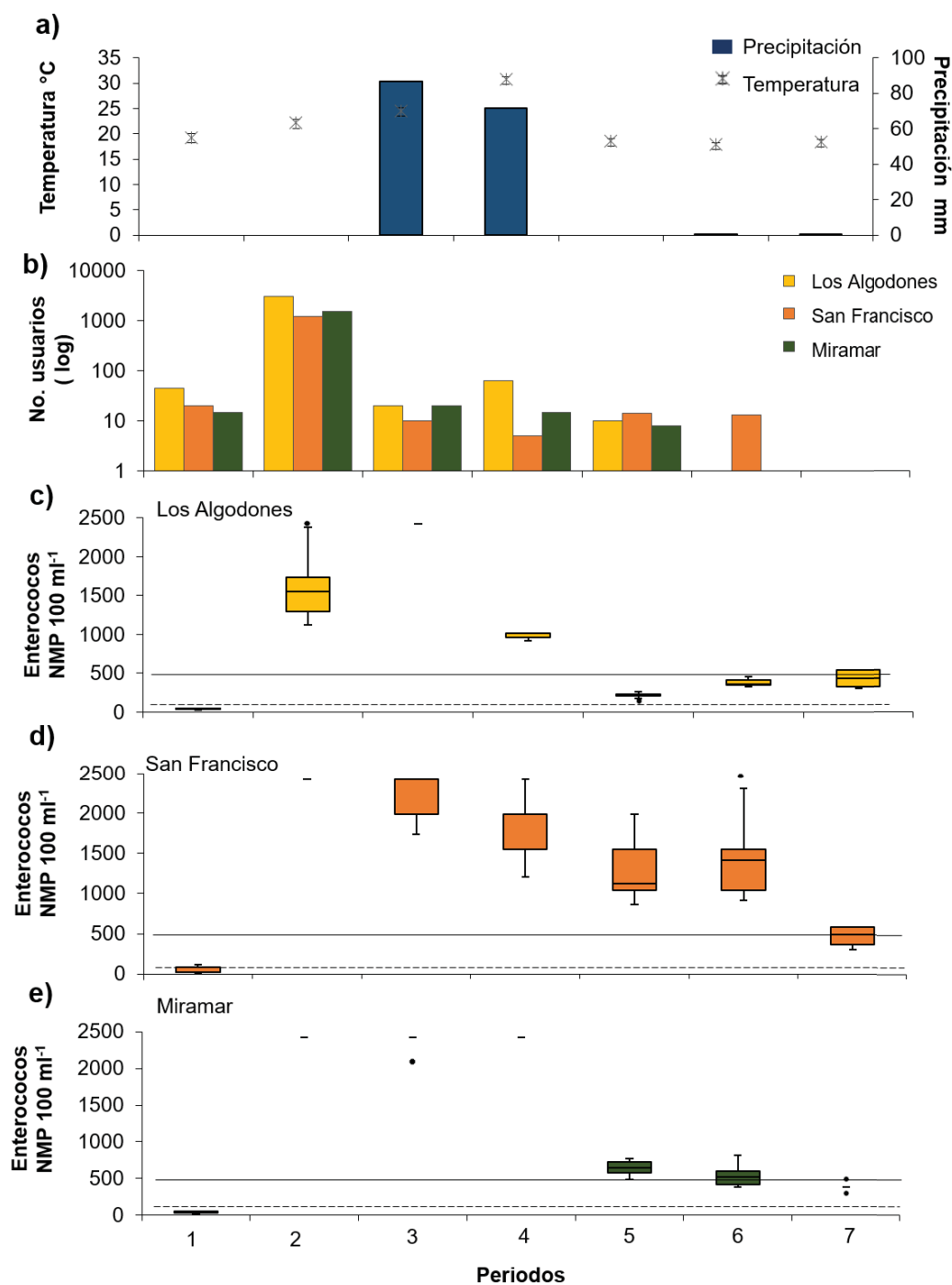
**Figura 8.** Dirección e intensidad de viento en un periodo de 20 días antes a los días de muestreo: 1) 16 marzo - 6 abril, 2) 1 - 21 abril, 3) 26 abril - 17 mayo, 4) 22 mayo - 14 junio, 5) 9 - 30 enero, 6) 15 enero - 5 febrero, 7) 22 enero - 12 febrero.

#### 7.1.4 Concentración de enterococos en agua

En la playa Los Algodones, las mayores concentraciones de enterococos se observaron durante y después de semana santa ( $> 1,000$  NMP) con diferencias significativas ( $p < 0.0001$ ) respecto a los otros periodos; la menor concentración se observó antes de semana santa ( $< 100$  NMP) y concentraciones entre 200 y 500 NMP predominaron durante invierno (Fig. 9c).

En la playa San Francisco, las mayores concentraciones de enterococos se observaron durante y después de semana santa ( $> 1,500$  NMP) con diferencias significativas ( $p < 0.0001$ ) respecto a los otros periodos; altas concentraciones ( $\sim 1,000 - 1,500$  NMP) se observaron la mayor parte de invierno; la menor concentración ( $< 100$  NMP) se observó antes de semana santa (Fig. 9d).

En la playa Miramar, las mayores concentraciones de enterococos se observaron durante y después de semana santa ( $> 2,000$  NMP) con diferencias significativas ( $p < 0.0001$ ) respecto a los otros periodos; altas concentraciones ( $\sim 400 - 700$  NMP) se observaron durante invierno; la menor concentración se observó antes de semana santa ( $< 100$  NMP) (Fig. 9e).



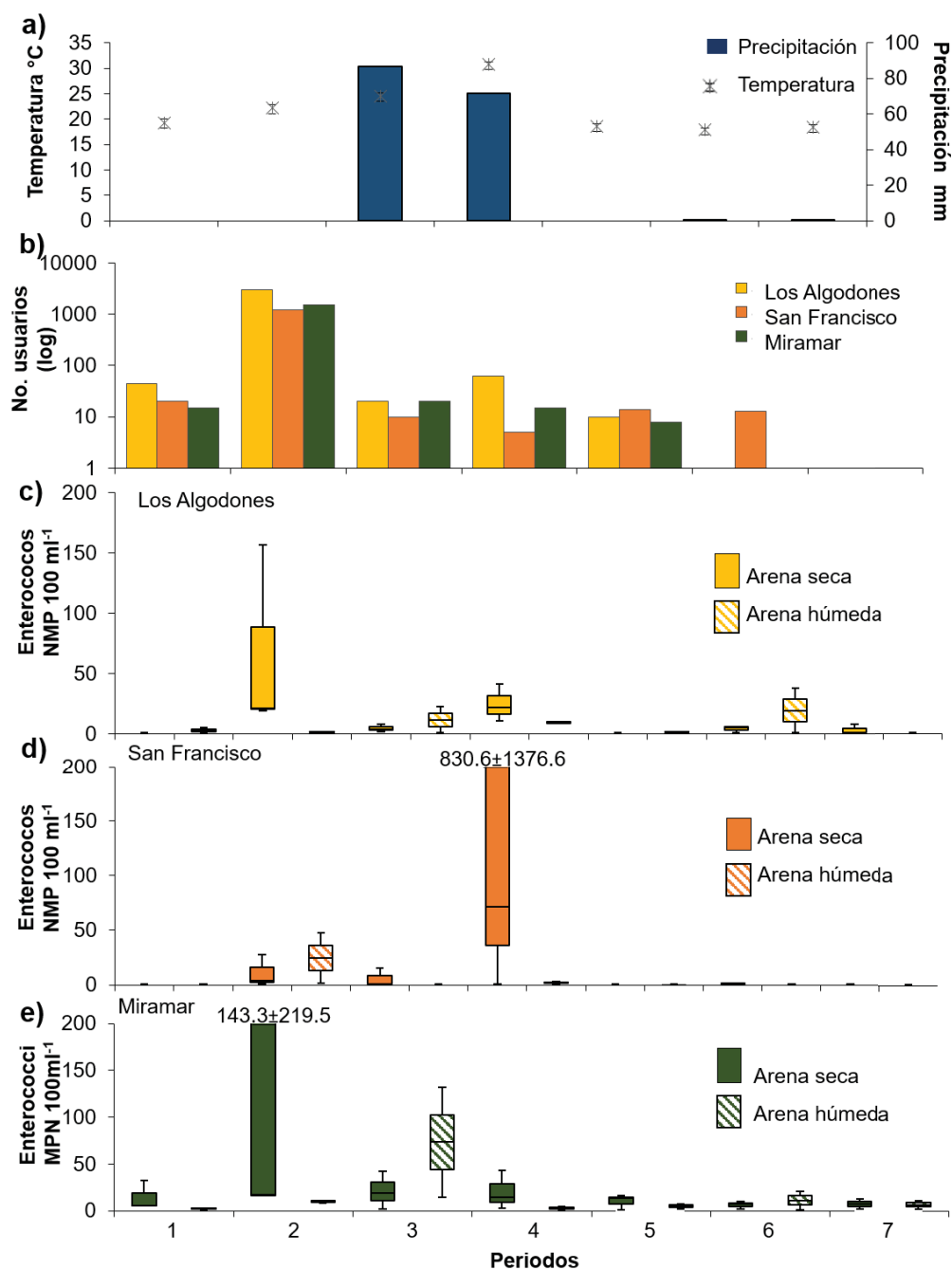
**Figura 9.** a) Precipitación acumulada tres semanas antes de cada muestreo y temperatura superficial del mar durante los muestreos, b) ocurrencia de usuarios durante el tiempo de muestreo, Concentración de enterococos en agua en las playas c) Los Algodones, d) San Francisco y e) Miramar: antes de semana santa (1) durante semana santa (2), después de semana santa (3 y 4) e invierno (5,6 y 7).

### 7.1.5 Concentración de enterococos en arena

En la playa Los Algodones, la arena húmeda tuvo mayor concentración de enterococos después de semana santa (promedio 13 NMP) y menor en invierno ( $< 5$  NMP), en los otros periodos se observaron concentraciones  $< 20$  NMP, no hubo diferencias significativas de las concentraciones entre los periodos de estudio ( $p = 0.6330$ ). En la arena seca la mayor concentración de enterococos ( $> 100$  NMP) se observó durante semana santa y la menor concentración se observó antes de semana santa y al inicio de invierno, en los demás periodos las concentraciones fueron  $< 60$  NMP, no hubo diferencias significativas de las concentraciones entre los periodos de estudio ( $p = 0.1556$ ) (Fig. 10c).

En la playa San Francisco, la arena húmeda tuvo mayor concentración de enterococos durante semana santa (28 NMP), en el resto de los muestreos se observaron concentraciones  $< 7$  NMP, no se observaron diferencias significativas durante los periodos de estudio ( $p = 0.4567$ ). En la arena seca, la mayor concentración de enterococos se observó dos meses después de semana santa (promedio 830 NMP), durante semana santa se observaron concentraciones  $> 20$  NMP, durante el resto de los muestreos se observaron concentraciones  $> 10$  NMP, no se observaron diferencias significativas entre los periodos de estudio ( $p = 0.4183$ ) (Fig. 10d).

En la playa Miramar, la arena húmeda tuvo la mayor concentración de enterococos en ( $> 70$  NMP) después de semana santa y la menor concentración ( $< 7$  NMP) antes de ésta, en el resto de los muestreos se observaron concentraciones  $< 10$  NMP, no hubo diferencias significativas entre los periodos de estudio ( $p = 0.3678$ ). En la arena seca, la mayor concentración de enterococos se observó durante semana santa (promedio 143 NMP), en los demás periodos de estudio se observaron concentraciones  $< 60$  NMP; no hubo diferencias significativas entre los periodos de estudio ( $p = 0.4392$ ) (Fig. 10e).



**Figura 10.** a) Precipitación acumulada tres semanas antes de cada muestreo y temperatura superficial del mar durante los muestreos, b) ocurrencia de usuarios durante el tiempo de muestreo, Concentración de enterococos en arena en las playas c) Los Algodones, d) San Francisco y e) Miramar: antes de semana santa (1) durante semana santa (2), después de semana santa (3 y 4) e invierno (5,6 y 7).

## 7.2 Capacidad de carga de la playa recreativa rural El Cochórit

### 7.2.1 Capacidad de carga

La superficie total (SUTP total) susceptible de uso turístico público inmediato de sol y mar, fue de  $26,306m^2$ , de los cuales  $22,409m^2$  es zona de arena y  $3,897m^2$  es área construida (locales o edificaciones, así como andadores y accesos).

La superficie de uso turístico público real (SUTP real) para actividades recreativas de playa, resultado de la suma de las superficies de zona de arena ( $22,409m^2$ ) y andadores y accesos ( $1,619m^2$ ) fue de  $24,208m^2$ .

La capacidad de manejo para esta playa está indicada en la Tabla XI (recordando que los números representan: 1= ausente, 2= escaso y 3= adecuado) la cual indica que la playa tiene el 60 % de las condiciones necesarias para las actividades de esta playa.

**Tabla XI.** Capacidad de manejo de la playa El Cochórit.

Indicadores	Clasificación
Baños públicos	1
Teléfonos públicos	1
Cestos de basura	2
Alumbrado publico	2
Estacionamiento	3
Seguridad	1
Alojamiento	2
Bares y restaurantes	2
Accesibilidad	2
Presencia de animales domésticos	1
$\Sigma$	17
Capacidad de manejo	60 %

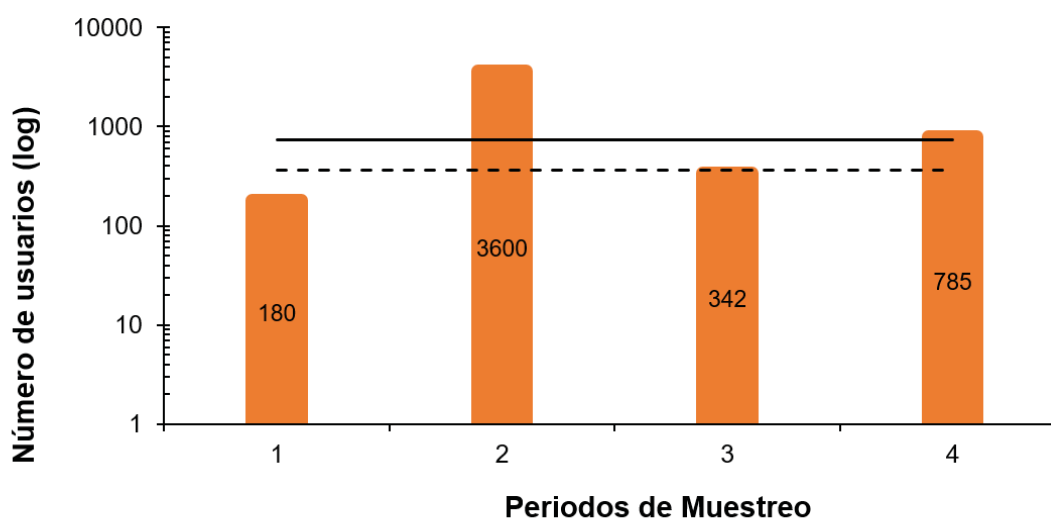
La estimación de la capacidad física, actual y efectiva está mostrada en la Tabla XII considerando las condiciones aceptables y confortables para la estancia del usuario.

**Tabla XII.** Resumen de la capacidad de carga para la playa El Cochórit.

Capacidad de carga	Playa El Cochórit	
	Aceptable (5 m <sup>2</sup> persona <sup>-1</sup> )	Confortable (10 m <sup>2</sup> persona <sup>-1</sup> )
Física (CCF)	8,650 visitantes por día	4,325 visitantes por día
<u>Factor de corrección</u>		
FC físico	0.86	0.86
FC ambiental	0.43	0.43
FC ecológico	0.96	0.96
FC social	0.50	0.50
FC viento	0.80	0.80
Promedio	0.142	0.142
Actual (CCA)	1228 visitantes por día	614 visitantes por día
Capacidad de manejo (CM)	60 %	60 %
Efectiva (CCE)	736 visitantes por día	368 visitantes por día

### 7.2.2 Afluencia de usuarios

La mayor afluencia de usuarios ocurrió durante semana santa con 3,600 personas durante el día de muestreo (Fig. 11).



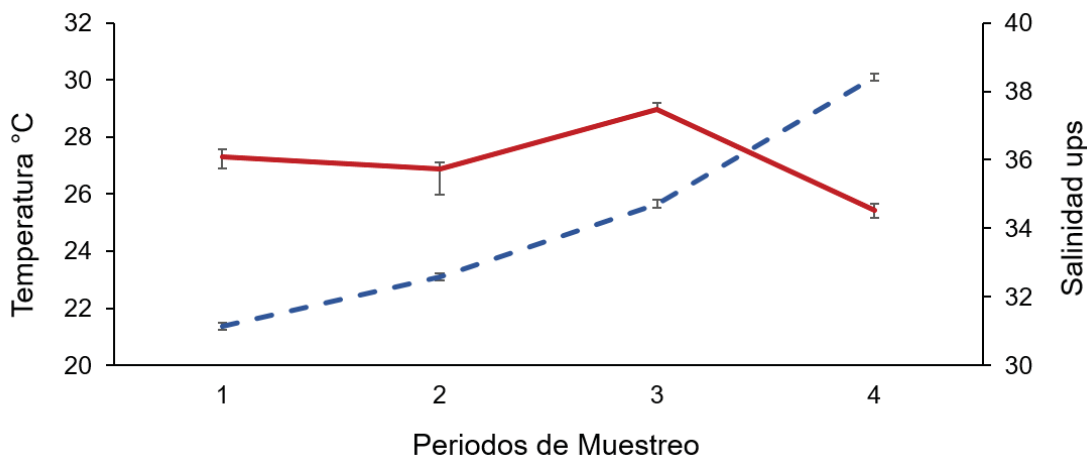
**Figura 11.** Afluencia de usuarios durante los cuatro periodos de muestreo (1) antes de semana santa, (2) durante semana santa, (3 y 4) posterior a semana



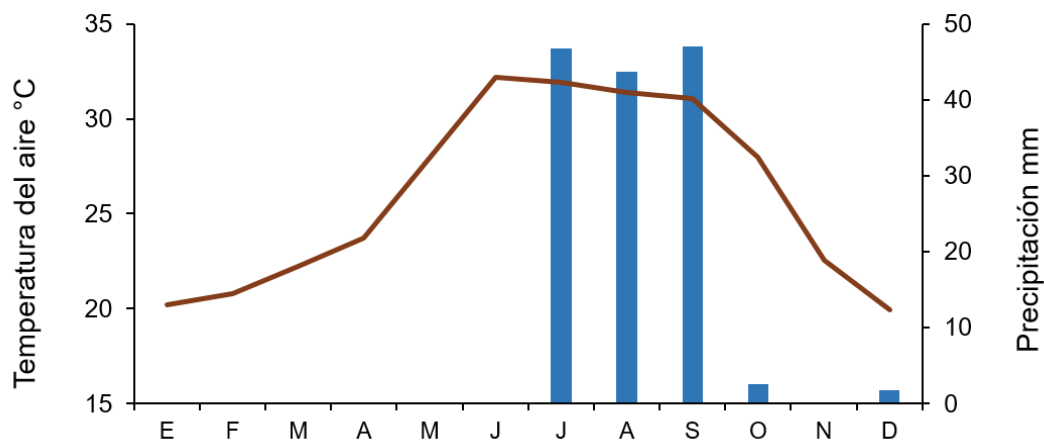
santa en la playa El Cochórit, Sonora. Las líneas representan la capacidad de carga de la playa con dos niveles de confort (continua 5 m<sup>2</sup> por persona y punteada 10 m<sup>2</sup> por persona).

### 7.2.3 Variables ambientales

La Figura 12 muestra el comportamiento de las variables ambientales del agua (temperatura y salinidad) que se observaron durante el periodo de estudio. La temperatura del agua mostró un incremento progresivamente desde 21 hasta 30 °C, la salinidad tuvo un rango de 34 - 37. La temperatura ambiental tuvo un rango anual de 20 - 34 °C y la mayor precipitación ocurrió en julio, agosto y septiembre con un acumulado mensual de ~ 40 - 50 mm (Fig. 13).



**Figura 12.** Valores de temperatura (línea azul) y salinidad (línea roja) del agua en la playa El Cochórit durante los cuatro periodos de muestreo (1) antes de semana santa, (2) durante semana santa, (3 y 4) después de semana santa.



**Figura 13.** Temperatura ambiental promedio (línea continua) y el acumulado de precipitación mensual (barras) durante el periodo enero-diciembre 2014 en Empalme Sonora.

#### 7.2.4 Indicadores de contaminación fecal

##### *Coliformes totales*

La concentración de coliformes totales durante semana santa fue  $> 200$  NMP en promedio; la menor concentración ( $< 150$  NMP) se presentó antes y posterior (2 meses) a semana santa; se observaron diferencias significativas entre los periodos de muestreo ( $p = 0.0003$ ) (Fig. 14a).

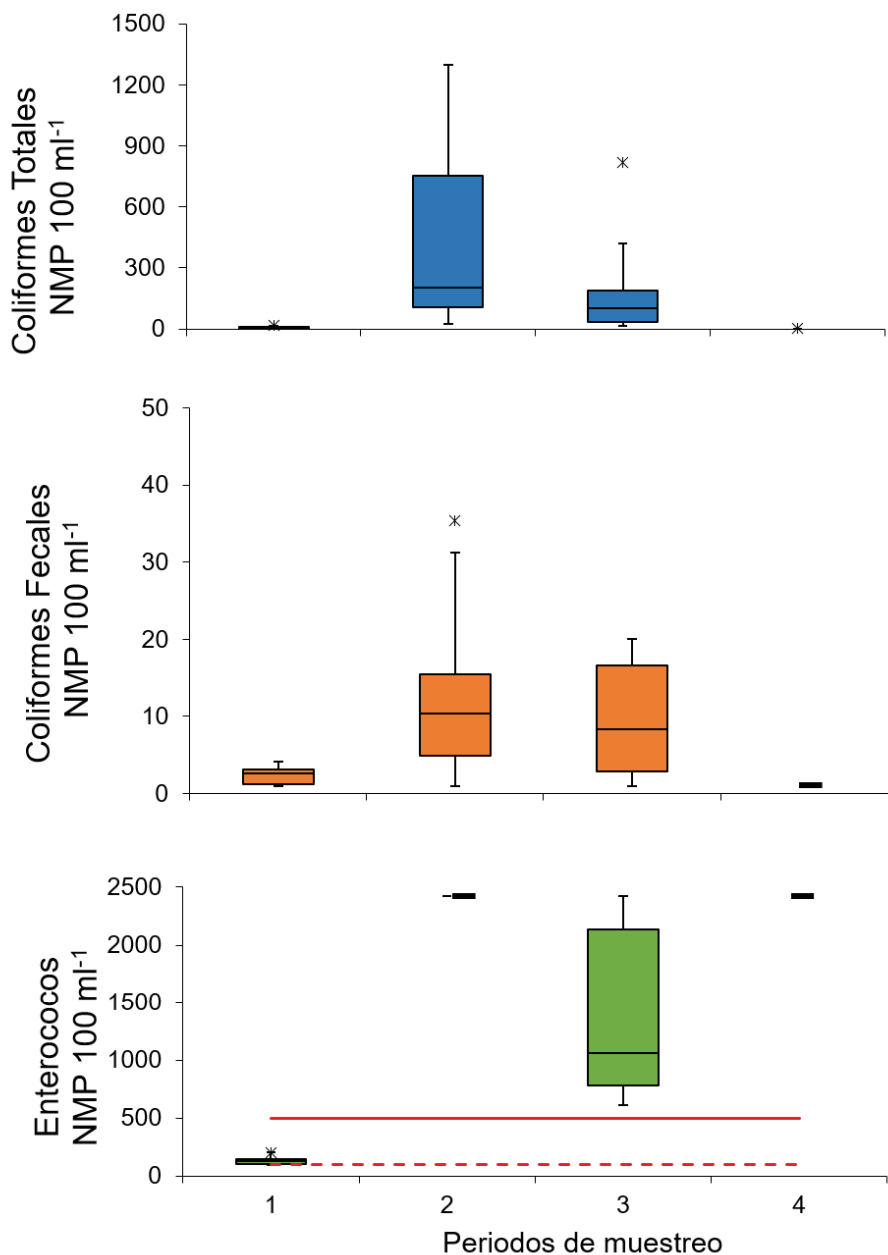
##### *Coliformes fecales*

La mayor concentración coliformes fecales ( $< 10$  NMP) se presentó durante y después (1 mes) de semana santa y la concentración menor  $< 3$  NMP se observó después (2 meses) de semana santa; entre los muestreos durante y después (2 meses) de semana santa hubo diferencias significativas ( $p = 0.0006$ ) (Fig. 14b).

##### *Enterococos*

Las mayores concentraciones de enterococos (2400 NMP) se observaron durante y posterior (2 meses) a semana santa y la menor concentración ( $< 200$  NMP) fue observada antes de semana santa; se observaron diferencias

significativas ( $p = 0.0002$ ) entre el muestreo realizado antes de semana santa con respecto a los demás muestreos (Fig. 14c).



**Figura 14.** Indicadores de contaminación ambiental a) coliformes totales b) coliformes fecales y c) enterococos en la playa El Cochórit durante los 4 periodos de muestreo (1) antes, (2) durante y (3 y 4) después de semana santa. La línea roja continua representa el límite de la WHO (2003) para la concentración de enterococos y la línea punteada representa el límite establecido por la normatividad mexicana (SE, 2016).

### **7.3 Condición sanitaria de una playa recreativa urbana Miramar**

#### 7.3.1 Inspección sanitaria

En Miramar, el flujo de marea es bajo debido a que la amplitud de marea es  $< 1$  m (Filloux, 1973). Durante los periodos vacacionales los bañistas ocurren con densidades mayores a la capacidad de carga de la playa de 423 personas por día (García-Morales *et al.*, 2018a) clasificándose como moderado. La playa cuenta con sanitarios y en periodos vacacionales se incrementa el uso y esto calificó como bajo. Con base en el número de embarcaciones (20 - 50) y el manejo pobre de desechos, se calificó como moderado. Los animales corresponden a perros y en el 56 % de los muestreos se registraron entre 1 y 10 perros por lo que esta variable calificó como muy alta (Tabla XIII).

El estero Bacochibampo recibe de forma permanente aportes de aguas residuales urbanas sin tratamiento en dos sitios (Fig. 5), y esto implícitamente también corresponde a derrame de drenaje urbano. Debido al intercambio de agua entre el estero y la bahía que ocurre diariamente por el flujo y reflujo de marea, estas variables calificaron como muy alto y alto, respectivamente. El área donde está la playa esta densamente poblada y las escorrentías de lluvias tienen como destino el estero y por ello la influencia de la precipitación fue calificada como moderado (Tabla XIV).

Los resultados de la inspección sanitaria en los periodos vacacional y no vacacional mostraron que la variable con mayor efecto sanitario adverso fue el aporte de aguas residuales urbanas sin tratamiento. Esto implicó que en la calificación de la inspección sanitaria de la playa para el periodo vacacional tuvo un valor de 19.2 y para el periodo no vacacional tuvo un valor de 17.5 y estos resultados  $\geq 12$  en ambos periodos califican a la playa con riesgo sanitario muy Alto (Tabla XV).

**Tabla XIII.** Inspección sanitaria: bañistas, infraestructura sanitaria, embarcaciones y animales.

<b>1. Bañistas</b>				
<b>Flujo de marea</b>	<b>Sanitarios = Sí</b>		<b>Sanitarios = No</b>	
	Baja densidad de usuarios	Alta densidad de usuarios	Baja densidad de usuarios	Alta densidad de usuarios
Bajo	<b>*Bajo</b>	<b>**Moderado</b>	Bajo	Moderado
Medio	Muy Bajo	Bajo	Bajo	Moderado
Alto	Muy Bajo	Bajo	Bajo	Moderado

*\*Periodo no vacacional \*\*Periodo vacacional.*

<b>2. Infraestructura Sanitaria</b>				
<b>Estado de las instalaciones</b>	<b>Cerca</b>		<b>Lejos</b>	
	Bajo uso	Alto uso	Bajo uso	Alto uso
Pobre	Bajo	Moderado	Moderado	Alto
Buena	<b>*Muy bajo</b>	<b>**Bajo</b>	Bajo	Moderado

*\*Periodo no vacacional \*\*Periodo vacacional.*

<b>3. Embarcaciones</b>			
<b>Manejo de desechos</b>	<b>&lt; 20 embarcaciones</b>	<b>20 - 50 embarcaciones</b>	<b>50 - 100 embarcaciones</b>
Bueno	Muy bajo	Muy bajo	Bajo
Pobre	<b>*Bajo</b>	<b>**Moderado</b>	Moderado

*\*Periodo no vacacional \*\*Periodo vacacional.*

<b>4. Animales</b>				
<b>Muy bajo</b>	<b>Bajo</b>	<b>Moderado</b>	<b>Alto</b>	<b>***Muy alto</b>
Ocurre solo en circunstancias excepcionales (1 en 10 años)	Es improbable su ocurrencia pero puede darse una vez cada 5 años.	Puede ocurrir 1 o 2 veces por temporada de baño.	Puede ocurrir de 3 a 4 veces por temporada de baño.	<b><u>Regularmente ocurre (1 cada semana).</u></b>

*\*\*\*Ambos periodos, no vacacional y vacacional.*

**Tabla XIV.** Inspección sanitaria: aportes de aguas residuales, fugas en el sistema de drenaje y precipitación.

<b>1. Aportes de aguas residuales</b>						
Muy bajo	Bajo	Moderado	Alto	<b>***Muy alto</b>		
Ocurre solo en circunstancias excepcionales (1 en 10 años).	Es improbable su ocurrencia pero puede darse una vez cada 5 años.	Puede ocurrir 1 o 2 veces por temporada de baño.	Puede ocurrir de 3 a 4 veces por temporada de baño.	<b>Regularmente ocurre (1 cada semana).</b>		
<i>***Ambos periodos, no vacacional y vacacional.</i>						
<b>2. Fugas en el sistema de drenaje</b>						
<b>Frecuencia</b>						
<b>Dilución</b>	Ocurre solo en circunstancias excepcionales (1 en 10 años).	Es improbable su ocurrencia pero puede darse una vez cada 5 años.	Puede ocurrir 1 o 2 veces por temporada de baño.	Puede ocurrir de 3 a 4 veces por temporada de baño.	Regularmente ocurre (1 cada semana).	
Alta	Muy bajo	Muy bajo	Bajo	Moderado	<b>***Alto</b>	
Baja	Muy bajo	Bajo	Moderado	Alto	Muy alto	
<i>***Ambos periodos, no vacacional y vacacional.</i>						
<b>3. Precipitación</b>						
<b>Uso primario de la tierra</b>	<b>Área de descarga</b>					
	<b>Duna</b>	<b>Playa, línea de costa</b>				
		<b>&gt; 50m</b>	<b>&lt; 50 m</b>			
Alta densidad urbana	Bajo	<b>***Moderado</b>		Alto		
Baja densidad urbana	Muy bajo	Bajo		Moderado		
Rural / pastoreo	Muy bajo	Bajo		Moderado		
Rural / cultivo	Muy bajo	Bajo		Bajo		
Matorrales / reserva	Muy bajo	Bajo		Bajo		
<i>***Ambos periodos, no vacacional y vacacional.</i>						

**Tabla XV.** Resultados de inspección sanitaria.

Parámetro	Periodos vacacionales		Periodos no vacacionales	
	Clasificación	Ponderación	Clasificación	Ponderación
1. Bañistas	Moderado	1	Bajo	0.2
2. Infraestructura sanitaria	Bajo	0.2	Muy bajo	0.1
3. Embarcaciones	Moderado	1	Bajo	0.2
4. Animales	Muy alto	1	Muy alto	1
5. Aportes de aguas residuales	Muy alto	12	Muy alto	12
6. Fugas de drenaje	Alto	3	Alto	3
7. Precipitación	Moderado	1	Moderado	1
	<b>Suma</b>	<b>19.2</b>		<b>17.5</b>

### 7.3.2 Calidad sanitaria del agua

La concentración de enterococos en la playa Miramar fue > 100 NMP a través del año que es el límite establecido por la normatividad mexicana (SE, 2016) y también, excepto en enero, el promedio mensual a través del año fue > 500 NMP (Fig. 15) y por esta calidad sanitaria del agua, la playa se incluye en la categoría “D” (Tabla IX).

### 7.3.3 Evaluación de la condición sanitaria de la playa

La inspección sanitaria arrojó como resultado un riesgo muy alto y la calidad sanitaria del agua por concentración de enterococos en agua fue calificada como “D” (> 500 NMP). Con base en lo anterior, el resultado de la evaluación de la condición sanitaria de la playa Miramar fue muy pobre (Tabla IX).

**Tabla XVI.** Evaluación de la condición sanitaria con base en los resultados de la inspección sanitaria y la concentración de enterococos en el agua (WHO, 2003).

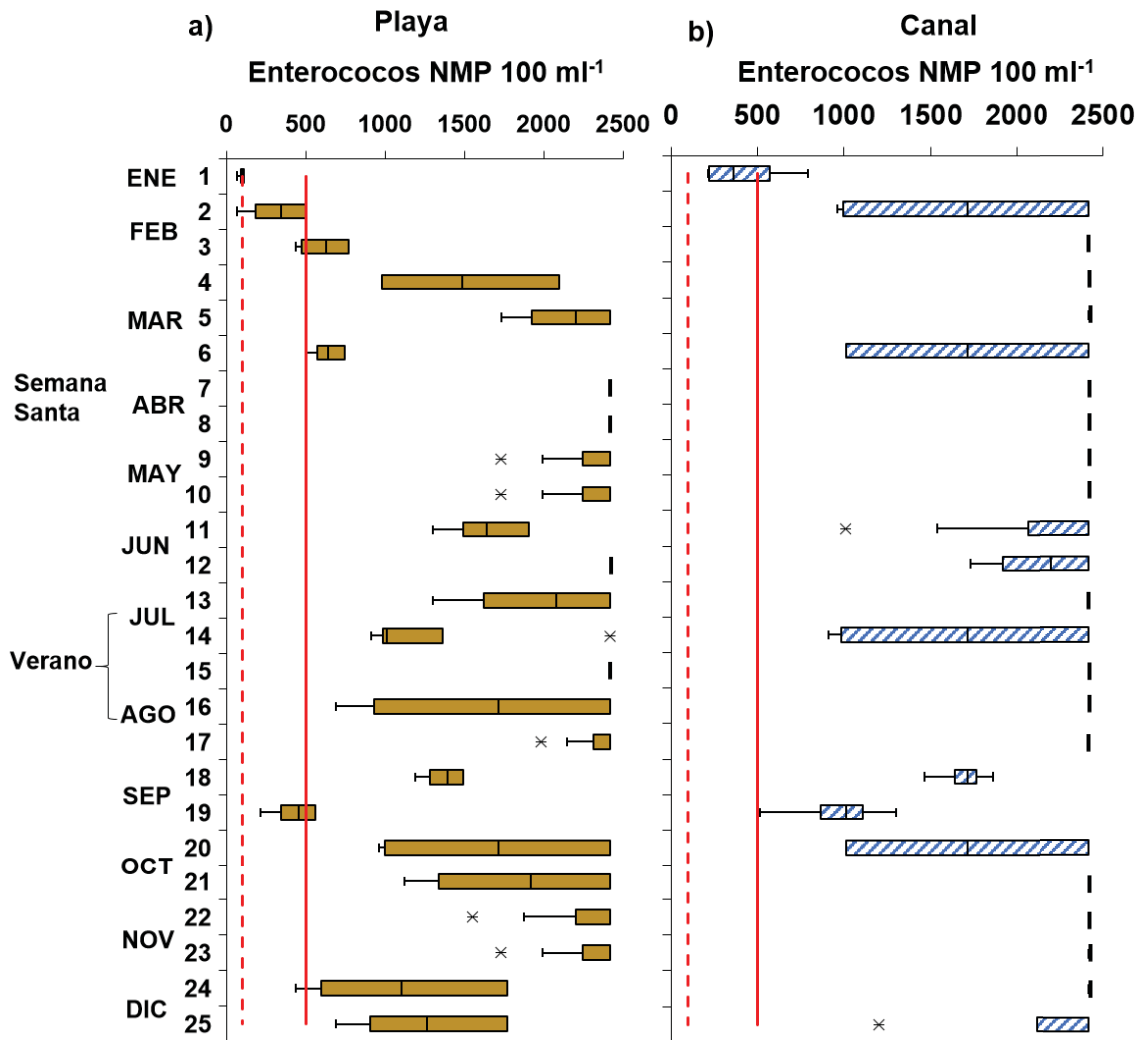
<b>Categoría de calidad sanitaria del agua (NMP)</b>				
<b>Categoría de inspección sanitaria</b>	<b>A ≤ 40</b>	<b>B 41 – 200</b>	<b>C 201 – 500</b>	<b>D &gt; 500</b>
Muy Bajo	Muy buena	Muy buena	Seguimiento <sup>1</sup>	Seguimiento <sup>1</sup>
Bajo	Muy buena	Buena	Justo	Seguimiento <sup>1</sup>
Moderado	Buena <sup>2</sup>	Buena	Justo	Pobre
Alto	Buena <sup>2</sup>	Justo <sup>2</sup>	Pobre	Muy Pobre
Muy Alto	Seguimiento <sup>2</sup>	Justo <sup>2</sup>	Pobre	<b>Muy Pobre</b>

Notas: <sup>1</sup> Implica fuentes no puntuales de aguas residuales de indicadores fecales, <sup>2</sup> Indica contaminación esporádica. Estos resultados deben ser investigados.

#### 7.3.4 Detección de riesgo a la salud de los bañistas

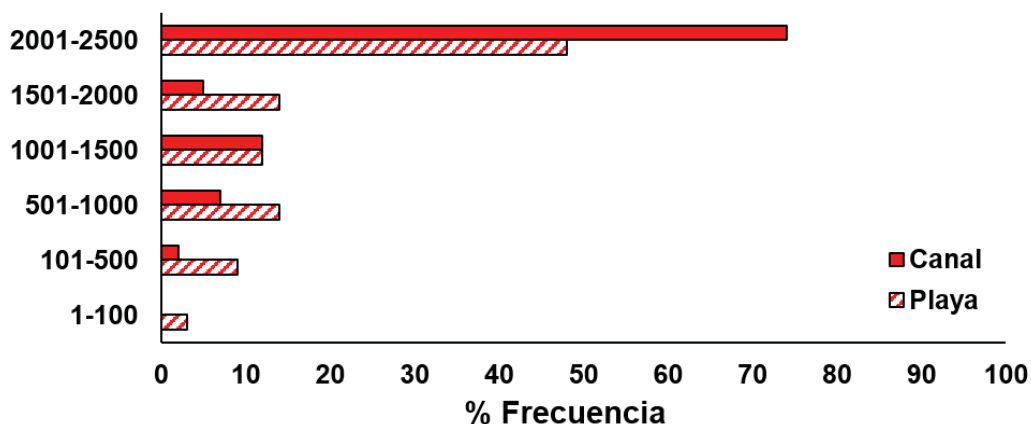
Las concentraciones de enterococos en el agua tuvieron un promedio anual de 1,600 NMP en la zona de playa y de 2,000 NMP en la zona de canal con mayor variabilidad en la zona de playa. Los valores más bajos fueron observados en enero y finales de septiembre. Los valores más altos se observaron en los periodos vacacionales de semana santa y verano (Fig. 15).





**Figura 15.** Concentración de enterococos en las zonas de playa y canal durante 2017. La línea punteada indica el límite de concentración de enterococos (100 NMP) establecido por la normatividad mexicana (SE, 2016) y la línea continua indica el límite (500 NMP) establecido por la WHO (2003).

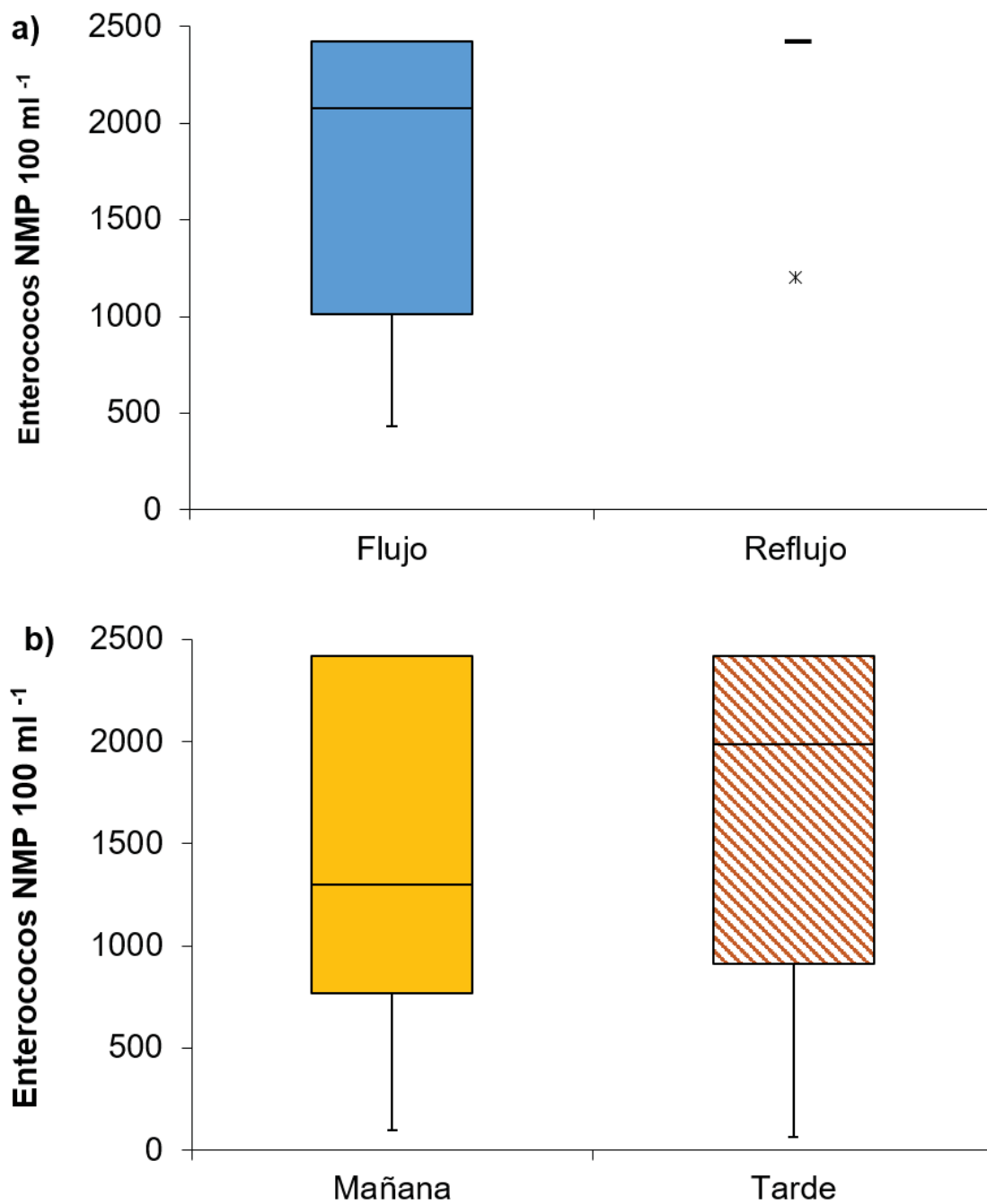
La distribución de frecuencias de las concentraciones de enterococos en el agua, mostró que el 50% de los valores en la zona de playa y el 80% de los valores en la zona del canal, se observaron en un rango de 2001 - 2500 NMP (Fig. 16).



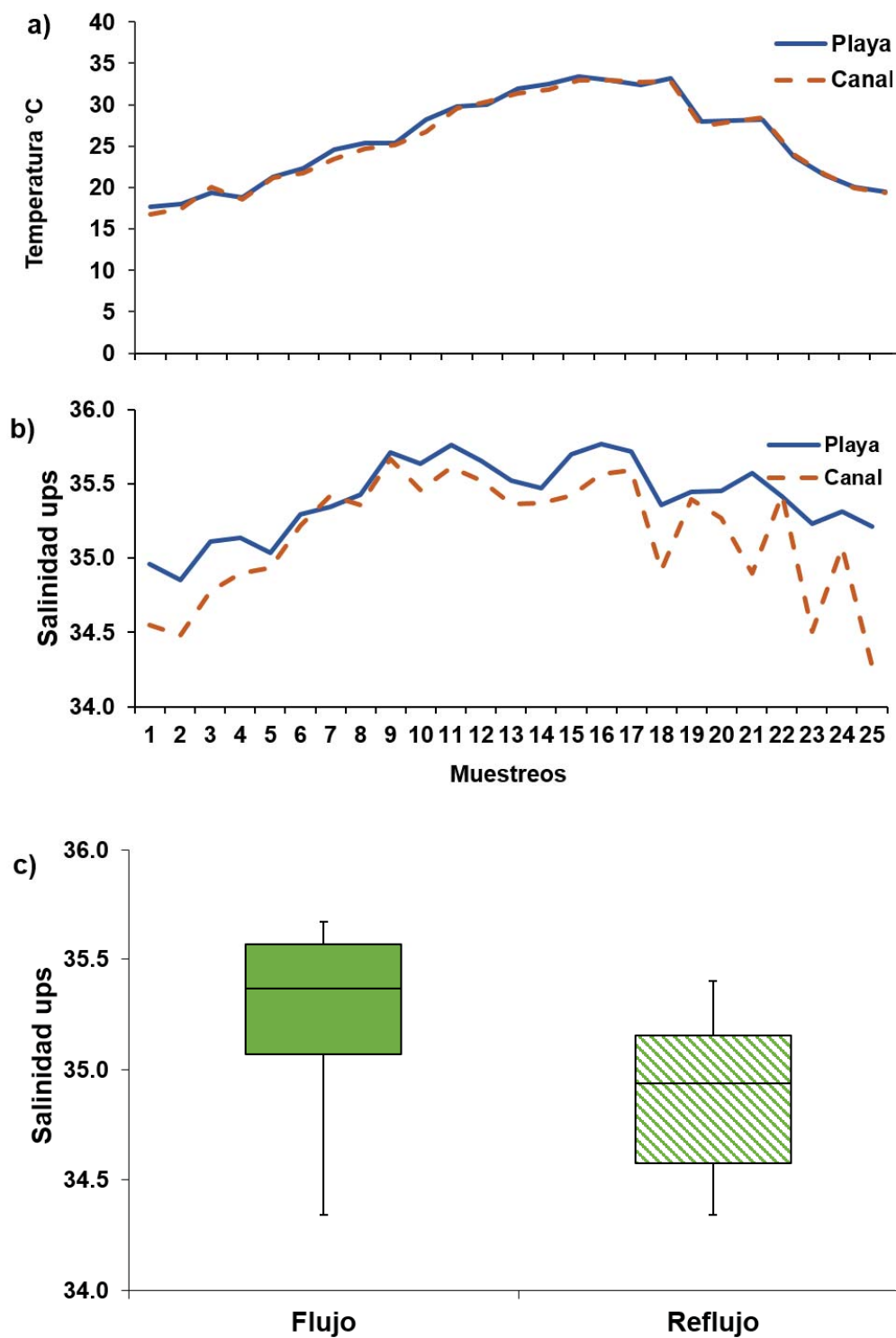
**Figura 16.** Distribución de frecuencias de las concentraciones de enterococos en agua en las zonas de playa (barra con diagonales) y canal (barra solida) en la playa Miramar.

Durante el periodo de octubre - diciembre, los muestreos realizados en la mañana y en la tarde coincidieron con los periodos de flujo y reflujo de marea, respectivamente (Fig. 6). Se observó que en la zona del canal las concentraciones de enterococos fueron mayores durante el reflujo (promedio 2,364 NMP) que durante el flujo (promedio 1,011 NMP) con diferencias estadísticamente significativas ( $p = 0.0001$ ) (Fig. 17a). A través del ciclo anual, en la zona de playa, las concentraciones de enterococos fueron más altas en la tarde (promedio 1,980 NMP) que en la mañana (promedio 1,773 NMP) sin diferencia estadísticamente significativa ( $p = 0.0713$ ) (Fig. 17b).

La temperatura del agua tuvo un intervalo anual de 15 - 33 °C con valores más altos > 30 °C en julio, agosto y septiembre y más bajos < 18 °C en enero y febrero con un comportamiento similar en las zonas de playa y canal a través del año (Fig. 18a). La salinidad tuvo un patrón similar de variación en las zonas de playa y canal, pero los valores fueron menores en el canal a través del año ~ 0.5 ups (Fig. 18b). Los valores de salinidad en el canal registrados a lo largo del ciclo anual tuvieron diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0.0001$ ) entre los periodos de flujo (promedio 35.33 ups) y reflujo (promedio 34.96 ups) de la marea (Fig. 18).

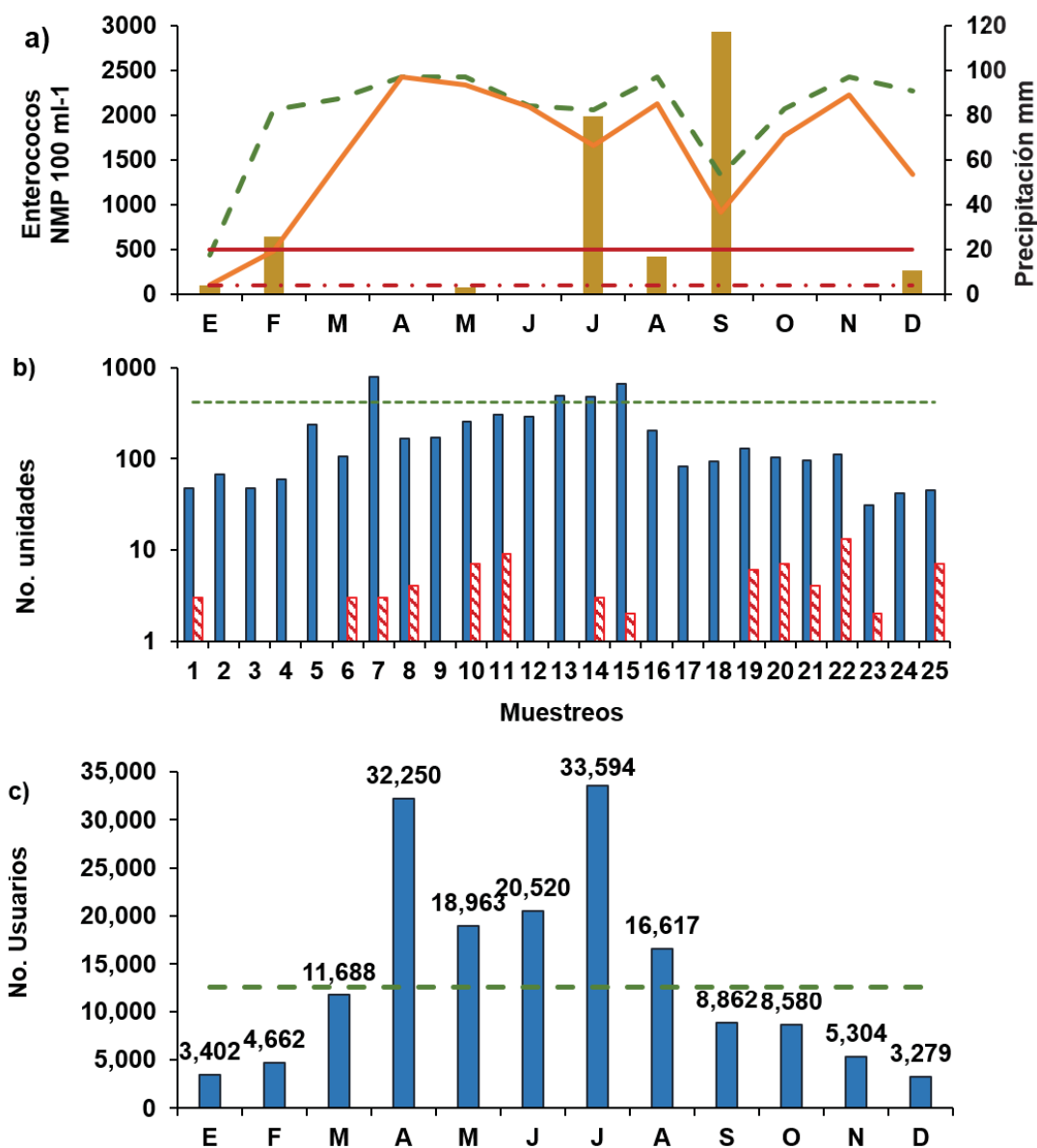


**Figura 17.** Concentraciones de enterococos en agua en la playa Miramar: a) zona de canal durante flujo y reflujo de marea en octubre - diciembre 2017 y b) zona de playa, durante mañana y tarde en el ciclo anual.



**Figura 18.** Comportamiento de (a) temperatura y (b) salinidad del agua en las zonas de playa y canal durante el estudio (25 muestreos catorcenales) y (c) comparación de los valores de salinidad del agua durante flujó y reflujó de marea en la zona del canal en el ciclo anual.

Considerando un ciclo anual (25 muestreos catorcenales) las concentraciones de enterococos en el agua tuvieron un patrón de variación similar entre las zonas de playa y canal, pero con mayor abundancia en la zona del canal (Fig. 19a). Las lluvias ocurrieron en enero (4 mm), febrero (25 mm), mayo (3 mm), julio (80 mm), agosto (17 mm), septiembre (117 mm) diciembre (10 mm) (Fig. 19a). La afluencia de usuarios a la playa fue mayor en los periodos vacacionales de semana santa (abril) y verano (julio) con más de 30,000 usuarios en cada uno de estos meses, pero la afluencia de usuarios ocurre todo el año (Fig. 19b). Este patrón de afluencia de usuarios fue consistente con lo observado durante los muestreos, por ejemplo, se hicieron registros de ~ 1000 personas en un muestreo de semana santa y en un muestreo de verano en julio; adicionalmente, en el 56 % de los muestreos se observaron entre 1 y 10 perros (Fig. 19c).



**Figura 19.** a) Concentraciones promedio por mes de enterococos en agua de la zona de playa (línea continua naranja) y zona de canal (línea punteada verde), así como el acumulado mensual de precipitación (barras amarillas) durante enero – diciembre 2017. La línea punteada roja representa el límite de concentración de enterococos establecido por la normatividad mexicana (SE, 2016) y la línea continua roja la categoría de máximo riesgo sanitaria WHO (2003). b) Afluencia de usuarios (barra solida) y perros (barra con diagonal) registrados durante los muestreos, c) Afluencia mensual de usuarios. La línea punteada verde representa la capacidad de carga.

## 8. DISCUSIÓN

### 8.1 Variabilidad de las concentraciones de enterococos en el agua y en la arena de tres playas de Guaymas

Las playas Los Algodones, San Francisco y Miramar tuvieron un patrón similar en la variabilidad de las concentraciones de enterococos en agua: antes de semana santa son más bajas (< 200 NMP), durante y después de ésta son más altas (> 1500 NMP) y durante invierno disminuyen, pero siempre son > 200 NMP. Con base en lo anterior, los riesgos a la salud para los usuarios de estas playas son más altos durante y después de semana santa.

Antes de semana santa la calidad sanitaria del agua en las tres playas es apta para uso recreativo de contacto primario, la presencia de usuarios es baja < 40 personas y no hay influencia de lluvias. En semana santa, ocurre la mayor afluencia de usuarios en las tres playas (~ 96 % de lo observado en todo el periodo de estudio) en un lapso de ~ 10 días y esto coincide con el periodo de mayor concentración de enterococos (> 1500 NMP). En estas playas, con ausencia o insuficiencia de servicios sanitarios (García-Morales *et al.*, 2017) y donde durante semana santa, la mayoría de la gente permanece acampando en las playas, sugiere que la afluencia excesiva de usuarios representa la principal fuente de contaminación fecal que alcanza niveles de riesgo a la salud pública. Esto también ha sido observado en otros estudios, donde la afluencia de usuarios ha sido reconocida como el principal factor causal de contaminación fecal en el agua de las playas (Fattal *et al.*, 1991; Fleisher *et al.*, 2010). Por ello es importante considerar la cuantificación de la magnitud y distribución de visitantes en las playas, cuyo análisis proporciona información útil para la gestión ambiental y de salud pública (Dwight *et al.*, 2007), por ejemplo, la inversión en crear infraestructura sanitaria suficiente.

Posterior a semana santa, la afluencia de usuarios disminuye significativamente, pero las concentraciones de enterococos en el agua permanecen altas, lo cual parece estar explicado por: (1) se mantienen poblaciones de enterococos incorporadas desde semana santa, (2) la influencia de las escorrentías de lluvias,

las cuales ocurrieron previo a los muestreos en este periodo y (3) el incremento de la temperatura del agua (26 - 29 °C). Los enterococos incorporados durante semana santa pueden permanecer debido a que en el agua de mar sus poblaciones pueden vivir adheridas al zooplancton (Signoretto *et al.*, 2004). Las escorrentías de lluvias son una de las fuentes importantes de enterococos porque transportan materiales desde tierra al mar (Tilburg *et al.*, 2015; Huang *et al.*, 2017). Esto es más acentuado en playas urbanas como fue observado en este estudio, donde la playa urbana (Miramar) tuvo mayor concentración que las otras dos playas con menor urbanización adyacente. Además, en las inmediaciones de Miramar ocurren vertimientos de aguas residuales urbanas sin tratamiento y esto magnifica el problema de contaminación fecal. Adicionalmente, la contaminación fecal del agua en las playas prevalece en este periodo del año porque las bacterias enterococos pueden desarrollarse entre 10 °C y 45 °C, pero se ven favorecidas en su desarrollo y permanencia con el incremento en la temperatura del agua (Byappanahalli *et al.*, 2012) que ocurre después de semana santa y que alcanza 25-30 °C. Debido a que durante julio, agosto y septiembre (verano), prevalecen las lluvias (Fig. 7), la temperatura del agua es ~ 29 °C (Mitchell *et al.*, 2002), y se mantiene la afluencia de usuarios en estas playas (García-Morales *et al.*, 2017); entonces se puede sugerir la hipótesis de que el riesgo a la salud pública permanece a lo largo del verano.

Durante invierno, la concentración de enterococos > 200 NMP en el agua de las playas indicó riesgos a la salud humana. Las bacterias enterococos se desarrollan mejor a temperaturas altas, pero estas bacterias pueden resistir condiciones adversas del ambiente marino y por ello son excelentes indicadores de contaminación fecal en las playas y esto explica su detección en invierno con temperatura del agua ~ 18 °C (Hanes y Fragala, 1967; Noble *et al.*, 2003; Byappanahalli *et al.*, 2012) En esta estación del año con escasa afluencia de bañistas, las fuentes de contaminación fecal se atribuyen a la acción de los vientos, avifauna acuática migratoria y animales domésticos. Los resultados del análisis de vientos mostraron que provienen en su mayoría del oeste-noroeste con velocidades entre los 18 - 22 km h<sup>-1</sup> y esto causa un transporte de polvo desde la tierra al mar. Cabe señalar que en esta zona costera semi-árida



subtropical la vegetación adyacente está compuesta por matorrales y arbustos por lo que hay un transporte efectivo de polvo desde tierra. Durante invierno, la ocurrencia de avifauna migratoria en estas playas o en sus inmediaciones (Anderson *et al.*, 1976), y la presencia de mascotas (García-Morales *et al.*, 2017), representan otras fuentes de contaminación fecal. El aporte de enterococos por aves marinas es más importante en Miramar y en San Francisco debido a la cercanía a estuarios y manglares que son hábitat de aves. Sobre esto Byappanahalli *et al.*, (2015) demostraron mediante marcadores moleculares que la mayoría de la contaminación fecal en una playa de Chicago proviene de aves playeras (gansos y gaviotas). En particular, la playa San Francisco es muy utilizada por los usuarios para caminar en compañía de perros (García-Morales *et al.*, 2017), y hay evidencia de que los perros representan la fuente más importante de aportes de enterococos a las playas. Una comparación de aportes de enterococos mostró que un evento fecal de perro equivale a 6,940 eventos fecales de aves, mientras que un adulto humano contribuye aproximadamente con el mismo aporte que un evento fecal de ave (Wright *et al.*, 2009).

Por otra parte, la concentración de enterococos en la arena fue menor que en el agua de las playas. Esto puede ser atribuido al transporte por medio del cuerpo de los bañistas al tener contacto con el agua. Esto es el fundamento de las normas higiénicas en el uso de albercas, ya que se considera que con una ducha antes de entrar a la alberca se eliminan gérmenes y sustancias que pueda transportar el cuerpo, actividad que no realizan los usuarios de las playas estudiadas, debido a que ninguna de las tres playas cuenta con regaderas (duchas).

En las tres playas, la cantidad de enterococos fue mayor en la arena seca que en la arena húmeda, coincidiendo con lo observado en otras playas por González y Emiliani (2005), Bonilla *et al.* (2007) y Pinto *et al.* (2012). En los periodos durante y después de semana santa se observaron las mayores concentraciones de enterococos, asociadas a las mismas fuentes explicadas para el agua en este periodo (afluencia de usuarios, lluvias y temperatura del agua). Aunque las concentraciones en la arena, fueron en general < 200 NMP, excepto, en un

muestreo en la playa San Francisco donde las concentraciones fueron  $> 500$  NMP atribuidas a escorrentía de lluvias. En invierno, las concentraciones de enterococos en arena fueron  $< 25$  NMP y las más altas se observaron en Miramar, la playa urbana con influencia de aguas residuales sin tratamiento. Estas bajas concentraciones en la arena seca durante invierno pueden atribuirse, considerando la dirección y velocidades del viento observadas, a la acción eólica que transporta la arena superficial hacia el mar.

En la evaluación sanitaria de las playas, la normatividad mexicana contempla la determinación de concentración de enterococos exclusivamente en el agua. Sin embargo, la presencia de enterococos puede representar un riesgo para la salud pública, ya que es un área donde los usuarios de las playas pasan la mayor parte del tiempo.

Aunque las playas tuvieron el mismo patrón en la variabilidad de enterococos, la playa con mayores riesgos a la salud pública es Miramar porque además de la influencia de los usuarios, tiene influencia de aguas residuales sin tratamiento y un entorno urbano. La playa San Francisco carece de infraestructura sanitaria y esto incrementa el potencial de contaminación fecal por usuarios. Los Algodones, tiene hoteles y restaurantes en sus alrededores, pero carece de infraestructura sanitaria pública. En México se implementa el Programa Nacional de Playas Limpias desde 2003 y actualmente están incluidas 268 playas, de las cuales 38 tienen certificación por la normatividad mexicana y 33 tienen certificación internacional bandera azul. Las playas Los Algodones, San Francisco y Miramar están incluidas en este programa, pero carecen de certificación. (CONAGUA, 2017)

La evidencia aportada en este estudio acerca de los periodos, magnitud y variabilidad de enterococos en playas recreativas de región semi-árida subtropical aporta elementos para alertar y prevenir a la población de los periodos de mayor riesgo de contraer enfermedades. Sin embargo, de acuerdo con Byappanahalli *et al.* (2012), es necesario realizar estudios epidemiológicos que incluyan la identificación de las bacterias enterococos a nivel de especie y

la cuantificación de patógenos para entender mejor los riesgos a la salud pública asociados con concentraciones altas de enterococos.

## **8.2 Capacidad de carga de la playa recreativa rural El Cochórit**

La capacidad de carga de la playa El Cochórit estimada para condiciones consideradas aceptables fue de 736 personas día<sup>-1</sup> y para confortables fue de 368 personas día<sup>-1</sup>. Estas estimaciones son un referente para mostrar que antes del periodo vacacional de semana santa la afluencia de usuarios (178 personas día<sup>-1</sup>) se mantuvo dentro de las condiciones consideradas confortables, pero durante las dos semanas del periodo vacacional de semana santa hubo un flujo de ~ 3600 personas día<sup>-1</sup> y la capacidad de carga de la playa fue superada en cinco y diez veces para condiciones aceptables y confortables, respectivamente. Esto exhibe la importancia del uso recreativo de la playa, pero también expone efectos potenciales adversos a su calidad sanitaria.

La playa de El Cochórit tiene escasa infraestructura, equipamiento y servicios, y además carece de un programa de manejo de residuos sólidos, lo que limita su aptitud recreativa (García-Morales *et al.*, 2017), pero también son condiciones que incrementan los riesgos a la salud pública (Molina-López *et al.*, 2014). Kelly *et al.* (2018) mostraron que la disponibilidad de sanitarios y duchas, puestos de comida, manejo de residuos sólidos y tarifas para acceder a la playa tienen un efecto en las concentraciones de bacterias indicadoras de contaminación fecal en playas recreativas.

En esta playa, la fuente de contaminación fecal durante el periodo de estudio (marzo-junio), se atribuyó exclusivamente a bañistas y animales domésticos (perros) que ingresan sin control a esta playa, y existe evidencia de que en playas recreativas causan incrementos en bacterias indicadoras de contaminación fecal (Elmir *et al.*, 2009; Wright *et al.*, 2009). Esto considerando que esta playa carece de otras fuentes de contaminación fecal indicadas por WHO (2003), tales como descargas de aguas residuales, descargas de ríos o fosas sépticas en las cercanías de la playa. Además, durante el periodo de

estudio no hubo eventos de lluvias, cuyas escorrentías también son una fuente potencial de contaminación fecal (WHO, 2003; Tilburg *et al.*, 2015).

La afluencia de usuarios en semana santa representó > 80 % durante el periodo de estudio y la magnitud de este flujo masivo de personas, en esta playa con infraestructura sanitaria insuficiente se reflejó con efectos sanitarios adversos, indicados por las concentraciones de bacterias coliformes totales y fecales, y enterococos en el agua. Las concentraciones de estas bacterias indicadoras de contaminación fecal tuvieron el mismo patrón con valores más bajos antes de semana santa con un incremento significativo durante semana santa y prevaleciendo valores altos hasta dos meses después de semana santa.

Es importante considerar que *Escherichia coli* forma la mayor parte de la flora comensal aerobia y anaerobia facultativa del tubo digestivo de animales de sangre caliente, se elimina por las heces al exterior y en el agua de mar sobreviven < 1 día (Noble *et al.*, 2003), así que su detección en agua de mar es un indicador de contaminación fecal reciente. Sobre esto, estudios bacteriológicos en el agua de playas de Hong Kong realizados en los últimos 15 años, confirmaron que *E. coli* es más adecuada que los enterococos como bacteria indicadora fecal en el contexto local (Thoe *et al.*, 2018). Esto destaca la importancia de incluir el análisis de coliformes fecales en agua de playas recreativas.

En particular, se ha observado que la sobrevivencia de coliformes fecales es inversamente proporcional a la intensidad solar, así como a la temperatura y salinidad del agua (Solic y Krstulovic, 1992). En la playa El Cochórit, durante el periodo de estudio, la salinidad del agua tuvo valores de 34 - 37 ups y la temperatura del agua mostró un incremento progresivo desde 21 hasta 30 °C, además esta playa se ubica en una región con radiación solar > 6 kWh m<sup>-2</sup> día<sup>-1</sup> considerada de las más altas de México. Esto de acuerdo con el mapa del país generado a partir de datos de irradiación solar global horizontal para el periodo 1999-2018 (Solargis, s.f.). Esta información explica que las concentraciones de coliformes fecales observadas en la playa El Cochórit están limitadas por el

efecto conjunto de temperatura y salinidad del agua, así como la irradiación solar. No obstante, su detección indicó contaminación fecal reciente y esto ocurrió en los periodos de mayor afluencia de usuarios, durante y después de semana santa donde se observaron concentraciones promedio ~10 NMP. Thoe *et al.* (2018) para 37 playas de Hong Kong reportaron valores promedio de *E. coli* entre 2 y 37 CFU 100 ml<sup>-1</sup>.

El comportamiento de las concentraciones de enterococos durante el periodo de estudio se caracterizó por concentraciones de enterococos < 100 NMP antes de semana santa, un incremento significativo (> 2400 NMP) durante semana santa y con concentraciones >1500 NMP hasta dos meses después de semana santa, aunque la afluencia de usuarios disminuyó después de ésta. Este mismo patrón y niveles de concentración de enterococos fue observado en otras tres playas de esta región (León-López *et al.* 2018). Esto es explicado considerando que parte de las poblaciones de enterococos aportadas durante la semana santa aún permanecen en el medio favorecidas por el incremento de la temperatura del agua (Noble *et al.*, 2003) y porque continúan aportes por afluencia de bañistas y mascotas.

Lo expuesto implica que antes de semana santa no se presenta un problema de riesgo para la salud pública porque las concentraciones de enterococos son < 100 NMP que es el límite establecido por la norma mexicana (SE, 2016), pero durante semana santa y hasta dos meses después de ésta, las concentraciones de enterococos tuvieron niveles de riesgo a la salud de los bañistas considerando la guía de calidad de agua recreativa propuesta por la WHO (2003) la cual indica que las concentraciones de enterococos > 500 NMP representan 10% de riesgo de gastroenteritis y 3.9 % de enfermedades respiratorias febriles agudas por contacto con el agua. Aunque es importante realizar estudios para determinar la relación de densidades de enterococos, el uso de la playa por los bañistas y el registro de enfermedades gastrointestinales y respiratorias febriles agudas; como el estudio realizado por Turbow *et al.* (2007) para playas de California. Además, los criterios de riesgo establecidos por la WHO (2003) están basados en gran medida en los resultados del estudio epidemiológico realizado en las

playas del Reino Unido por Kay *et al.* (1994). No obstante, con Verhougstraete *et al.* (2020) sugieren un mayor esfuerzo en estudios epidemiológicos en las playas de regiones tropicales (y subtropicales) donde las condiciones sociales y ambientales son distintas y determinantes en la dinámica de los patógenos en el ambiente.

En este estudio, la detección de bacterias coliformes totales y fecales en agua aportó evidencia de contaminación fecal reciente durante y después de semana santa, mientras que las concentraciones de enterococos en el agua mostraron niveles sin riesgo a la salud de los usuarios antes de semana santa, hasta niveles con riesgo a la salud durante y después de semana santa. Después de dos meses de semana santa, la playa aún permanece con condiciones sanitarias no aptas para uso de contacto primario, con concentraciones de riesgo para la salud pública. Aunque nuestro estudio estuvo más enfocado al periodo vacacional de semana santa, el periodo vacacional de verano (julio y agosto) también representa condiciones sanitarias con riesgos a la salud de los bañistas debido a la afluencia alta de usuarios, periodo de lluvias y temperatura del agua más altas del año.

Para las playas recreativas de Florida Kelly *et al.* (2018) observaron que las concentraciones bajas de enterococos se asociaron con playas abiertas de la costa, que tienen densidades humanas dispersas, bajas densidades de perros y aves, bajas densidades de algas marinas, reposición de playas, tarifas de acceso de cobros, sin marinas cercanas y que manejan aguas pluviales. Sobre esto, la playa El Cochórit es una playa abierta, con baja densidad humana y sin marinas cercanas, pero tiene infraestructura sanitaria limitada. Cuando esto último se combina con periodos vacacionales como semana santa donde la afluencia masiva de usuarios y el acceso de perros sin control resultan en factores causales de incremento en las concentraciones de bacterias coliformes y enterococos en el agua.

La evidencia aportada en este estudio sobre los efectos adversos a la salud pública por el incremento de la afluencia de usuarios en periodos vacacionales

indica la necesidad de tomar decisiones de manejo, mediante la instalación de infraestructura y servicios sanitarios suficientes considerando la capacidad de carga de la playa, implementar un monitoreo de la calidad sanitaria del agua a través del año, informar a la población del riesgo de contraer enfermedades durante periodos de grandes afluencias de usuarios y realizar estudios epidemiológicos asociados a las condiciones sanitarias de la playa.

### **8.3 Condición sanitaria de una playa recreativa urbana Miramar**

La inspección sanitaria de la playa exhibió la importancia de las distintas fuentes de contaminación fecal y los resultados de esta inspección fueron consistentes con niveles de enterococos en el agua observados a través del año. En particular, la densidad de bañistas en periodos vacacionales duplicó a la capacidad de carga de la playa, estimada en 423 personas por día (García-Morales *et al.* 2018a), y se observaron perros la mayor parte del año. Estas observaciones resultan relevantes porque se ha estimado que los bañistas aportan entre  $1.9 \cdot 10^3$  y  $4.5 \cdot 10^6$  NMP 100 de enterococos por tiempo de baño (Elmir *et al.*, 2009) y un evento fecal de perro aporta el equivalente a 6,940 incursiones de humanos (Wright *et al.*, 2009). En Miramar, una evidencia del aporte de enterococos por bañistas corresponde a las concentraciones en la tarde (después del uso de la playa) que fueron más altas que en la mañana.

Aquí, el factor principal de riesgo sanitario es el aporte de aguas residuales urbanas sin tratamiento. En México, se tiene capacidad para dar tratamiento al 63% de las aguas residuales urbanas generadas en el país (SEMARNAT, 2018), pero más del 50% de las plantas de tratamiento municipales son calificadas con mal o pésimo funcionamiento y en consecuencia las aguas residuales son descargadas sin tratamiento a ríos, a cuerpos de agua y al mar (Mazari-Hiriart y Noyola-Robles, 2018; INCyTU, 2019). La evidencia ha mostrado que los vertimientos de aguas residuales sin tratamiento a diferentes entornos ambientales (incluyendo las playas recreativas) tienen efectos nocivos en la salud humana, impactos negativos en el ambiente y repercusiones adversas en actividades económicas (UNESCO, 2017). En la inspección sanitaria, a esta

fuentes contaminantes se le asigna mayor ponderación debido a que se ha demostrado que contiene una gran carga de microorganismos de origen fecal que incrementan el riesgo de enfermedades gastrointestinales y respiratorias febriles agudas (Fleisher *et al.*, 1998; Prüs, 1998; Soller *et al.*, 2010).

En México, la generación de agua residual se estima en  $\sim 60 \text{ m}^3 \text{ año}^{-1}$  por persona (INCyTU, 2019) y en la playa Miramar, las aguas residuales urbanas sin tratamiento de  $\sim 20 \%$  de la ciudad de Guaymas ( $\sim 160,000$  habitantes) son vertidas al cauce de un arroyo que desemboca en el estero Baco-chibampo y además se aportan por fugas de una estación de bombeo del sistema de drenaje de la ciudad. De tal forma que resultados similares a lo observado en Miramar también han sido expuestos en diversos trabajos para playas urbanas, por ejemplo, de 19 playas del litoral Tijuana – Ensenada (México), el 25 % en verano y el 17 % en invierno, excedieron los criterios de calidad sanitaria establecidos en la normatividad (Orozco-Borbón *et al.*, 2006); en tres playas de Acapulco (México), las concentraciones de enterococos en el agua indicaron riesgos sanitarios desde no recomendable hasta alto durante la temporada vacacional en agosto, (Flores-Mejía *et al.*, 2012); en una playa de Veracruz (México), las concentraciones de enterococos en agua fueron superiores al límite establecido por la normatividad (Hidalgo *et al.*, 2016); en playas de Rio de Janeiro (Brasil) se observaron condiciones de riesgo a la salud pública por los aportes de aguas residuales urbanas sin tratamiento (Eisenberg *et al.*, 2016); en un estudio entre playas naturales y urbanas de Colombia, estas últimas tuvieron contaminación fecal cuya fuente fueron arroyos que transportan aguas residuales urbanas con alta concentración de microorganismos de origen fecal y con niveles de riesgo para la salud de los bañistas (Sánchez-Moreno *et al.*, 2019); playas de California (EEUU) reciben diariamente desde las zonas urbanas aguas residuales tratadas y aguas de escorrentías no tratadas contaminadas por materia fecal que resultan de riesgo a la salud de los bañistas (Li and Zhang, 2019). Lo expuesto coincide con las observaciones de Eisenberg *et al.* (2016), en el sentido de que en entornos urbanos de países de bajos y medianos ingresos, no es inusual que gran parte de las aguas residuales generadas no se traten. Incluso en países de ingresos altos donde las aguas



residuales a menudo se tratan en un alto grado, la contaminación ambiental de las aguas residuales ocurre cuando se evita el tratamiento, por ejemplo, durante los desbordamientos de aguas pluviales.

Con base en la influencia de precipitación, la playa Miramar fue calificada como moderada. Se ha demostrado que las escorrentías de lluvias afectan la calidad del agua en playas urbanas, especialmente porque aguas pluviales se combinan con el sistema de alcantarillado urbano (Ahn *et al.*, 2005; McGinnis *et al.*, 2018). En la playa Miramar las escorrentías de las lluvias son transportadas desde la zona urbana hasta el estero Bacochibampo por dos arroyos, durante las lluvias uno transporta las escorrentías pluviales y otro transporta aguas residuales urbanas sin tratamiento combinada con agua pluvial. Finalmente, debido al intercambio de agua diario entre el estero y la bahía, la contaminación bacteriana alcanza la zona del balneario de la playa.

Las fuentes de contaminación fecal observadas en la inspección sanitaria son consistentes con la calidad sanitaria del agua indicada por concentraciones promedio de enterococos > 500 NMP a través del año. Con base en lo anterior, el resultado de la evaluación de la condición sanitaria de la playa Miramar fue muy pobre. Este resultado afecta el potencial recreativo de la playa y sugiere la relevancia de dirigir esfuerzos para resolver los problemas de contaminación fecal y evitar o minimizar los riesgos a la salud de los bañistas.

En esta playa, las principales fuentes de contaminación fecal son las aguas residuales urbanas sin tratamiento, los bañistas, los perros y las escorrentías de lluvias. Las aguas residuales urbanas son aportadas todo el año, pero se incrementan en los meses de verano (junio, julio, agosto y septiembre) debido al mayor uso de agua asociado al incremento de la temperatura ambiental que en este periodo del año es > 35 °C característica del clima seco de la región (García, 2004). La afluencia de bañistas ocurre todo el año, pero se incrementa a más del doble de la capacidad de carga de la playa durante los periodos vacacionales de semana santa y verano. La presencia de perros en la playa registrada durante los muestreos ocurrió la mayor parte del año. Las lluvias ocurrieron en verano

(julio, agosto, septiembre) e invierno (diciembre, enero, febrero) con mayor cantidad en verano (214 mm ~ 84 % anual). Con base en lo expuesto, es posible explicar las concentraciones de enterococos observadas a través del año con valores más bajos en enero (< 500 NMP), más altos en abril - mayo, agosto y noviembre ( $\geq 2400$  NM) y > 500 NMP los demás meses del año y esto también permitió detectar los periodos de mayor riesgo a la salud de los bañistas.

Las concentraciones de enterococos fueron menores en la zona de playa (promedio anual 1,600 NMP) que en la zona del canal (promedio anual 2,000 NMP). Sin embargo, tomando en cuenta como referencia valores > 500 NMP propuesto por la WHO (2003) en ambos casos se encuentran riesgos a la salud de los bañistas, prácticamente todo el año. En ambas zonas, los valores promedio mensuales de enterococos mostraron un comportamiento similar a través del año atribuido al intercambio de agua diario que ocurre a través del canal entre el estero y el mar adyacente. Los esteros de esta región semi - árida subtropical reciben aportes de agua dulce exclusivamente por lluvias que son escasas (< 300 mm año<sup>-1</sup>) y se caracterizan por salinidades > 38 ups (Arreola-Lizárraga *et al.*, 2018). No obstante, la salinidad observada en el estero Bacochibampo fue < 35 ups, lo cual es atribuido a los aportes de aguas residuales urbanas que reciben (también menor a la salinidad del mar adyacente).

Las aguas residuales urbanas sin tratamiento descargadas al estero están aportando enterococos todo el año, pero estas se incrementan en verano asociado al mayor gasto de agua doméstico por el incremento de la temperatura ambiental > 35 °C desde junio hasta septiembre. En los meses de invierno (diciembre, enero, febrero y marzo), las concentraciones fueron más altas en el canal que en la playa porque el aporte de enterococos proviene principalmente de aguas residuales urbanas. La evidencia de esto son las concentraciones de enterococos observadas durante los flujos y reflujos de marea que fueron más altas en los reflujos que indican agua saliendo del estero. En este periodo del año, la zona de playa tuvo las menores concentraciones atribuido a la menor afluencia de bañistas.

El incremento de enterococos observado en abril y mayo se atribuye a la afluencia masiva de bañistas en el periodo vacacional de semana santa y concentraciones de enterococos altas ( $> 2000$  NMP) se mantienen hasta mayo. Este incremento de enterococos en semana santa y mayo con niveles similares fue observado en esta playa en un estudio previo (León-López *et al.*, 2018). Esto es explicado considerando que parte de las poblaciones de enterococos aportadas durante la semana santa aún permanecen en el medio favorecidas por el incremento de la temperatura del agua (Noble *et al.*, 2003), y porque continúan aportes por afluencia de bañistas y mascotas. Esto coincide con otros estudios que han observado incrementos en la concentración de enterococos en el agua asociados al incremento de la afluencia de bañistas en las playas durante las temporadas vacacionales (Torres-Bejarano *et al.*, 2018). El verano (junio, julio, agosto, septiembre) representa otro periodo vacacional con afluencia masiva de bañistas, pero también cuando al aporte de aguas residuales urbanas es mayor y además también se incrementan las escorrentías de lluvias. Se conoce que los enterococos son muy abundantes en el intestino de muchos animales, pero no son exclusivos de ese entorno y pueden persistir y crecer fuera del tracto intestinal (Rothenheber and Jones, 2018). En ambientes acuáticos los enterococos pueden desarrollarse a temperaturas de  $10 - 45$  °C (Byappanahalli *et al.*, 2012). En nuestra área de estudio la temperatura del agua  $> 30$  °C desde junio hasta septiembre, proporcionando condiciones propicias para que los enterococos se mantengan latentes.

La influencia de las escorrentías de lluvias fue notable con incrementos en la concentración de enterococos posterior a cada uno de los meses con mayor cantidad de lluvia (julio y septiembre). Estos efectos, también han sido observado en otras playas, las escorrentías de aguas pluviales desde zonas urbanas causan contaminación por bacterias indicadoras fecales, virus indicadores fecales y virus patógenos humanos (Ahn *et al.*, 2005; McGinnis *et al.*, 2018).

Es importante considerar la dificultad de asociar las fuentes específicas de contaminación fecal con riesgos a la salud de los usuarios de las playas, esto debido a la naturaleza diversa de las fuentes de bacterias fecales, los procesos

de su descarga y de su destino, así como escasas estimaciones en las cuencas hidrológicas donde se ubican las playas (Huang *et al.*, 2017). En la playa Miramar, con base en las concentraciones de enterococos en el agua, los periodos de mayor riesgo para la salud de los bañistas ocurren en los periodos vacacionales de semana santa y verano. En el primero la afluencia masiva de bañistas sugiere ser la principal fuente de enterococos como fue observado en un estudio previo (León-López *et al.*, 2018). En el verano, el mayor aporte de aguas residuales urbanas, la afluencia de bañistas y las escorrentías de lluvias sugieren ser, conjuntamente, las fuentes de contaminación fecal de la playa.

Estos resultados revelan la importancia de tomar decisiones de manejo enfocadas a eliminar o minimizar las fuentes de contaminación fecal a esta playa recreativa urbana. La cual, de acuerdo con un estudio basado en la percepción de los usuarios, es la más visitada por familias de la ciudad con fines de esparcimiento y, calificada con calidad recreativa alta y el atractivo más importante fue el paisaje costero (García-Morales *et al.*, 2018b). El planteamiento de soluciones para disminuir o evitar los riesgos a la salud pública por el uso de esta playa urbana es sencillo, pero llevarlo a la práctica es más complejo. Algunas acciones son factibles en lo inmediato, tales como establecer control del número de usuarios tomando como referencia la capacidad de carga de la playa, incrementar la infraestructura sanitaria y disponer de baños portátiles en periodos vacacionales, así como controlar la ocurrencia de perros en la playa. Otras acciones son posibles con planes de mediano y largo plazo porque evitar el vertimiento de aguas residuales urbanas sin tratamiento requiere inversiones de presupuesto gubernamental dirigido a mejorar los sistemas de tratamiento, drenaje y alcantarillado. Además, algo de lo más importante y en ocasiones difícil de lograr, es generar conciencia pública sobre el problema. Nuestro estudio, como otros realizados en otras playas urbanas del mundo, contribuye a mostrar sus condiciones sanitarias y los riesgos a la salud pública. No obstante son necesarios más estudios epidemiológicos, sobre todo en playas tropicales y subtropicales que contribuyan a conocer la magnitud de los problemas de salud pública (Verhougstraete *et al.*, 2020).

## 9. CONCLUSIONES

- Se obtuvo evidencia que los usuarios de las playas Los Algodones, San Francisco y Miramar están expuestos a diferentes niveles de riesgo sanitario. El mayor corresponde a los periodos de vacaciones (semana santa y verano) cuando las concentraciones de enterococos son muy altas. No obstante, los riesgos a la salud son más bajos antes de semana santa y disminuyen en invierno. Las principales fuentes de enterococos provienen de la afluencia de usuarios, vertimiento de aguas, escorrentías de lluvia y por la presencia de perros y aves.
- Las concentraciones de enterococos en arena (seca y húmeda) mostraron patrones similares a las concentraciones en agua, siendo más altos en arena seca que en arena húmeda. Esto representa también un riesgo para la salud de los usuarios, incluso para aquellos que no van a nadar al mar.
- En la playa El Cochórit se observó que cuando se supera la capacidad de carga turística, se incrementa la concentración de enterococos provocando pérdida de la calidad sanitaria de la misma con riesgo a la salud de los bañistas.
- En la playa Miramar, el resultado de la evaluación de la condición sanitaria fue muy pobre debido al aporte de aguas residuales urbanas sin tratamiento, la afluencia de bañistas y las escorrentías de lluvias. Esta afecta el potencial recreativo de la playa y exhibe la relevancia de dirigir esfuerzos para remediar la contaminación fecal y con ello evitar o minimizar los riesgos a la salud de los bañistas.
- Los resultados de este trabajo pueden ser una referencia útil para comparar los factores que controlan la abundancia y variabilidad de bacterias fecales entre playas semiáridas subtropicales con respecto a playas tropicales y templadas. También podrían ser referencia para respaldar decisiones y esfuerzos para prevenir riesgos para la salud pública y contribuir para que los servicios recreativos y turísticos que brindan las playas se mantengan de la mejor forma posible.

- Se recomienda implementar un manejo y control sanitario del agua y la arena de las playas, mediante la instalación de infraestructura y servicios sanitarios suficientes para prevenir riesgos a la salud pública, así como un monitoreo de la calidad sanitaria del agua y la arena que contemple todas las épocas del año.

## 10. LITERATURA CITADA

Abdelzaher, A., H. Solo-Gabriele, M. Phillips, S. Elmir, L. Fleming. 2013. An alternative approach to water regulations for public health protection at bathing beaches. *J Environ Pub Health*. 2013:1-9.

Ahn, J. H., S. B. Grant, C.Q. Surbeck, P. M. DiGiacomo, N. P. Nezhin, S. Jiang. 2005. Coastal water quality impact of stormwater runoff from an urban watershed in southern California. *Environ. Sci. Technol*. 39:5940-5953.

Anderson, D. W., J. E. Mendoza, J. O. Keith. 1976. Seabirds in the Gulf of California: A vulnerable, international resource. *Nat Resour J*. 16:484-505.

Arnold, B., K. Schiff, J. Griffith, J. Gruber, V. Yau, C. Wright, T. Wade, S. Burns, J. Hayes, C. McGee, M. Gold, Y. Cao, S. Weisberg, J. Colford. 2013. Swimmer illness associated with marine water exposure and water quality indicators: impact of widely used assumptions. *Epidemiology*. 24(6):845-53.

Arreola-Lizárraga, J. A., G. Padilla-Arredondo, T. M. Ruiz-Ruiz, L. M. Cruz-García, L. C. Méndez-Rodríguez, P. Hernández-Almaraz y H. H. Vargas-González. 2018. Estuaries and Coastal Lagoons of Mexico: Challenges for Science, Management, and Conservation. pp. 251-284. En: Ortega-Rubio A. (ed.) *Mexican Natural Resources Management and Biodiversity Conservation*. Springer, Cham, Switzerland. ISBN 978-3-319-90583-9.

Arreola-Lizárraga, J. A., G. García-Morales, C. E. León-López y A. Ortega Rubio. 2020. Playas recreativas de México: vulnerabilidad y gestión. pp. 193-220. En: Rivera-Arriaga, E., I. Azuz-Adeath, O.D. Cervantes Rosas, A. Espinoza-Tenorio, R. Silva Casarín, A. Ortega-Rubio, A.V. Botello y B.E. Vega-Serratos (eds.). *Gobernanza y Manejo de las Costas y Mares ante la Incertidumbre: Una Guía para Tomadores de Decisiones*. Universidad Autónoma de Campeche, RICOMAR. doi 10.26359/epomex.0120.

Barragán J. M., M. De Andrés (2016) Expansión urbana en las áreas litorales de América Latina y Caribe. *Rev. Geogr. Norte Gd.* 64:129-149.

Barrera- Escorcía, G., P. Namihira-Santillán. 2004. Contaminación microbiológica en la zona costera de Akumal, Quintana Roo, México. *Hidrobiológica.* 4(1):27-35.

Bonilla, T., K. Nowosielski, M. Cuvelier, A. Hartz, M. Green, N. Esiobu, D. McCorquodale, J. Fleisher, A. Rogerson. 2007. Prevalence and distribution of fecal indicator organisms in South Florida beach sand and preliminary assessment of health effects associated with beach sand exposure. *Mar pollut bull.* 54:1472-1482.

Bonnie, M., U. Muzaffer. 1990. An Examination of the relationship between carrying capacity and the tourism's lifecycle: Management and policy implications. *J Environ Manage.* 31:327-333.

Botero-Saltaren, C., C. Pereira-Pomárico, O. Cervantes. 2013. Estudios de calidad ambiental de playas en Latinoamérica: revisión de los principales parámetros y metodologías utilizadas. *Revista investigación ambiental, ciencia y política pública.* 5(2):41-51.

Brown, K. I., K. E. Graham, A. B. Boehm. 2017. Risk-based threshold of gull-associated fecal marker concentrations for recreational water. *Environ. Sci. Technol. Lett.* 4(2):44-48.

Byappanahalli, M., M. Nevers, A. Korajkic, Z. Staley, V. Harwood. 2012. Enterococci in the environment. *Microbiol Mol Biol R.* 76(4):685-706.

Byappanahalli, M., M. Nevers, R. L. Whitman, Z. Ge, D. Shively, A. Spoljaric, K. Przybyla-Kelly. 2015. Wildlife, urban inputs, and landscape configuration are responsible for degraded swimming water quality at an embayed beach. *J Great Lakes Res.* 41:156-163.

Carrero-Colón, M., G. S. Wickham, R. F. Turco. 2011. Taxonomy, phylogeny, and physiology of fecal indicator bacteria. En: Sadowsky, M. J., R. L. Whitman (ed.). *The*



Fecal Bacteria. Library of Congress Cataloging-in-Publication Data. Washington, D.C. pp 23-38.

Cifuentes, M., C. A. Mesquita, J. Méndez, M. E. Morales, M. Aguilar, D. Cancino, M. Gallo, M. Jolón, C. Ramírez, N. Ribeiro, E. Sandoval, and M. Turcios. 1999. Capacidad de Carga Turística en las áreas de uso público del Monumento Nacional Guayabo, Costa Rica. Fondo Mundial para la Naturaleza (WWF Centroamérica) y Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). Turrialba, Costa Rica, 75p.

COFEPRIS. 2013. Lineamientos para agua de contacto. Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios. 14p.

CONAGUA. 2017. Programa de Playas Limpias, Agua y Ambientes Seguros (Proplayas). Comisión Nacional del Agua. [Citado el 07 de julio del 2017] de: <ftp://ftp.conagua.gob.mx/playaslimpias/Resumengeneral/>.

Desmarais, T. R., H. M. Solo-Gabriele, C. J. Palmer. 2002. Influence of soil on fecal indicator organisms in a tidally influenced subtropical environment. *Appl Environ Microb.* 68(3):1165-1172.

Dwight, R. H., M. V. Brinks, G. S Kumar, J. C. Semenza. 2007. Beach attendance and bathing rates for Southern California beaches. *Ocean Coast Manage.* 50:847-858.

Eisenberg, J. N. S., J. Bartram, T. J. Wade. 2016. The water quality in Rio highlights the global public health concern over untreated sewage. *Environ. Health Perspect.* 124: A180 - A181.

Elmir, S. M., T. Shinata, H. M. Solo-Gabriele, C. D. Sinigalliano, M. L. Gidley, G. Miller, L. R. W. Plano, J. Kish, K. Withum, L. E. Fleming. 2009. Quantitative evaluation of enterococci and Bacteroidales released by adults and toddlers in marine water. *Water research* 43:4610-4616.

Enviroware. 2016. Macro para Excel Vientos. c1997-2017. México: Enviroware [Citado el 15 diciembre del 2016] de: <https://www.enviroware.com/>.

Eregno, F. E., I. Tryland, T. Tjomsland, M. Kempa, A. Heistad. 2018. Hydrodynamic modelling of recreational water quality using *Escherichia colias* an indicator of microbial contamination, *J. Hydrol.* 551:179-186.

Fattal, B., E. Peleg-Olevsky, B. J. Cabelli. 1991. Bathers as a possible source of contamination for swimming-associated illness at marine bathing beaches. *Int J Environ Heal R.* 1:204-214.

Fewtrell, L., D. Kay. 2015. Recreational Water and Infection: A Review of Recent Findings. *Curr Envir Health Rpt* 2:85-94.

Filloux, J. H. 1973. Tidal Patterns and Energy Balance in the Gulf of California. *Nature.* 243: 217-221.

Fleisher, J. M., D. Kay, M. D. Wyer, A. F. Godfree. 1998. Estimates of the severity of illnesses associated with bathing in marine recreational waters contaminated with domestic sewage. *Int J Epidemiol* 27:722 – 26.

Fleisher, J., E. Fleming, H. Solo-Gabriele, J. Kish, C. Sinigalliano, L. Plano, S. Elmir, J. Wang, K. Withum, T. Shibata, M. Gidley. A. Abdelzaher, G. He, C. Ortega, X. Zhu, M. Wright, J. Hollenbeck, L. Backer. 2010. The Beaches Study: health effects and exposures from non-point source microbial contaminants in subtropical recreational marine waters. *Int J Epidemiol.* 39:1291-1298.

Flores-Mejía M., M. Flores-Hernández, M. Ríos-Miranda. 2012. Evaluación de la calidad ambiental en playas de uso recreativo (Acapulco, Gro.). En: Pica-Grandados, Y., P. Ramírez-Romero (ed.) *Contribuciones al conocimiento de la ecotoxicología y química ambiental en México.* Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Pp 127-138.

Fujioka, R., H. Solo-Gabriele, M. Byappanahalli, M. Kirs. 2015. U.S. Recreational Water Quality Criteria: A vision for the future. *Int J Env Res Pub He.* 12:7752-7776.

Galván-Mendoza, A. B., 2013. Calidad bacteriológica y riesgos sanitarios de las playas norte de Tuxpan, Veracruz. Tesis (especialista en gestión e impacto ambiental). Tuxpan, Veracruz. Universidad Veracruzana. 40 p.

García, E. 2004. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen Adaptaciones a las condiciones de la república mexicana. Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México. México D.F. 243 p.

García-Morales, G., J. A. Arreola-Lizárraga, R. A. Mendoza-Salgado, P. Rosales-Grano, J. García Hernández, G. Padilla-Arredondo, A. Ortega-Rubio. 2017. Análisis de la aptitud recreativa orientada a la gestión ambiental de la playa El Cochórit, Sonora, México. *Rev Int Contam. Ambie* 33:35 - 44.

García-Morales, G., J. A. Arreola-Lizárraga, P. Rosales-Grano. 2018a. Integrated Assessment of Recreational Quality and Carrying Capacity of an Urban Beach. *Coastal Management.* 46(4):316-333.

García-Morales, G., J. A. Arreola-Lizárraga, R. A. Mendoza-Salgado, J. García-Hernández, P. Rosales-Grano, A. Ortega-Rubio. 2018b. Evaluation of beach quality as perceived by users, *J Environ Plann Man.* 61(1):161-175.

Girardi, V., M. Demoliner, J. S. Gularte, F. R. Spilki. 2019. 'Don't put your head under water': enteric viruses in Brazilian recreational waters. *New Microb New Infect.* 29:100519.

Gonzales, S., F. Emiliani. 2005. Caracterización preliminar de la calidad microbiológica de la arena en las playas. *Natura Neotropicalis.* 36:81-84.

Haile, R. W., J. S. Witte, M. Gold, et al. 1999. The health effects of swimming in ocean water contaminated by storm drain runoff. *Epidemiology.* 10:355 - 63.

Halliday, E., R. Gast. 2011. Bacteria in Beach Sands: An emerging challenge in protecting coastal water quality and bather health. *Environ Sci Technol.* 45(2):370-379.

Hanes, N. B., R. Fragala. 1967. Effect of Seawater Concentration on Survival of Indicator Bacteria. *Water pollut control.* 39(1):97-104.

Herrera, A., P. Suárez. 2005. Indicadores bacterianos como herramientas para medir la calidad ambiental del agua costera. *Interciencia.* 30(3):171-176.

Hidalgo, G., M. R. Castañeda-Chávez, A. Granados-Barba, B. E. Sánchez-Domínguez. 2016. Environmental variability of tropical sandy beach across an anthropic gradient: the case of central Veracruz (Southwestern Gulf of Mexico). *International Journal of Environmental Research.* 10(4):481-490.

Houston, J. R. 2013. The economic value of beaches a 2013 update. *Shore & Beach.* 81(1):3-11.

Huang, G., R. A. Falconer, B. Lin. 2017. Integrated hydro-bacterial modelling for predicting bathing water quality. *Estuar Coast Shelf S.* 188:145-155.

INCyTU 2019. Tratamiento de aguas residuales. Oficina de Información Científica para el Congreso de la Unión. Nota-INCyTU, No. 028, Cd. de México.

Kay, D., F. Jones, M. D. Wyer, J. M. Fleisher, R. L. Salmon, A. F. Godfree, A. Zelenauch-Jacquotte, R. Shore. 1994. Predicting likelihood of gastroenteritis from sea bathing: results from randomised exposure. *Lancet* 344:905 - 909.

Kelly, E. A., Z. Feng, M. L. Gidley, Ch. D. Sinigalliano, N. Kumar, A. G. Donahue, A. Reniers, H. M. Solo-Gabriele. 2018. Effect of beach management policies on recreational water quality. *J Environ Manage,* 212:266-277.

Kline, J. D., S. K. Swallow. 1998. The demand for local access to coastal recreation in southern New England. *Coast. Manag.* 26:177-190.

Komar, P. D. 1998. *Beach Processes and Sedimentation*. Segunda edición. Prentice Hall, New Jersey. 544p.

León-López C. E., J. A. Arreola-Lizárraga, G. Padilla-Arredondo, J. E. Chávez-Villalba, R. A. Mendoza-Salgado, L. C. Méndez-Rodríguez, J. García-Hernández. 2018. Temporal variability of enterococci and associated sources at three subtropical recreational beaches. *Oceanological and Hydrobiological Studies*. 47(4):327-336.

Li, J., X. Zhang. 2019. Beach Pollution Effects on Health and Productivity in California. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 16:1987.

Mangala, S, K. Soo-Chen, S. Norkhadijan, S. Ismail. 2013. Indicators of microbial beach water quality: Preliminary findings from Teluk Kemang beach, Port Dickson (Malaysia). *Mar pollut bull*. 76:417-419.

Mazari-Hiriart, M., A. Noyola-Robles. 2018. Problemática y Política del Agua. 2018. pp. 13-23. En: L. Merino-Pérez, y A. Velázquez-Montes (compiladores). *Agenda Ambiental 2018 Diagnóstico y propuestas*. Seminario Universitario de Sociedad, Medio Ambiente e Instituciones, Universidad Nacional Autónoma de México, Cd. de México.

Mendoza, M. E. 1997. Regionalización geomorfológica y de paisaje de la Zona Costera entre Guaymas y Agiabampo, Sonora, México. Tesis (Maestría en Conservación, Ecología y Manejo de Recursos Naturales). Guaymas, Sonora. Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey. 147p.

McGinnis, S., S. Spencer, A. Firnstahl, J. Stokdyk, M. Borchardt, D. T. McCarthy, H. M. Murphy. 2018. Human bacteroides and total coliforms as indicators of recent combined sewer overflows and rain events in urban creeks. *Sci. Total Environ*. 630: 967-976.

McLachlan, A., O. Defeo, A. D. Short. 2018. Characterising sandy beaches into major types and states: Implications for ecologists and managers. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 215:152-160.

Mitchell, D. L., D. Ivanova, R. Rabin, T. J. Brown, K. Redmond. 2002. Gulf of California Sea Surface Temperatures and the North American Monsoon: Mechanistic Implications from Observations. *J climate*. 15(17):2261-2281.

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

Nevers M. B, M. N. Byappanagalli, D. Shively, P. M. Buszka, P. R. Jackson, M. S. Phanikumar. 2018. Identifying and eliminating sources of recreational water quality degradation along an urban coast. *J. Environ. Qual.* 47:1042-1050.

Noble R., D. Moore, M. Leecaster, C. Mc Green, S. Weisberg. 2003. Comparison of total coliform, fecal coliform and enterococcus bacterial indicators response for ocean recreational water quality testing. *Water res.* 37:163-1643.

Oliveira, B. S. S. D., A. C. D. Cunha. 2014. Correlation between water quality and precipitation variability in the southern state of Amapá. *Rev Ambient Água.* 9(2):261-275.

Oliveira, S. S., M. E. Ferreira-Sorgine, K. Bianco, L. H. Pinto, C. Barreto, R. M. Albano, A. M. Cardoso, M. M. Clementino. 2016. Detection of human fecal contamination by *nifH* gene quantification of marine waters in the coastal beaches of Rio de Janeiro, Brazil. *Environ Sci Pollut Res.* 23(24):25210-25217.

Orozco-Borbón, M., R. Rico-Mora, S. Weisberg, R. Noble, J. Dorsey, M. Leecaster, C. McGee. 2006. Bacteriological water quality along the Tijuana-Ensenada Baja California, México shoreline. *Mar pollut bull.* 52:1190-1196.

Phillips, M., H. Solo-Gabriele, A. Piggot, J. Klaus y Y. Zhang. 2011. Relationships between sand and water quality at recreational beaches. *Water Res.* 45:6763-6769.

Pinto, K., E. Hachich, M. Sato, M. Di-Bari, M. Coelho, M. Matté, C. Lamparelli y M. Razzolini. 2012. Microbiological quality assessment of sand and water from three selected beaches of South Coast, Sao Paulo State, Brazil. *Water Sci Technol.* 66(11):2475-2482.

Prayaga, P. 2017. Estimating the value of beach recreation for locals in the Great Barrier Reef Marine Park, Australia. *Econom Anal Policy* 53:9-18.

Pruss, A. 1998. Review of epidemiological studies on health effects from exposure to recreational water. *Int J Epidemiol* 27:1-9.

Rangel-Buitrago, N., C. Adriana Gracia, G. Anfuso, A. Ergin, A. Williams. 2016. Evaluación de las características paisajísticas mediante la lógica matemática en la zona central de la costa Caribe Colombiana. *Études caribéennes*, 33-34. [Citado el 25 de mayo del 2018] de: <http://journals.openedition.org/etudescaribeennes/9326>.

Rothenheber, D., S. Jones. 2018. Enterococcal Concentrations in a Coastal Ecosystem Are a Function of Fecal Source Input, Environmental Conditions, and Environmental Sources. *Appl Environ Microbiol*, 17:84.

Sabino R, R. Rodríguez, I. Costa, C. Carneiro, M. Cunha, A. Duarte, N. Faria, F. C. Ferreira, M. J. Gargaté, C. Júlio, M. L. Martins, M. B. Nevers, M. Oleastro, H. Solo-Gabriele, C. Veríssimo, C. Viegas, R. L. Whitman, J. Brandão. 2014. Routine screening of harmful microorganisms in beach sands: Implications to public health. *Sci Total Environ* 472:1062-1069.

Sánchez-Moreno, H., H. J. Bolívar-Anillo, Z. E. Soto-Varela, Y. Aranguren, C. Pichón-González, D. A. Villate-Daza, G. Anfuso. 2019. Microbiological water quality and sources of contamination along the coast of the Department of Atlántico (Caribbean Sea of Colombia). Preliminary Results. *Mar Pollut Bull*, 142:303-308.

Schlacher, T. A., D. S. Schoeman, J. Dugan, M. Lastra, A. Jones, F. Scapini, A. McLachlan. 2008. Sandy beach ecosystems: key features, sampling issues, management challenges and climate change impacts. *Mar Ecol.* 29(1):70-90.

Secretaría de Economía (SE) 2006. Norma mexicana NMX-AA-120-SCFI-2006 que establece los requisitos y especificaciones de sustentabilidad de calidad de playas. *Diario Oficial de la Federación*, Ciudad de México, México, 06 de julio del 2006.

Secretaría de Economía (SE). 2016. Norma mexicana NMX-AA-120-SCFI-2016 que establece los requisitos y especificaciones de sustentabilidad de calidad de playas. *Diario Oficial de la Federación*, Ciudad de México, México, 07 de diciembre del 2016.

SEMARNAT 2018. Estadísticas del Agua en México, Edición 2018. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Comisión Nacional del Agua, Cd. de México, 303 p. [http://sina.conagua.gob.mx/publicaciones/EAM\\_2018.pdf](http://sina.conagua.gob.mx/publicaciones/EAM_2018.pdf).

Solargis s.f. Global horizontal irradiation Mexico. Recuperado el día 04 de junio del 2020 de <https://solargis.com/es/maps-and-gis-data/download/mexico>.

Shuval, H. 2003. Estimating the global burden of thalassogenic diseases: human infectious diseases caused by wastewater pollution of the marine environment. *J water health* 1(2):53-64.

Signoretto, C., G. Burlacchini, M. M. Lleo, C. Pruzzo, M. Zampini, L. Pane, G. Franzini, P. Canepari. 2004. Adhesion of *Enterococcus faecalis* in the Nonculturable State to Plankton Is the Main Mechanism Responsible for Persistence of This Bacterium in both Lake and Seawater. *Appl. Environ. Microbiol.* 70(11):6892-6896.

Silva-Iñiguez, L., C. Gutiérrez-Corona, L. Galeana-Miramontes, A. López-Mendoza. 2007. El impacto de la actividad turística en la calidad bacteriológica del agua de mar. *Gaceta Ecológica.* 82:69-76.



Soller, J. A., M. E. Schoen, T. Bartrand, J. E. Ravenscroft, N. J. Ashbolt. 2010. Estimated human health risks from exposure to recreational waters impacted by human and non-human sources of faecal contamination. *Water Res.* 44:4674-4691.

Solic, M., N. Krstulovic. 1992. Separate and Combined Effects of Solar Radiation, Temperature, Salinity, and pH on the Survival of Fecal Coliforms in Seawater. *Mar Pollut Bull* 24(8):411-416.

Sousa, R. C., L. C. Pereira, R. M. Costa, y J. A. Jiménez. 2014. Tourism carrying capacity on estuarine beaches in the Brazilian Amazon region. *J Coast Res.* 70:545-550.

Testolin R. C., A. O. Lima, J. M. Strutz, R. Corrêa, G. Poyer-Radetski, L. Cesconetto, A. Felde, C. M. Redetski. 2019. Remediation efficiency of different methods for rapid-response of microbiological and / or organic matter contaminated beach sand: A laboratory study. *Mar. Pollut. Bull.*141:84-90.

Tilburg, Ch. E., L. M. Jordan, A. E. Carlson, S. I. Zeeman, P. O. Yund. 2015. The effects of precipitation, river discharge, land use and coastal circulation on water quality in coastal Maine. *Roy Soc Open Sci.* 2:140-429.

Thoe, W., O. H. K. Lee, K. F. Leung, T. Lee, N. J. Ashbolt, R. R Yang, S. H. K. Chui. 2018. Twenty five years of beach monitoring in Hong Kong: A re-examination of the beach water quality classification scheme from a comparative and global perspective. *Mar Pollut Bull* 131:79 3- 803.

Torres-Bejarano, F., L. C. González-Marquez, B. Díaz-Solano, A. C. Torregroza-Espinosa, R. Cantero-Rodelo. 2016. Effects of beach tourists on bathing water and sand quality at Puerto Velero, Colombia. *Environ Dev Sustain.* DOI 10.1007/s10668-016-9880-x.

Turbow D. J., N. D. Osgood, S. C. Jiang. 2007. Evaluation of Recreational Health Risk in Coastal Waters Based on Enterococcus Densities and Bathing Patterns. *Environmental Health Perspectives.* 111(4): 598 - 603.

UNESCO. 2017. Wastewater. [Citado el 10 de mayo del 2020] de: <http://unesdoc.unesco.org/images/0024/002475/247552e.pdf>.

Vega-Granillo, E., S. Cirett-Galán, M. De la Parra-Velasco, R. Zavala-Juárez. 2011. Hidrogeología de Sonora México, En: Calmus, T. (ed.). Panorama de la geología de Sonora, México. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología. México D.F. pp 57-88.

Vergaray G., C. Méndez, H. Morante, R. Gamboa, F. Fernández. 2011. Calidad microbiana del agua de playas de lima y su relación con focos de contaminación. Rev. Inst. Investig. Fac. Minas Metal Cienc. Geog. 14 (27):73-79.

Verhougstraete, M. P., K. Pogreba-Brown, K. A. Reynolds, C. Conde-Lamparelli, M. I. Zanolli-Sato, T. J. Wade, J. N. S. Eisenberg. 2020. A critical analysis of recreational water guidelines developed from temperate climate data and applied to the tropics. Water Res. 170:115294.

Vertex 42. 2016. Macro para Excel cajas y bigotes [internet]. C 2009-2018. México: Vertex42. [Citado el 15 de diciembre del 2016] de: <http://www.vertex42.com/ExcelTemplates/box-whisker-plot.html/>.

Whitman, R., V. Harwood, T. Edge, M. Nervers, M. Byappanahalli, K. Vijayavel, J. Brandao, M. Sadowsky, E. Wheeler-Alm, A. Crowe, D. Ferguson, Z. Ge, E. Halliday, J. Kinzelman, G. Kleinheinz, K. Przybyla-Kelly, C. Staley, Z. Staley, H. Solo-Gabriele. 2014. Microbes in beach sands: integrating environment, ecology and public health. Rev Environ Sci Biotechnol. 13(3):329-368.

Wright, M. E., H. M. Solo-Gabriele, S. Elmir, L. E. Fleming. 2009. Microbial load from animal feces at a recreational beach. Mar Pollut Bull. 58:1649-1656.

WHO (World Health Organization). 2003. Guidelines for safe recreational water environments. Vol. 1 Coastal and fresh waters. Geneva. 219p. [Citado el 15 de diciembre del 2016] de:

[http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/publications/srwe1/en/](http://www.who.int/water_sanitation_health/publications/srwe1/en/).

Yépes, P. V. 2002. Ordenación y gestión del territorio turístico: Las playas. En: Blaquer, D. (ed.) Valencia: Tirant lo Blanch pp 549-579.

Zhang, Q., X. He, T. Yan. 2015. Differential Decay of Wastewater Bacteria and Change of Microbial Communities in Beach Sand and Seawater Microcosms. Environ. Sci. Technol. 49(14):8531-8540.