



CENTRO DE INVESTIGACIONES BIOLÓGICAS  
DEL NOROESTE, S.C.

---

Programa de Estudios de Posgrado

**Evaluación de la calidad sanitaria de cuatro  
playas recreativas en el Noroeste de México**

**T E S I S**

Que para obtener el grado de

**Maestra 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**

**Guaymas, Sonora, Septiembre 2015.**

## ACTA DE LIBERACION DE TESIS

En la Ciudad de La Paz, B. C. S., siendo las 11:30 horas del día 30 del Mes de junio del 2015, se procedió por los abajo firmantes, miembros de la Comisión Revisora de Tesis avalada por la Dirección de Estudios de Posgrado del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S. C., a liberar la Tesis de Grado titulada:

**"Evaluación de la calidad sanitaria de cuatro playas recreativas en el Noroeste de México"**

Presentada por la alumna:

**Claudia Esmeralda León López**

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

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

### LA COMISION REVISORA

  
\_\_\_\_\_  
José Alfredo Arreola Lizárraga  
DIRECTOR DE TESIS

  
\_\_\_\_\_  
Renato Arturo Martínez Salgado  
CO-TUTOR

  
\_\_\_\_\_  
Jaqueline García Hernández  
CO-TUTOR

  
\_\_\_\_\_  
**DRA. ELISA SERVIERE ZARAGOZA,**  
**DIRECTORA DE ESTUDIOS DE POSGRADO Y FORMACIÓN DE RECURSOS HUMANOS**

**Director de Tesis**

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

**Co- Tutor**

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

**Co- Tutor**

Dra. Jacqueline García Hernández  
Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo

**COMITÉ REVISOR DE TESIS**

Dr. José Alfredo Arreola Lizárraga  
Dr. Renato Arturo Mendoza Salgado  
Dra. Jacqueline García Hernández

**JURADO DE EXAMEN DE GRADO**

Dr. José Alfredo Arreola Lizárraga  
Dr. Renato Arturo Mendoza Salgado  
Dra. Jacqueline García Hernández

**Suplente:**

Dr. Jorge Eduardo Chávez Villalba

## Resumen

La afluencia de usuarios a las playas recreativas de México se incrementa en periodos vacacionales y esto representa un factor que puede afectar la calidad sanitaria de las playas generando riesgos a la salud pública. El objetivo de este estudio fue evaluar la calidad sanitaria del agua y de la arena, en los periodos antes, durante y después de Semana Santa en cuatro playas recreativas del Estado de Sonora. Las playas están ubicadas en los municipios de Guaymas (Los Algodones, San Francisco, Miramar) y Empalme (El Cochórit). En cada playa se realizaron cuatro muestreos: 1) antes, 2) durante, 3) 25 días después y 4) 50 días después de Semana Santa 2014. En cada muestreo se registró la afluencia de usuarios y se recolectaron seis muestras de agua y seis de arena para determinar la concentración de bacterias coliformes totales, coliformes fecales y enterococos, mediante la técnica de sustrato cromogénico definido utilizando sustrato Colilert® para coliformes y Enterolert™ para enterococos. En cada playa, las concentraciones de estas bacterias en los periodos antes, durante y después de Semana Santa se compararon mediante un análisis de varianza no paramétrico con una significancia de  $p < 0.05$ . En todas las playas, la similitud entre los periodos de estudio utilizando conjuntamente coliformes totales, coliformes fecales y enterococos, se analizó con el método multivariado de escalamiento multidimensional no-paramétrico (nMDS). Las concentraciones de coliformes y enterococos observadas en el agua de las playas se compararon con los criterios de la Organización Mundial de la Salud para calidad del agua de uso recreativo de contacto primario. Los resultados mostraron que en los periodos de muestreo la afluencia de usuarios a las playas fue de 6368 personas con la siguiente distribución: antes (2 %), durante (95 %) y después (3%) de Semana Santa. Antes de Semana Santa la calidad sanitaria del agua de las playas no representó riesgos a la salud pública, pero en los periodos durante y después de Semana Santa, el agua de las cuatro playas resultó no apta para el desarrollo de actividades recreativas de contacto primario. El mismo patrón fue observado en la arena. Se concluye que el incremento de la afluencia de usuarios a las playas en Semana Santa afecta negativamente su calidad sanitaria y se recomienda implementar acciones para prevenir riesgos a la salud pública.

**Palabras claves:** Coliformes, Enterococos, Calidad sanitaria, Playas recreativas.

Vo.Bo. Director de Tesis:



Dr. José Alfredo Arreola Lizárraga.

## ASSESSMENT OF SANITARY QUALITY FROM FOUR RECREATIONAL BEACHES AT NORTHWESTERN MEXICO

### **Abstract**

The inflow of users to recreational beaches of Mexico increases during holiday periods and this is a factor that can affect the health quality of the beaches creating risks to public health. The objective of this study was to assess the quality of water and sand, in the periods before, during and after Easter in four recreational beaches of Sonora. The beaches are located in the municipalities of Guaymas (Los Algodones, San Francisco, Miramar) and Empalme (The Cochorit). In every beach four samplings were carried out: 1) before, 2) during 3) 25 days after and 4) 50 days after Easter 2014. In each sampling the number of users was recorded, six water and six sand samples were collected to determine the concentration of total coliforms, fecal coliforms and enterococci by chromogenic substrate technique defined using Colilert® substrate Enterolert™ coliform and enterococci. At each beach, the concentrations of these bacteria in the periods before, during and after Easter were compared using nonparametric analysis of variance with a significance of  $p < 0.05$ . In all the beaches, the similarity between the periods of study jointly using total coliforms, fecal coliforms and enterococci, was analyzed with multivariate nonparametric method of multidimensional scaling (nMDS). The concentrations of coliform and enterococci observed in beach water were compared with the criteria of the World Health Organization for water quality primary contact recreational use. The results showed that in the sampling periods the inflow of users to the beaches were of 6368 people with the following distribution: before (2%), during (95%) and after (3%) of Easter. Before Easter the sanitary quality of beach water did not represent risks to public health, but in periods during and after Easter, the water of the four beaches was not suitable for the development of primary contact recreation. The same pattern was observed in the sand. It is concluded that the increase in the number of users to the beaches at Easter negatively affects their health quality and is recommended to implement actions to prevent risks to public health.

**Keywords:** Coliform, enterococci, sanitary quality, recreational beaches.

## DEDICATORIA

*“A mis padres que me dieron la vida y siempre me dan un buen consejo”*

*“A mi esposo Gerardo que siempre me ha apoyado de manera incondicional”.*

*“A Jade que es el motor de mi vida y siempre tiene una sonrisa para mamá”*

*“Los grandes logros no son hechos por la fuerza si no por la perseverancia”*

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios por prestarme vida y salud, y permitirme obtener un logro más en la vida.

A mis padres María Enriqueta López Meza y Víctor Alonso León Valenzuela por permitir mi formación, por aconsejarme y siempre tener la palabra de aliento cuando algo no salía bien. A ellos por siempre motivarme a seguir adelante, por enseñarme a que en esta vida todo requiere un esfuerzo. A mis hermanas Cinthia Daniela y María del Sol León López, que tras cada discusión me enseñaban a tolerar y comprender.

A mi esposo Gerardo Cota Fuentes por estar a mi lado, por desear siempre mi bien, por cuidarme y por darme amor y cariño. Por brindarme ese apoyo necesario.

A mi hija Jade Esmeralda Cota León (toda una piedra preciosa como su nombre) que siempre en la mañana se levanta con una sonrisa para mamá, que es el reflejo de la felicidad, porque hasta en los peores momentos ella siempre es feliz.

A mis suegros Maria Francisca Fuentes Orduño y Juan Antonio Cota Trasviña por apoyarme incondicionalmente y cuidar a Jade mientras yo estudiaba.

A mis maestros José Alfredo Arreola Lizárraga, Jorge Eduardo Chávez Villalba, Eugenio Alberto Aragón Noriega, Maria del Refugio López Tapia, Ricardo García Morales, María Sara Burrola Sánchez que compartieron sus conocimientos conmigo.

A mis amigos Edith, Vero, Mayra, Michelle, Gisela, Fabiola, Pablo, Erick, Demetrio, Jesús, Hector y Javier que me apoyaron y me brindaron su amistad.

A mi director de tesis Dr. José Alfredo Arreola Lizárraga que me aconsejó y me apoyó durante toda mi tesis, que me abrió las puertas en el CIBNOR S.C. para realizar la maestría.

A mi comité tutorial Dra. Jacqueline García Hernández y Dr. Renato Arturo Mendoza Salgado que me apoyaron con la revisión de mi tesis dándome buenos consejos y comentarios apropiados para la presentación de mi examen profesional.

A la M. C. María del Refugio López Tapia responsable del Laboratorio de calidad del agua y sedimentos donde realicé los análisis que sirvieron para mi tesis.

M.C. Edgar Alcántara Razo e Ing. David Urías Laborín por brindarme apoyo en la elaboración de los mapas que utilicé en mi tesis.

Al Ing. Andrés Hernández Ibarra, por el trabajo de campo realizado para la obtención de los datos.

Al CENTRO DE INVESTIGACIONES BIOLÓGICAS DEL NOROESTE, S.C. por permitirme realizar mi maestría. A sus trabajadores por hacerme agradable esta estancia, sabiendo disfrutar cada momento.

A CONACYT por otorgarme la beca 565434 y la beca mixta 290935.



## CONTENIDO

<i>Resumen</i> .....	<i>i</i>
<i>Abstract</i> .....	<i>ii</i>
<i>Dedicatoria</i> .....	<i>iii</i>
<i>Agradecimientos</i> .....	<i>iv</i>
<i>Contenido</i> .....	<i>v</i>
<i>Lista de figuras</i> .....	<i>vi</i>
<i>Lista de tablas</i> .....	<i>vi</i>
I. INTRODUCCIÓN .....	1
II. ANTECEDENTES .....	5
III. HIPOTESIS .....	15
IV. OBJETIVOS.....	16
4.1. Objetivo General .....	16
4.2. Objetivos específicos .....	16
V. JUSTIFICACIÓN.....	17
VI. ÁREA DE ESTUDIO .....	18
VII. MATERIAL Y MÉTODOS .....	19
7.1 Trabajo de campo .....	19
7.2 Trabajo de laboratorio .....	21
7.3 Trabajo de gabinete .....	25
VIII. RESULTADOS .....	27
8.1 Afluencia de usuarios .....	27
8.2 Parametros fisicoquímicos .....	28
8.3 Coliformes totales.....	30
8.4 Coliformes fecales.....	36
8.5 Enterococos .....	42
8.6 Similitud de calidad sanitaria.....	49
IX. DISCUSIÓN .....	50
X. CONCLUSIONES .....	56
XI. BIBLIOGRAFÍA.....	57

**LISTA DE FIGURAS**

Figura 1 .....	18
Figura 2.....	21
Figura 3 .....	31
Figura 4.....	33
Figura 5 .....	35
Figura 6.....	37
Figura 7 .....	39
Figura 8.....	41
Figura 9 .....	44
Figura 10.....	46
Figura 11 .....	48
Figura 12 .....	49

**LISTA DE TABLAS**

Tabla I.....	23
Tabla II.....	24
Tabla III.....	25
Tabla IV.....	27
Tabla V.....	29

## I. INTRODUCCIÓN

México es un país con una situación geográfica muy diversa donde se conjuntan diferentes climas y áreas biogeográficas que dan origen a una gran variedad de hábitat, entre los que destacan los ambientes costeros presentes a lo largo de aproximadamente 11,500 km de franja litoral, influenciados por aguas del Océano Pacífico, Golfo de México y Mar Caribe. En ellos se observan playas arenosas, playas rocosas, bahías, estuarios, ensenadas, zonas de manglar, praderas de pastos marinos, humedales y arrecifes de coral (Lara- Lara *et al.*, 2008). En particular, México cuenta con 259 playas recreativas con destinos turísticos (SEMARNAT, 2006). Las playas comprenden aproximadamente el 40% de las costas del mundo y juegan un papel ecológico y económico sumamente importante, por lo que es imprescindible conocer su estado de salud.

La playa es definida por la norma mexicana que establece los requisitos y especificaciones de sustentabilidad de calidad de playas NMX-AA-120-SCFI (SEMARNAT, 2006) como la unidad geomorfológica conformada por la acumulación de sedimentos no consolidados de distintos tipos y cuyos límites se establecerán, considerando límite inferior y límite superior, el límite inferior: se establecerá a una distancia de 200 metros medidos a partir del límite hacia el mar de la zona federal marítimo terrestre, en caso de no existir dicho límite, la medición se considerará perpendicularmente desde la proyección vertical de la línea de pleamar hacia el mar; el límite superior: se establecerá por la presencia de algún tipo de construcciones cimentadas, presencia de vegetación permanente, presencia del segundo cordón de dunas o presencia de cantiles costeros.

Otras definiciones de playa son: (1) acumulación de sedimento no consolidado limitada por la marea baja de lado del mar y por el límite que produce la acción del oleaje de tormenta de lado de la tierra (Davis, 1982); (2) unidades geomorfológicas conformadas por la acumulación de sedimentos no consolidados, están delimitadas 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; en ellas interaccionan el aire, el agua y la arena en un ambiente muy dinámico (Komar, 1998).

Las playas tienen funciones ecológicas tales como la protección, anidación, alimentación y reproducción de distintas especies marinas; también ofrecen servicios ecosistémicos a la sociedad tales como la recreación, protección contra eventos de tormenta, explotación de arena, minerales o materiales pétreos; pero es importante tener en consideración que las playas son ecosistemas ecológicamente muy sensibles a cambios tanto de origen natural como antropogénico (Defeo, 2008; Schlacher *et al.*, 2008). En la actualidad, el valor más representativo de las playas es el de recreación debido a que genera empleos y divisas mediante el turismo, pero las consecuencias adversas potenciales asociadas a esta actividad económica son: disturbios, modificación de hábitat y contaminación (Enríquez-Hernández, 2003).

La afluencia de turistas nacionales e internacionales a las playas recreativas de México se está incrementando y se requiere implementar métodos que permitan conocer el estado de las playas del litoral para evitar su degradación y mantener los servicios que se derivan de estos ecosistemas (COFEPRIS, 2013). La exposición de la población a aguas marinas contaminadas en las playas, se estima que producen 120 millones de casos de trastornos gastrointestinales y 50 millones de casos de enfermedades respiratorias por año (Pinto *et al.*, 2012).

Derivado de estos riesgos y considerando que en la mayoría de las playas de México existen factores que afectan la calidad del agua, como drenajes pluviales, descargas de aguas residuales tratadas y no tratadas, y asentamientos irregulares que no cuentan con infraestructura de saneamiento y alcantarillado, así como la gran afluencia de bañistas en periodos vacacionales es importante tener una vigilancia en la calidad del agua de las playas (COFEPRIS, 2013). Sin embargo, la calidad de la arena de la playa también debe tomarse en cuenta, ya que la arena provee un hábitat ideal para un gran número de microorganismos debido a

factores físicos como la disponibilidad de agua, protección contra la insolación y factores biológicos como la competencia, depredación, formación de biopelículas y disponibilidad de nutrientes (Whitman *et al.*, 2014); debido a esto se han observado elevadas concentraciones de bacterias indicadoras fecales (FIB), así como otros microorganismos patógenos en la arena (Pinto *et al.*, 2012).

La evaluación de la calidad del agua en playas se realiza con base en indicadores bacterianos y los usos actualmente corresponden a: 1) Coliformes Totales (bacilos gran negativos, crecen a 35°C después de 24 horas) *Escherichia* spp., *Klebsiella* spp., *Shigella* spp., *Salmonella* spp. y *Yersinia* spp. 2) Coliformes fecales (crecen a 45°C después de 48 horas) son bacterias incluidas en el grupo de coliformes totales, tales como *Escherichia coli* (*E. coli*) estas pueden adaptar su crecimiento a temperaturas intestinales. 3) Enterococos (cocos gran positivos, crecen a 41°C después de 24 horas) son especies de bacterias tales como *Enterococcus faecalis*, *Clostridium perfringens* (bacterias anaerobias, formadoras de esporas, crecen a 45°C después de 24 horas) (Griffin *et al.*, 2001).

El indicador bacteriológico más eficiente para evaluar la calidad del agua de mar para uso recreativo de contacto primario son los enterococos fecales, debido a que resisten condiciones del agua de mar, el grupo de *Enterococcus faecalis* es un subgrupo de los estreptococos fecales y son diferenciados de otros estreptococos por su habilidad para crecer en 6.5 % de cloruro de sodio, pH de 9.6 y entre 10 y 45°C, además de estar relacionado directamente con enfermedades como gastroenteritis, respiratorias, conjuntivitis y dermatitis, entre otras (COFEPRIS, 2013).

También, los coliformes fecales son buenos indicadores debido a las ventajas que presentan, entre ellas se pueden mencionar: (1) se consideran que niveles bajos de coliformes fecales son buenos indicadores de ausencia de organismos patógenos, (2) su evaluación es relativamente simple y directa, (3) su concentración en aguas residuales (unos 100 millones/100 mililitros) es más alta

que la de patógenos fecales, (4) no se multiplican fuera del tracto intestinal de animales de sangre caliente y (5) su presencia en sistemas acuáticos es evidencia de contaminación de origen fecal (Cortez–Lara, 2003).

En México el Programa de Playas Limpias tiene la finalidad de promover acciones orientadas a la protección y conservación de ecosistemas costeros y el cuidado de la salud pública a través de la evaluación de las condiciones sanitarias de las playas del país, el objetivo de este programa es promover el saneamiento de las playas y de las cuencas, subcuencas, barrancas, acuíferos y cuerpos receptores de aguas asociados a las mismas; así como prevenir y corregir la contaminación para proteger y preservar las playas mexicanas, respetando la ecología nativa y elevando la calidad y el nivel de vida de la población local y del turismo y la competitividad de las playas. (CONAGUA, 2007). Actualmente el Programa Playas Limpias incluye aproximadamente 164 km de los 11, 122 km de línea costera del territorio mexicano, que corresponde a 237 playas con 325 sitios de muestreo en 50 destinos turísticos de los 17 estados costeros monitoreados por las autoridades sanitarias Estatales en coadyuvancia con la Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios (CONAGUA, 2011a).

En el estado de Sonora el programa de playas limpias tiene contemplado 5 destinos turísticos Bahía de Kino, San Luis, Puerto Peñasco, Huatabampo y Guaymas, dentro de las playas recreativas consideradas en este último están: Miramar, San Francisco, Los Algodones y Piedras Pintas.

Esta tesis aborda el estudio de la calidad sanitaria de playas recreativas “Los Algodones”, “San Francisco”, “Miramar” y “El Cochórit”, en Guaymas y Empalme, Sonora.

## II. ANTECEDENTES

La Organización Mundial de la Salud (OMS) ha desarrollado una guía que titula “Directrices para ambientes seguros de aguas recreativas” Vol. 1 Aguas costeras y dulces, en donde se incluyen una serie de documentos normativos (Directrices) como la Guía para la calidad del agua potable y las directrices para el uso seguro de aguas residuales excretadas en la agricultura y acuicultura, cuyo objetivo es proporcionar las bases para el establecimiento de normas (OMS, 2003).

El monitoreo de la calidad del agua es un factor fundamental para la toma de decisiones correctas y en tiempo, que permitan la conservación del recurso hídrico (De la Lanza- Espino *et al.*, 2000). Los baños en el mar, así como los deportes acuáticos y playeros, pueden ser un riesgo a la salud pública si el agua de playas recreativas presenta condiciones insalubres. Aunque son muchas las enfermedades en las que el agua participa como mecanismo de transmisión, existe un grupo de infecciones denominadas gastrointestinales o de transmisión fecohídrica, en las que el agua es el principal mecanismo responsable. Todos los agentes que se eliminan por las heces y la orina de enfermos y portadores pueden llegar al agua en cantidades suficientes como para producir infecciones hídricas (fiebre tifoidea, disentería bacilar y amebiana, cólera, hepatitis, etc.) (Molina-López *et al.*, 2014).

La contaminación puede ser ocasionada principalmente por el vertido de aguas residuales no tratadas o parcialmente tratadas, cursos de agua contaminada provenientes de la lluvia o de subsuelo, descarga de ríos con agua contaminada y defecación de los bañistas directamente en el agua de mar (Vergaray *et al.*, 2011). En México, se estima que el 58 % de las aguas residuales generadas por los centros urbanos y el 81 % generadas por las industrias en el país son vertidas sin tratamiento o con insuficiente tratamiento a ríos y mares (CONAGUA, 2011b) y sobre esto una revisión exhaustiva de las fuentes de contaminación en cada una

de las playas recreativas del país es un asunto clave para orientar la toma de decisiones y acciones para su control.

A nivel mundial se han generado diversas contribuciones científicas que han abordado la problemática sanitaria del agua en playas recreativas aportando evidencia de la condición sanitaria del agua mediante indicadores biológicos como lo son las bacterias fecales, en los que destacan trabajos como el realizado por Noble *et al.* (2003) donde estudiaron la relación entre los indicadores bacterianos y el efecto que la modificación de las normas tendría en la acción regulatoria de aguas recreativas, a lo largo de la costa sur de California de Santa Barbara en San Diego. Se realizaron dos campañas de muestreo durante el periodo seco y una después de una tormenta, donde se tomaron muestras en más de 200 sitios de manera aleatoria. Se midieron los tres indicadores bacterianos, los resultados fueron comparados con los estándares establecidos para una muestra simple (coliformes totales >10000; coliformes fecales >400 y enterococos >104 NMP o UFC/100 ml ), con esto observaron que esta sustitución da lugar a un aumento de 5 veces los fracasos de enterococos con el estándar (es decir, enterococos >104 NMP o UFC/100 ml) para tiempo seco y el doble para tiempo húmedo; así también se observó que habrá un aumento de 8 veces si se aplican los 3 estándares en lugar de 1. Esto tiene fuertes implicaciones para los aumentos en el cierre de playas o restricción de estas.

En su informe Shibata *et al.* (2004) muestran la evaluación de la calidad microbiológica del agua en dos playas en el condado de Miami-Dade Florida, mediante indicadores microbiológicos para la identificación de posibles fuentes de contaminación, los resultados indicaron que la calidad del agua de la playa Hobie con frecuencia excede los niveles de referencia para la mayoría de los indicadores, a excepción de coliformes fecales; las concentraciones de microbios no cambiaron significativamente entre temporadas a pesar de que los parámetros fisicoquímicos si varían significativamente entre los periodos de muestreo. Las concentraciones más elevadas se presentaron durante marea alta, las arenas de



playa dentro de la zona de lavado dieron positivo para todos los microbios indicadores, lo que sugiere que esta zona puede servir como la fuente de contaminación que puede provenir de humanos, animales o posiblemente por la supervivencia y el nuevo crecimiento de microbios debido a las condiciones ambientales.

En el estudio de Ramos-Ortega *et al.* (2008) realizaron un análisis de contaminación microbiológica y sus principales fuentes de contaminación en la Bahía de Santa Marta, en Colombia; se colectaron muestras de agua en 11 estaciones y 2 niveles de profundidad. En la época de mayor precipitación se encontraron altos valores de coliformes totales y fecales, en los dos niveles de profundidad, presentándose una condición similar para la época seca, también se determinó que la bahía presenta un grado de contaminación por lo tanto no es apta para actividades de contacto primario. Los valores altos de contaminación que se registraron se encuentran asociados a la proximidad que tiene la bahía con zonas urbanas.

En el análisis microbiológico del agua de Vergaray *et al.* (2011) para 21 playas de Lima y la detección de focos de contaminación con heces humanas; califican al agua del 33.33% de las playas como inaceptables si se utiliza como indicadores de contaminación fecal a coliformes totales y fecales, si se incluye (*E. coli*) aumenta a un 47.62% y si se incluye a *Enterococcus* un 66.66%. Se demostró la existencia de descarga de desagüe doméstico en todas las playas consideradas como inaceptable.

En un estudio realizado en la playa Teluk Kemang de Malaysia por Mangala *et al.* (2013) determinaron la concentración de coliformes totales y *Escherichia coli* para relacionarlos con los parámetros fisicoquímicos, incorporando también los síntomas de salud percibidas entre los visitantes de las playas. Se seleccionaron 8 puntos de muestreo en donde se observaron entre 20 y 1,940 UFC/100 ml de coliformes totales y entre 0 y 90 UFC/100 ml de *E. coli*, también observaron

relaciones significativas entre los indicadores biológicos y temperatura, pH y potencial redox, en los síntomas reportados por los usuarios predominaron casos de la piel y ojos.

También, se han realizado esfuerzos para conocer cuáles son los mejores indicadores de la calidad del agua en sitios con contaminación de origen fecal. Griffin *et al.* (2001) realizaron una revisión de los indicadores en la calidad microbiológica y concluyeron que dada las limitaciones de los indicadores empleados en la actualidad, las agencias reguladoras y los investigadores deben buscar indicadores más certeros que protejan la salud pública de las aguas costeras, evaluándolas a largo plazo para poder comprender la introducción, transporte y supervivencia de los indicadores o patógenos.

Se han desarrollado trabajos para determinar la calidad microbiológica utilizando indicadores virales y marcadores bacteriológicos como los elaborados por Ibarluzea *et al.* (2007) quienes realizaron un monitoreo de la calidad del agua para bañistas en 15 playas de España con distintos grados de contaminación, donde evaluaron la relación entre los indicadores bacterianos y virales. La relación entre los colifagos somáticos (Virus) y *E. coli* (bacterias) indica que a niveles bajos de contaminación bacteriana (*E. coli* <100 NMP 100ml<sup>-1</sup>) los virus superan en número de bacterias; mas sin embargo a niveles de contaminación alta (*E. coli* >100 NMP 100 ml<sup>-1</sup>) el número de virus es menor que el de bacterias. Con esto se pudo observar que aunque no exista una contaminación bacteriana es muy probable que si exista una contaminación por virus.

En la investigación de Wong *et al.* (2009) en donde realizaron un seguimiento en dos playas del Lago Michigan en la temporada de natación del 2004 de virus entéricos infecciosos por cultivo celular y reacción en cadena de la polimerasa (PCR) integrada, basado en la proteína superficial enterocócica. Los resultados demostraron que el riesgo diario de adquirir una infección viral en cualquiera de las playas tuvo una variación de 0.2-2.4/1000 nadadores utilizando un modelo de

evaluación de riesgos microbiológicos cuantitativo, por lo tanto las playas recreativas del Lago Michigan están siendo afectadas por contaminación fecal humana.

Estudios utilizando múltiples métodos de seguimiento de vectores de contaminación a playas como análisis microbiológicos, análisis de resistencia a antibióticos y fluimetría. Dickerson *et al.* (2007) realizaron un seguimiento a las fuentes de contaminación, con métodos de resistencia a antibióticos y fluimetría en el verano del 2004 para determinar el origen de la contaminación fecal en dos playas públicas en Newport News Virginia. Ambos métodos detectaron contaminación considerable de origen humano. Las investigaciones realizadas por los funcionarios municipales llevaron a la detección fluorométrica y posterior reparación de los problemas estructurales de aguas residuales y playas. El éxito de estos esfuerzos se confirmó durante el verano del 2005.

En un estudio en Japón, por Furukawa *et al.* (2010), se demostró que el origen de la contaminación fecal mediante un gel de electroforesis de campo pulsado en el estudio del medio ambiente acuático en una playa de Aoshima, utilizando a *Enterococcus faecium* como indicador y donde realizaron un aislamiento del indicador en cada una de las muestras recolectadas, una similitud entre las bacterias aisladas en la playa Aoshima y las cepas aisladas en el Río Oyodo; sugiriendo de este modo, que el río es una fuente de contaminación fecal para la playa Aoshima, en esta investigación se concluyó que el análisis del gel de electroforesis de campo pulsado usando enterococos es una herramienta potencial para el seguimiento de las fuentes de contaminación, que puede ser aplicado al estudio del ambiente costero.

Contribuciones que asocian indicadores de calidad del agua con el riesgo de enfermedades en playas con fuentes no puntuales de contaminación como el estudio de Colford *et al.* (2007) quienes mostraron la utilidad de los indicadores bacterianos con fuentes no puntuales predominantes, realizando un estudio en

donde midieron la salud de referencia de 8,797 bañistas en el momento de exposición y dos semanas después; además analizaron muestras de agua mediante indicadores bacterianos. Sus resultados aportaron evidencia de que la diarrea e incidencia de erupciones en la piel son los síntomas que se incrementan en los usuarios con respecto a los no nadadores, las enfermedades no se asociaron con algún indicador que tradicionalmente se utilizan para vigilar las playas. Por lo tanto sugieren la necesidad de buscar indicadores alternativos de la calidad del agua para aquellos sitios en donde predominan las fuentes no puntuales.

En el estudio de Li-Ming y Zhen-Li (2008) que realizaron en dos playas de San Diego, California, para abordar temas críticos en calidad del agua, tales como el tiempo en que tarda el procesamiento de las muestras, ya que cuando los resultados son emitidos (18-96 horas) después de la realización del muestreo, es posible que en la playa ya hayan disminuido sus niveles de contaminación. Observaron variación temporal y espacial en las concentraciones de indicadores bacteriológicos fecales (FIB) a lo largo de las dos playas, la escorrentía de las cuencas que desembocan en las playas adyacentes también generó un impacto durante las primeras 24-48 horas después de un evento de lluvia, afectando incluso hasta 90 m de distancia del canal hacia el norte o sur a lo largo de la costa. A pesar de la variabilidad temporal y espacial de las concentraciones de FIB a lo largo de una costa, los modelos basados en redes neuronales artificiales fueron capaces de predecir con éxito las concentraciones de la FIB en diferentes playas. Los modelos se basaron en variables como temperatura, conductividad, pH, flujo del canal de agua, lluvia y/o lapso de tiempo después de una tormenta. Con esto modelos se pueden tomar decisiones más significativas y eficaces en el cierre y avisos de la contaminación de una playa.

La evaluación de Wade *et al.* (2010) que realizaron en 3 playas de Estados Unidos con métodos rápidos para mostrar la relación entre enfermedades gastrointestinales e indicadores fecales de la calidad del agua, haciendo

entrevistas a 6,350 bañistas y les pidieron que doce días más tardes les informaran si tenían algunos síntomas. Mostro como resultado la manifestación de enfermedades gastrointestinales en los nadadores asociadas a enterococos detectados por el método de PCR. No siendo estadísticamente significativas para los demás indicadores. Este estudio aporta evidencia de una relación entre enfermedades gastrointestinales y la concentración de bacterias.

La valoración de Griffith *et al.* (2010) de playas del sur de California con bacterias indicadoras fecales no humanas, las playas fueron elegidas por la cercanía a descargas pluviales de las cuencas hidrográficas no desarrolladas. Los resultados mostraron que los umbrales de la calidad del agua en el clima húmedo son 10 veces mayores que en el clima seco, además se observó un incremento después de 24 horas de lluvias y un descenso constante en los días sucesivos.

En un estudio de valoración del riesgo de contaminación de aguas recreativas y vigilancia sanitaria de playas, Molina-López *et al.* (2014), con el objetivo de prever focos de infecciones que produzcan epidemias, ya que el agua de mar contaminada puede provocar enfermedades gastrointestinales o de transmisión fecohídrica.

En la evaluación de parámetros microbiológicos, físicos y químicos en las playas de Bocagrande y Marbella, por Yepes-Mayorga (2004), durante los meses de febrero-abril del 2004, que corresponden a la época de verano para Colombia. Los resultados mostraron que las aguas de recreo de las playas evaluadas presentan mayores niveles de contaminación por coliformes totales, seguidos de *E. coli*, y finalmente Enterococos, en orden descendente de concentración. Sugieren realizar análisis microbiológicos en áreas de playa rural, cercana a Cartagena, para determinar si los resultados aquí obtenidos serían concentraciones base para las aguas de recreo de las playas de esta zona geográfica. Consideran importante conocer fotografías satelitales del área de estudio para evaluar la posible

correlación del comportamiento de las corrientes con los niveles de contaminación microbiológica obtenidos.

Los programas de monitoreo para conocer la calidad microbiológica de las playas contemplan la calidad del agua pero generalmente no consideran la contaminación potencial en la arena, y esto puede representar un riesgo para la salud pública. Maris-González y Emiliani (2005) realizaron un estudio para probar la hipótesis de que las arenas de las playas pueden tener un grado importante de contaminación y que su zona húmeda puede estar actuando como una reserva potencial de bacterias indicadoras de contaminación fecal. Los resultados de este estudio demostraron que la concentración media de *E. coli* es significativamente diferente entre el agua y la arena húmeda ( $P=0.0126$ ) siendo más alta en arena.

En el examen de Bonilla *et al.* (2007) se observó que la prevalencia de organismos indicadores fecales en la arena de la playa que es afectada por la marea (arena húmeda) y la zona de arena que no es afectada por la marea (arena seca) y compararon los resultados con los obtenidos en el agua de la misma playa, además evaluaron los posibles riesgos para la salud asociados al uso y exposición a la arena mediante un estudio epidemiológico piloto, los resultados proporcionaron evidencia preliminar de que el tiempo de exposición al agua y a la arena están asociados con un incremento de enfermedades gastrointestinales.

La investigación de Pinto *et al.* (2012) donde midieron los niveles de indicadores bacteriológicos fecales en tres playas de la Bahía Baixada Santista (South Coast) en Sao Paulo Brasil, comúnmente asociados con las enfermedades diarreicas, otros microorganismos responsables de las infecciones de la piel y membranas mucosas, mostraron que las concentraciones de bacterias fecales fueron mayores en la arena seca, intermedios en la arena húmeda y menores en el agua.

En el extenso estudio de Olaczk-Neyman y Jankowska (2001) que duró dos años, observaron que la concentración de bacterias en agua y arena de la playa,

el número total de bacterias mesófilas fue más alto en arena seca, mientras que *E. coli* tuvo mayores concentraciones en el agua y en la arena húmeda. Esto indicó dos fuentes de contaminación microbiológica, la primera fuente es el agua de mar que contiene la bacteria *E. coli* y la segunda es el aire contaminado de la tierra que transmite las bacterias mesófilas. Los altos niveles de contaminación bacteriana indicada por *E. coli* en la arena en la temporada de primavera-verano demuestran que es esencial monitorear las condiciones sanitarias del área durante ese periodo.

En su informe Velonakis *et al.* (2014), presentan el estado actual del efecto de los microorganismos en la playa en la salud pública. Mencionan que estudios epidemiológicos en los EE.UU. revelaron una correlación positiva entre el tiempo de estadía en la playa y la gastroenteritis, por lo tanto concluyen que la calidad microbiológica de la arena en la playa se puede mejorar aumentando el nivel general de higiene, así como mediante el uso de métodos simples, tales como el barrido y la aireación de la arena junto con una supervisión constante de la playa.

En la revisión bibliográfica de Whitman *et al.* (2014) donde ponen interés en la estructura de la comunidad, la ecología, el destino, transporte y las implicaciones de salud pública de los microbios en la arena de playa, recomiendan realizar más estudios en la arena de la playa, ya que ha sido poco estudiada.

En México, se han realizado estudios de la calidad del agua de las playas que son más visitadas por los turistas. Cortez-Lara (2003) evaluó la concentración de bacterias coliformes fecales en playas de Bahía Banderas Jalisco-Nayarit durante los años 2000 y 2002 y observó problemas de contaminación microbiana.

En Ensenada, Baja California, se estudiaron 29 sitios (19 playas y 10 descargas) desde la frontera con Estados Unidos hasta Punta Banda, y se observó que se superaron los estándares de calidad del agua en playas con un 25% en verano y 17% en invierno (Orozco-Borbón *et al.*, 2006).

Una evaluación por Silva-Iñiguez *et al.* (2007) del impacto de la actividad turística en la calidad bacteriológica del agua de mar en la playa Boquita de Miramar, Manzanillo, aportó evidencia que 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. Otro estudio realizado en las 6 playas más importantes de Manzanillo por Silva-Iñiguez *et al.* (2013) para evaluar la calidad estética, bacteriológica y atributos biofísicos de estas playas mostró que la playa San Pedrito tuvo mayor aptitud recreativa y la playa Salagua tuvo menor aptitud recreativa.

Los resultados que mostró Flores-Mejía *et al.* (2012) de la evaluación de la calidad bacteriológica en 3 playas de uso recreativo en Acapulco, Guerrero, varió en tiempo y espacio registrando valores entre 10 y 1600 NMP/100 ml; la calidad bacteriológica de las 3 playas se mantuvieron dentro de los límites permisibles sin riesgo sanitario hasta antes de la época de lluvias (julio a septiembre), pero ésta calidad bacteriológica disminuye hasta no recomendable o de alto riesgo sanitario durante la temporada vacacional de agosto.

En la evaluación de la calidad del agua de las playas recreativas del norte de Tuxpan, Veracruz, realizado, por Galván Mendoza (2013) observó que la máxima contaminación por enterococos fue en verano, durante julio.



### **III. HIPÓTESIS**

El incremento de la afluencia de usuarios durante el periodo vacacional de Semana Santa en las playas recreativas de Guaymas y Empalme, afecta su calidad sanitaria indicada por incrementos, tanto en el agua como en la arena, de bacterias coliformes totales, coliformes fecales y enterococos, alcanzando niveles de riesgo a la salud pública.

## **IV. OBJETIVOS**

### **4.1. Objetivo general.**

Evaluar la calidad sanitaria antes, durante y después de Semana Santa, de las playas recreativas Los Algodones, San Francisco, Miramar y El Cochórit, Sonora, México.

### **4.2. Objetivo específico**

1. Estimar la afluencia de usuarios a las playas en el periodo vacacional de Semana Santa.
2. Determinar la concentración de bacterias coliformes totales, coliformes fecales y enterococos en el agua y la arena de las playas.
3. Comparar la calidad sanitaria del agua y arena de cada playa a través de los periodos de estudio.
4. Conocer la similitud de la calidad sanitaria del agua y de la arena antes, durante y después de Semana Santa, en todas las playas.

## V. JUSTIFICACIÓN

La calidad del agua para uso recreativo en centros turísticos es un factor primordial para garantizar la protección de la salud de los usuarios, estudios en agua marina y playas indican que las enfermedades de las mucosas, de la piel y digestivas asociadas con los bañistas están directamente relacionadas con los niveles de contaminación fecal (COFEPRIS, 2013).

En las playas del Estado de Sonora, el comité de Playas Limpias realiza un monitoreo del agua en las playas previo a los periodos vacacionales de Semana Santa y Verano, pero se carece de conocimiento acerca del efecto de la afluencia de turistas en la calidad sanitaria de las playas y si esto representa riesgos a la salud pública.

Esta tesis contribuirá con una evaluación de la calidad sanitaria de las playas recreativas de los municipios de Guaymas y Empalme, Sonora.

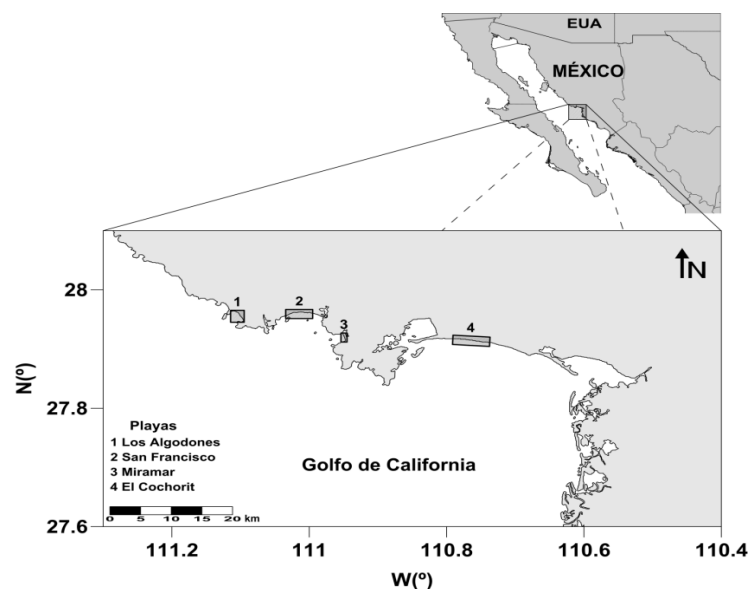
La relevancia científica del estudio estriba en que se aportará evidencia del efecto de la mayor afluencia de usuarios en un corto periodo de tiempo (2 semanas) en la calidad sanitaria de las playas y el potencial riesgo a la salud pública.

La relevancia social es que el conocimiento que será generado podrá ser utilizado por los sectores de gobierno en su toma de decisiones para el uso, preservación y manejo de las playas, desde el aspecto económico las playas son una fuente de ingresos importante en los destinos turísticos, por lo tanto es necesario tener un control sobre la calidad sanitaria de las playas.

Esta tesis podrá ser un documento de juicio, para la toma de decisiones en los aspectos de manejo de las playas y regulación turística.

## VI. ÁREA DE ESTUDIO

Las playas objeto de estudio se encuentran en los municipios de Guaymas y Empalme, Sonora (Fig. 1). En esta región el clima es del tipo BW (h'): muy seco, muy cálido y cálido (García, 1988). En el área de estudio el promedio histórico 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). La playa Los Algodones se encuentra ubicada en la zona de San Carlos Nuevo Guaymas, tiene una longitud aproximada de 4 km con una orientación noroeste-sureste. La playa San Francisco también localizada en San Carlos Nuevo Guaymas, tiene una longitud aproximada de 3.5 km. y una orientación Oeste - Este, limita al Oeste con una formación rocosa y al Este con la boca del Estero del Soldado. La playa Miramar en Guaymas tiene una longitud aproximada de 2 km y una orientación noroeste-sureste. La playa El Cochórit está ubicada en el municipio de Empalme y tiene una longitud aproximada de 3.5 km con una orientación Oeste - Este.



**Figura 1.** Playas de la región Guaymas-Empalme. Playas: (1) Los Algodones, (2) San Francisco, (3) Miramar, (4) El Cochórit.

## VII. MATERIAL Y MÉTODOS

### 7.1 Trabajo de campo.

El muestreo se realizó teniendo como base el periodo vacacional de Semana Santa, debido a que en esta temporada se concentra la mayor afluencia de usuarios a las playas bajo estudio (~130,000) en un corto periodo de tiempo (~15 días), además en esta región es una época del año sin lluvias y la fuente de contaminación bacteriana corresponde exclusivamente a los usuarios.

La estrategia de muestreo consistió en cuatro campañas de muestreo que se realizaron del 2 al 5 de abril (antes de Semana Santa), del 17 al 20 de abril (durante Semana Santa), del 13 al 16 de mayo (25 días después de Semana Santa) y del 10 al 13 de junio (50 días después de Semana Santa 2014). En cada campaña se destinó un día de muestreo para cada playa bajo el siguiente orden: El Cochórit, Miramar, San Francisco y Los Algodones.

En cada campaña se recolectaron cinco muestras de agua, tres muestras de arena seca, dos muestras de arena húmeda y un sitio control para agua y arena seca de la afluencia de turistas. La Fig. 2 muestra los puntos de muestreo para agua, arena seca y arena húmeda.

Los muestreos para agua se realizaron siguiendo los criterios de COFEPRIS, (2013) que consisten en:

- La muestra debe colectarse dentro del horario de uso de la playa, en los sitios donde se realizan actividades recreativas con contacto primario y cuenten con afluencia de bañistas.
- En las playas con extensión mayor a 500 m, se deberá tomar por lo menos una muestra por cada 500 m.

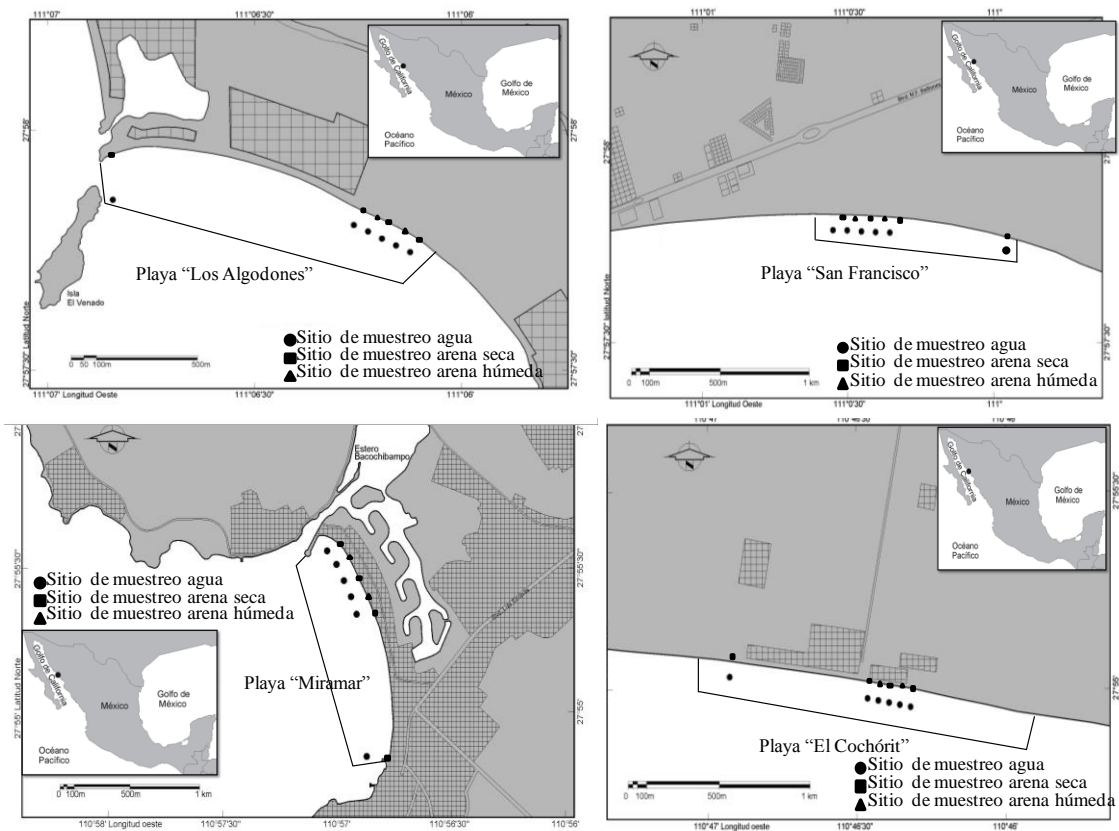
- En las zonas de oleaje tranquilo, las muestras se tomarán en áreas donde la profundidad llegue a 1 m aproximadamente, a contra corriente del flujo del fluido entrante y a 30 cm aproximadamente bajo la superficie del agua.
- En la zona de playa con rompiente cercana a la orilla, pasar la rompiente a una profundidad del agua de 1-1.5 m., el verificador debe colocarse a contracorriente del flujo entrante y tomar la muestra a 30 cm bajo la superficie del agua. Si la pendiente del fondo es pronunciada tomar la muestra en la orilla a una profundidad del agua entre el tobillo y la rodilla.
- Anotar en la hoja de verificación, bitácora o cadena de custodia la identificación de la muestra, hora y temperatura e información relevante de presencia de animales o descargas cercanas al sitio. Llenar los datos de la etiqueta del envase con fecha y hora del muestreo, identificación de la muestra e iniciales del verificador.

Las muestras fueron transportadas en hielo a 4°C.

Adicionalmente, en cada sitio de muestreo se registró la temperatura, salinidad, oxígeno disuelto y pH con una sonda multiparamétrica YSI modelo 556 MPS.

La arena se recolectó en bolsas de plástico herméticas Ziploc y fueron transportadas al laboratorio en hielo para mantenerla a 4°C para su posterior análisis (Pinto *et al.*, 2012; y Maris-Gonzalez y Emiliani, 2005).

Adicionalmente, durante los periodos de muestreo se contabilizó el número de personas que estaban en la playa tanto en el agua como en la arena.



**Figura 2.** Puntos de muestreo y sitio control de las playas: Los Algodones, San Francisco, Miramar y El Cochónit.

## 7.2 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.

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 Maris-Gonzalez y Emiliani, 2005). Y posteriormente fueron analizadas al igual que las muestras de agua con la metodología de Substrato Cromogénico Definido (Enterolert<sup>TM</sup> y Colilert<sup>®</sup>), descrita a continuación:

### Coliformes totales y fecales (Colilert<sup>®</sup>)

Colilert detecta simultáneamente los coliformes totales y *E. coli* en el agua. Se basa en la tecnología de sustrato definido [DST<sup>®</sup>] (Defined Substrate Technology<sup>®</sup>) patentada por IDEXX. Cuando los coliformes totales metabolizan el indicador ONPG de nutrientes de Colilert, la muestra toma una coloración amarilla. Cuando *E. coli* metaboliza el indicador MUG de nutrientes de colilert, la muestra fluoresce. Colilert puede detectar simultáneamente estas bacterias a una concentración de 1 UFC/100ml dentro de las 24 horas, hasta en presencia de 2 millones de bacterias heterótrofas por cada 100 ml.

Procedimiento para presencia-ausencia:

1. añadir el contenido de un paquete a una muestra de 100 ml (50 ml para W050I y W050BI) en un recipiente estéril transparente, no fluorescente.
2. tapar y agitar el recipiente.
3. incubar a  $35^{\circ}\text{C} \pm 0.5^{\circ}\text{C}$  durante 24 horas.
4. leer los resultados de acuerdo con la tabla I de interpretación de resultados

Procedimiento para enumeración Quanti – Tray (WP020I y WP200I solamente).

1. añadir el contenido de un paquete a una muestra de 100 ml de agua, en un recipiente estéril.
2. tapar y agitar el recipiente hasta disolver.
3. verter la mezcla de muestra/reactivo en una Quanty tray/2000 y sellar en un sellador de Quanty Tray de IDEXX.
4. colocar la bandeja sellada en una incubadora a  $35^{\circ}\text{C} \pm 0.5^{\circ}\text{C}$  durante 24 horas.



5. Leer los resultados de acuerdo con la tabla I de interpretación de resultados. Contar el número de pocillos positivos y referirse en el cuadro NMP proporcionado con las bandejas para obtener el número más probable.

Tabla I. Interpretación de resultados para coliformes totales y *E. coli*.

Aspecto	Resultado
Menos amarillo que el comparador	Negativo para coliformes totales y <i>E. Coli</i> .
Amarillo igual o mayor que el comparador	Positivo para coliformes totales.
Amarillo y fluorescencia iguales o mayores que los del comparador	Positivo para <i>E. coli</i> .

Buscar fluorescencia usando la luz UV de 6 vatios, 365 nm a distancia de 5 pulgadas (13 cm) de la muestra, en un entorno oscuro. Apuntar el haz de luz en dirección contraria a los ojos y hacia la muestra.

Los resultados colilert son definitivos a las 24 a 28 horas. Además los positivos para coliformes totales y para *E. coli* observados antes de las 24 horas y los negativos observados después de las 28 horas también son válidos.

### Enterococos (Enterolert™)

Enterolert™ detecta enterococos tales como *E. faecium* y *E. faecalis* en agua de mar. Se basa en la tecnología de sustrato definido [DST®] (Defined Substrate Technology®) patentada por IDEXX. Cuando los enterococos utilizan su enzima  $\beta$ -glucosidasa para metabolizar el indicador de nutriente de Enterolert, 4-metilumbeliferil  $\beta$ -D-glucosida, la muestra fluoresce. Enterolert™ detecta enterococos en una muestra de 1 UFC por 100 ml dentro de 24 horas.

Procedimiento para presencia ausencia:

- añadir el contenido de un paquete a una muestra de 100 ml en un recipiente estéril transparente, no fluorescente.

2. tapar y agitar el recipiente.
3. incubar a  $41^{\circ} \pm 0.5^{\circ}\text{C}$  durante 24 horas.
4. leer los resultados de acuerdo con la tabla II de interpretación de resultados.

#### Procedimiento para enumeración Quanti-Tray®

1. añadir el contenido de un paquete a una muestra de 100 ml de agua, en un recipiente estéril.
2. tapar y agitar el recipiente hasta disolver.
3. verter la mezcla de muestra/reactivo en una Quanti-tray o una Quanti-Tray/2000 y sellar en un sellador de Quanti- Tray de IDEXX.
4. colocar la bandeja sellada en una incubadora a  $41^{\circ} \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ , durante 24 horas.
5. leer los resultados en la tabla II de acuerdo con el cuadro de interpretación de resultados. Contar el número de pocillos positivos y referirse al cuadro MPN proporcionando con las bandejas para obtener el número más probable.

Tabla II. Interpretación de resultados para Enterococos.

Apariencia	Resultado
Ausencia de fluorescencia	Negativo para enterococos
Fluorescencia azul	Positivo para enterococos

Buscar fluorescencia usando la luz UV de 6 vatios, 365 nm a distancia de 5 pulgadas (13 cm) de la muestra, en un entorno oscuro. Apuntar el haz de luz en dirección contraria a los ojos y hacia la muestra.

Los resultados Enterolert™ son definitivos a las 24 a 28 horas. Además los positivos para enterococos observados antes de las 24 horas y los negativos observados después de las 28 horas también son válidos.

### 7.3 Trabajo de gabinete.

#### 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 de salud establecidos por la secretaria de salud que se muestran en la tabla III (OMS 2003). Quien consideró un nivel de hasta 200 NMP enterococos /100 mL para un riesgo estimado de 5 a 10 % para enfermedades gastrointestinales y de 1.9 a 3.9 % para enfermedades respiratorias febriles agudas, de acuerdo a los estudios presentados por la Organización Mundial de la Salud.

Tabla III. Criterios de calidad del agua para uso recreativo de contacto primario (OMS 2003).

Intervalo de Enterococos NMP/100 mL	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

#### Análisis estadístico.

Los datos de calidad de agua y arena entre playas se compararon mediante un análisis de varianza no paramétrico (ANOVA) con una significancia de  $p < 0.05$  y un análisis Post-Hoc Tukey cuando se rechazó la hipótesis nula (todos los periodos son iguales) mediante en software InfoStat versión 2013 (Di Rienzo *et al.* 2013).

Se realizó un análisis de correlación entre la afluencia de turistas y la contaminación para las diferentes campañas de muestreo.

Para determinar si la calidad sanitaria de las playas entre cada periodo estudiado tenían similitud con base en las concentraciones de coliformes fecales, coliformes totales y enterococos, se utilizó el método multivariado de escalamiento multidimensional no-paramétrico (nMDS), para lo cual los datos fueron transformados ( $\log x$ ) y estandarizados. El paquete estadístico utilizado fue PRIMER 6 (Primer-E, Ivybridge, UK).

## VIII. RESULTADOS.

### 8.1 Afluencia de usuarios.

En la tabla VI se presenta la cantidad de usuarios en cada playa durante el periodo de estudio. La mayor afluencia de usuarios ocurrió durante semana santa ~96 % y la playa con mayor afluencia fue Los Algodones ~50 %

Tabla VI. Total de usuarios durante los muestreos en las playas: Los Algodones, San Francisco, Miramar y El Cochórit.

Playas	15 días	Durante	25 días	50 días	Total
	antes		después	después	
	2-5 abril		17-20 abril	13-16 mayo	
<b>Los Algodones</b>	45	3000	20	63	3128
<b>San Francisco</b>	20	1200	10	5	1235
<b>Miramar</b>	15	1500	20	15	1550
<b>El Cochórit</b>	20	400	15	20	455
<b>Total</b>	100	6100	65	103	6368

## **8.2 Parámetros fisicoquímicos.**

La tabla V 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. En todas las playas, los valores de temperatura (~19-31 °C) y salinidad (~30 -37 ups) se incrementaron progresivamente durante el periodo de estudio; las concentraciones de oxígeno disuelto disminuyeron progresivamente. Los valores de pH tuvieron un recorrido de 0.6 entre el máximo y mínimo, lo cual se considera una escasa variación por ser menor a un grado (~7.8 - 8.4).

Tabla V. Valores de parámetros fisicoquímicos del agua de las playas: Los Algodones, San Francisco, Miramar y El Cochórit.

	Los Algodones			San Francisco			Miramar			El Cochórit		
	Min.-Máx.	promedio	DE	Min.-Máx.	promedio	DE	Min.-Máx.	promedio	DE	Min.-Máx.	promedio	DE
<b>Temperatura (°C)</b>	18.0-31.5	24.2	4.8	19.1-31.5	24.1	4.3	19.9-30.4	24.2	4.1	21.1-30.3	25.1	3.4
<b>Salinidad (UPS)</b>	30.3-36.8	34.6	2.4	29.7-36.8	34.5	2.3	30.4-36.9	34.7	2.4	34.1-37.5	36.0	1.1
<b>O.D. (mg L<sup>-1</sup>)</b>	2.9-7.5	5.8	1.6	3.4-7.8	6.1	1.4	5.8-8.1	7.1	0.8	6.0-7.5	6.8	0.5
<b>pH</b>	7.8-8.4	8.1	0.2	7.8-8.5	8.1	0.3	7.4-8.4	8.1	0.3	8.0-8.4	8.2	0.2

### 8.3 Coliformes totales.

#### Agua.

En la playa Los Algodones, la mayor concentración de coliformes totales se observó 25 días después de Semana Santa con valores  $>2400$  NMP/100 ml, y la menor concentración durante Semana Santa ( $<100$  NMP/100 ml); en el punto control se observó la mayor concentración 25 días después de Semana Santa (49 NMP/100 ml). Se presentan diferencias estadísticamente significativas ( $p=0.0064$ ) 25 días después de Semana Santa respecto al resto de los muestreos (fig. 3).

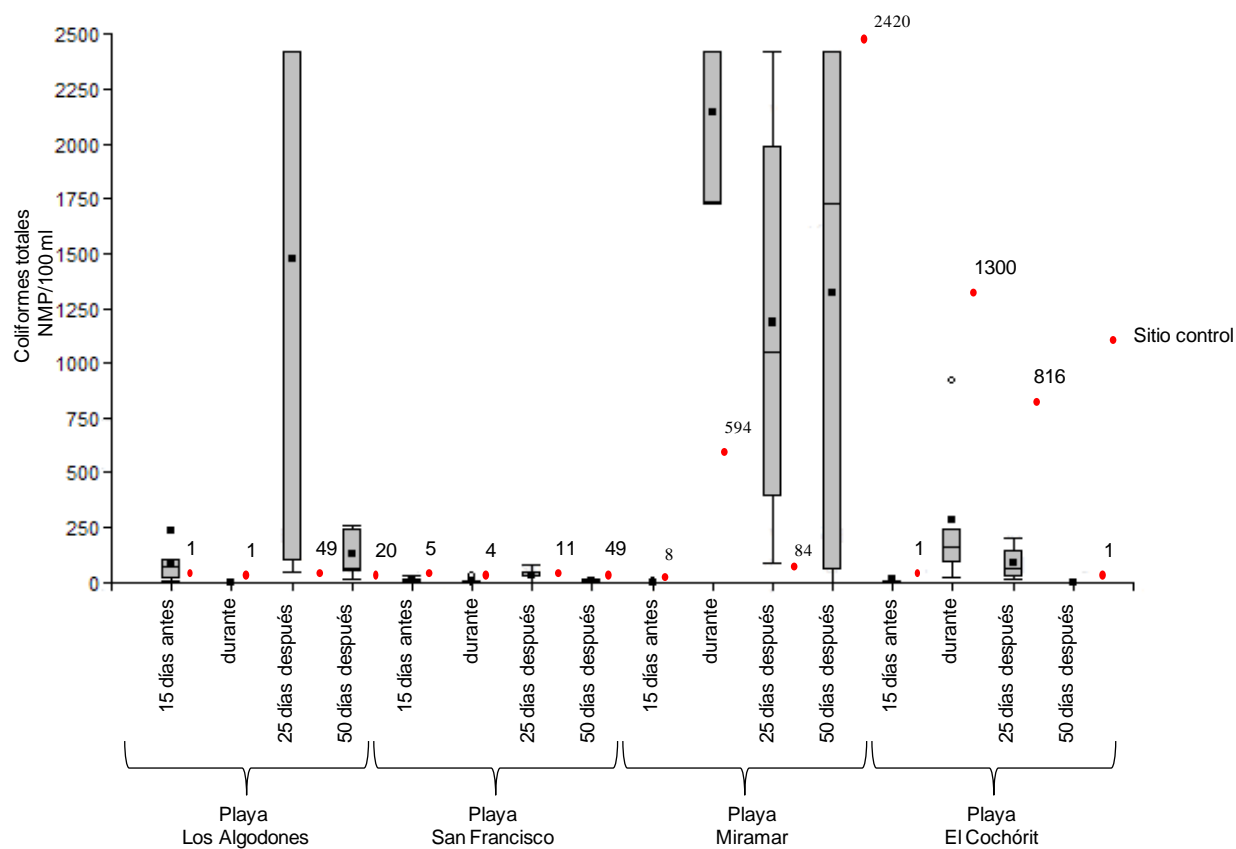
En la playa San Francisco, se observaron concentraciones  $<100$  NMP/100 ml durante los cuatro muestreos; en el punto control la mayor concentración fue de 49 NMP/100 ml 50 días después de Semana Santa. No se observó una diferencia estadísticamente significativa entre los periodos de estudio ( $p=0.0711$ ) (fig. 3).

En la playa Miramar, la menor concentración de coliformes totales ( $<100$  NMP/100 ml) se observó antes de Semana Santa, y durante Semana Santa se observó una concentración  $>2400$  NMP/100ml, que disminuyó progresivamente después de Semana Santa; en el punto control las concentraciones más bajas (8 NMP/100 ml) se observaron antes de Semana Santa y las más altas (2420 NMP/100 ml) 50 días después de Semana Santa. Se observó una diferencia significativa ( $p=0.0064$ ) entre los periodos antes y durante Semana Santa (fig. 3).

En la playa El Cochórit, la mayor concentración promedio ( $>150$  NMP/100 ml) con un valor extremo de 1000 NMP/100 ml se observó durante Semana Santa y las menores concentraciones ( $<150$  NMP/100 ml) antes y 50 días después de Semana Santa; en el punto control se observaron concentraciones de 1 NMP/100 ml antes y 50 días después de Semana Santa, 1300 NMP/100 ml durante Semana Santa y 816 NMP/100 ml 25 días después de Semana Santa.



No se observó una diferencia estadísticamente significativa durante los periodos de estudio ( $p=0.0877$ ) (fig. 3).



**Figura 3.** Concentración de coliformes totales en agua antes, durante y después de Semana Santa 2014 en las playas Los Algodones, San Francisco, Miramar y El Cochórit.

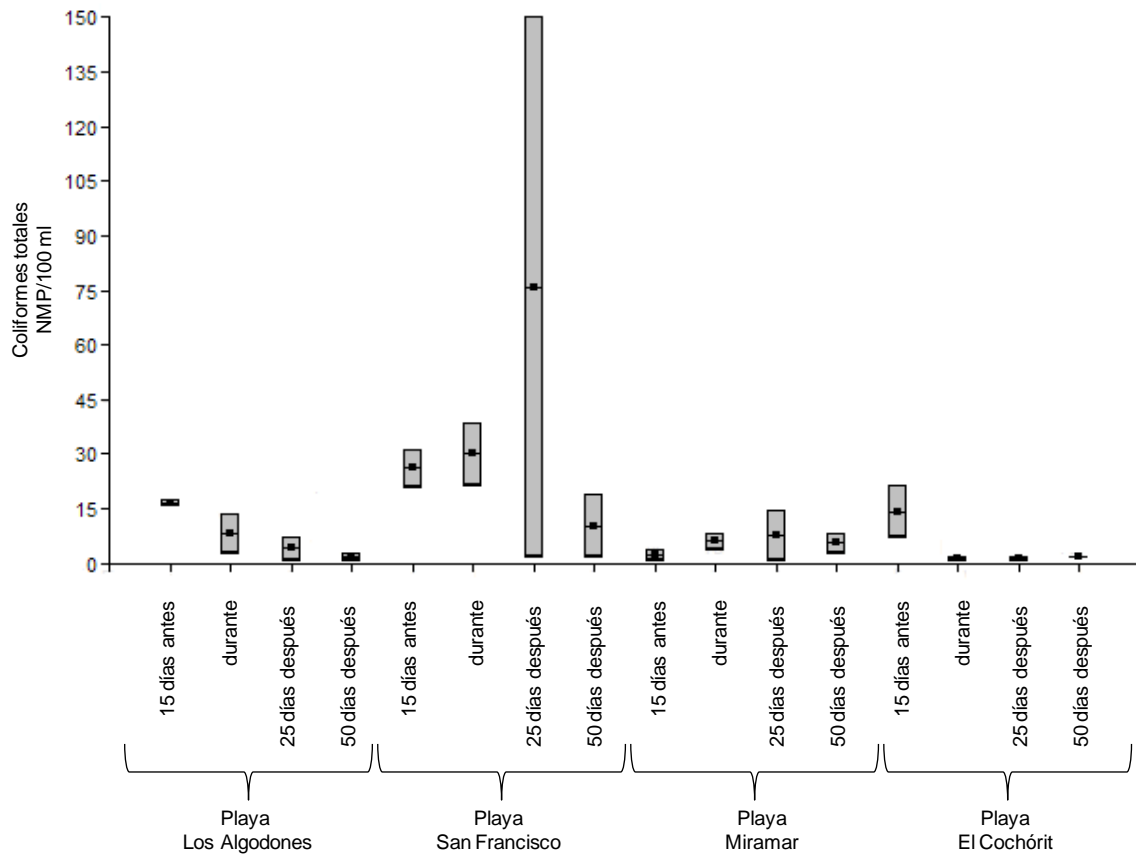
### Arena húmeda.

En la playa Los Algodones, la mayor concentración (>15 NMP/100 ml) de coliformes totales se presentó antes de Semana Santa con una disminución progresiva en el resto de los muestreos. No se observó una diferencia estadísticamente significativa durante los periodos de estudio ( $p=0.0976$ ) (fig. 4).

En la playa San Francisco, la mayor concentración se observó 25 días después de Semana Santa (promedio 75 NMP/100 ml) y la menor concentración se observó 50 días después de Semana Santa (<15 NMP/100 ml). No se observó una diferencia estadísticamente significativa durante los periodos de estudio ( $p=0.6675$ ) (fig. 4).

En la playa Miramar, se observa la menor concentración de coliformes (<7 NMP/100 ml) totales antes de Semana Santa, con un incremento progresivo en los siguientes muestreos observándose la mayor concentración 25 días después de Semana Santa. No se observó una diferencia estadísticamente significativa durante los periodos de estudio ( $p=0.8076$ ) (fig. 4).

En la playa El Cochórit, la mayor concentración se observa antes de Semana Santa (promedio 15 NMP/100 ml), en el resto de los muestreos se observaron concentraciones <5 NMP/100 ml. No se observó una diferencia estadísticamente significativa entre los periodos de estudio ( $p=0.1394$ ) (fig. 4).



**Figura 4.** Concentración de coliformes totales en arena húmeda antes, durante y después de Semana Santa 2014 en las playas Los Algodones, San Francisco, Miramar y El Cochórit.

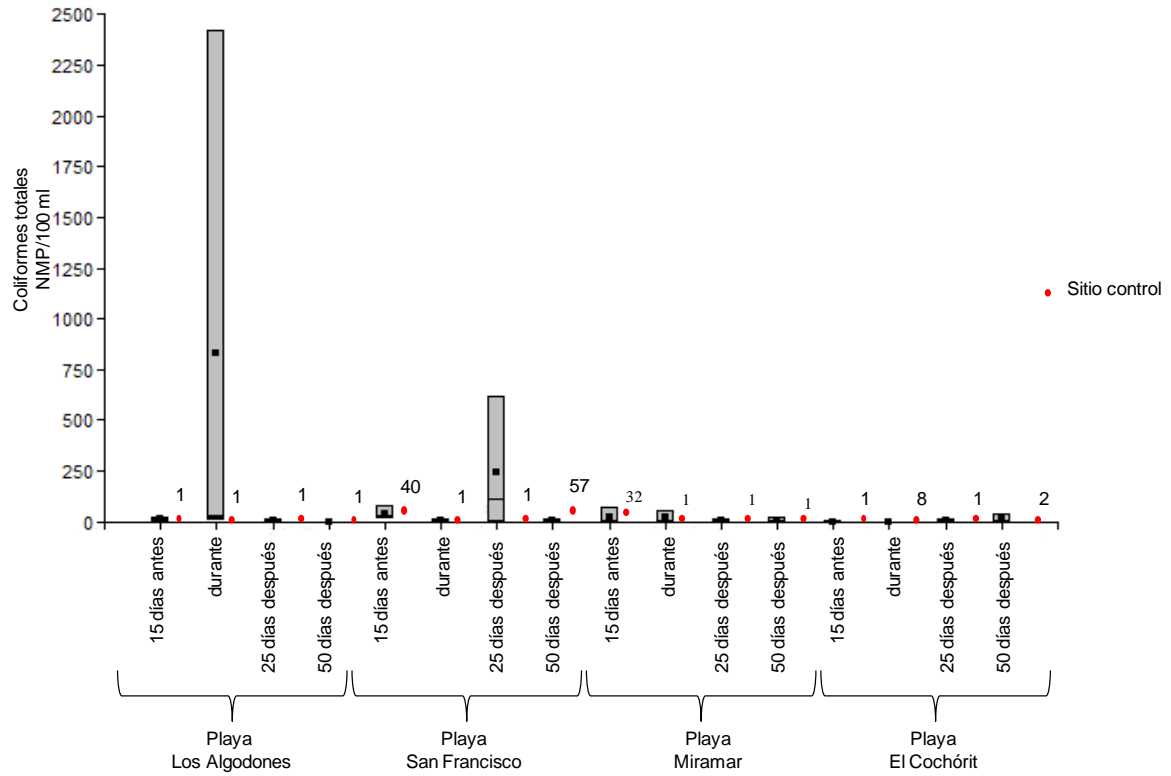
### Arena seca.

En la playa Los Algodones, durante Semana Santa se observó una concentración  $<2400$  NMP/100 ml, en los otros periodos de muestreo se observaron concentraciones de coliformes totales  $<100$  NMP/100 ml; en el punto control se observaron concentraciones de 1 NMP/100 ml durante todos los muestreos. No se observó una diferencia estadísticamente significativa durante los periodos de estudio ( $p=0.4225$ ) (fig. 5).

En la playa San Francisco, en los muestreos antes, durante y 50 días después de Semana Santa se observaron concentraciones  $<100$  NMP/100 ml, 25 días después de Semana Santa la concentración fue  $<700$  NMP/100 ml; en el punto control la mayor concentración fue de 57 NMP/100 ml 50 días después de Semana Santa. No se observó una diferencia estadísticamente significativa durante los periodos de estudio ( $p=0.3042$ ) (fig. 5).

En la playa Miramar, las concentraciones fueron  $<100$  NMP/100 ml en los cuatro muestreos; en el punto control se observaron concentraciones de 32 NMP/100 ml antes de Semana Santa y en los muestreos posteriores de 1 NMP/100 ml. No se observó una diferencia estadísticamente significativa durante los periodos de estudio ( $p=0.7958$ ) (fig. 5).

En la playa El Cochórit, las concentraciones de coliformes totales fueron  $<100$  NMP/100 ml en todos los muestreos; en el punto control se observaron las concentraciones más altas (8 NMP/ 100 ml) durante Semana Santa. No se observó una diferencia estadísticamente significativa durante los periodos de estudio ( $p=0.4832$ ) (fig. 5).



**Figura 5.** Concentración de coliformes totales en arena seca antes, durante y después de Semana Santa 2014 en las playas Los Algodones, San Francisco, Miramar y El Cochórit.

#### 8.4 Coliformes fecales.

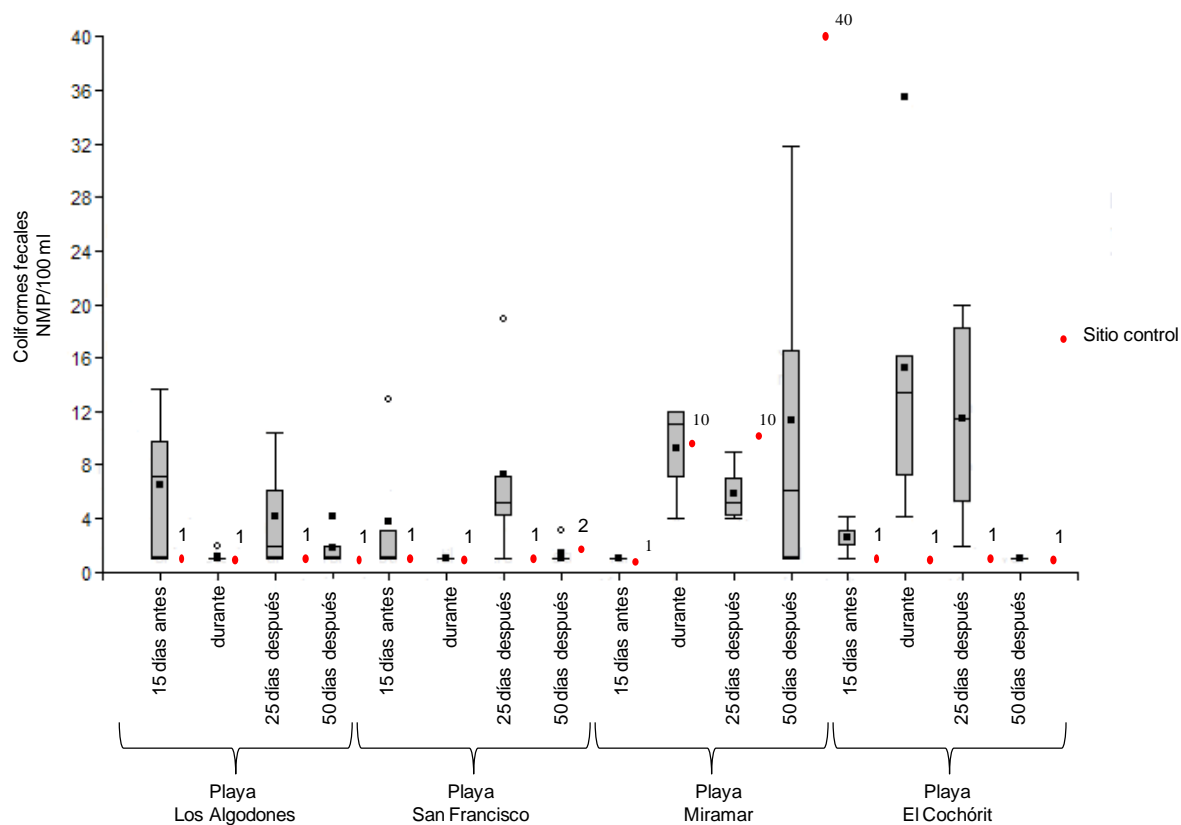
##### Agua.

En la playa Los Algodones se observó la mayor concentración de coliformes fecales (promedio 7 NMP/100 ml) antes de Semana Santa y la menor concentración (<4 NMP/100 ml) durante Semana Santa; en el punto control se observó una concentración de 1 NMP/100 ml durante los 4 muestreos. No se observó una diferencia estadísticamente significativa durante los periodos de estudio ( $p=0.1099$ ) (fig. 6).

En la playa San Francisco, la menor concentración de coliformes fecales (<3 NMP/100 ml) se observó durante Semana Santa y la mayor concentración (promedio 5 NMP/100 ml, valor extremo de 20 NMP/100) fue observada en 25 días después de Semana Santa; en el punto control la mayor concentraciones fue de 2 NMP/100 ml 50 días después de Semana Santa. No se observó una diferencia estadísticamente significativa durante los periodos de estudio ( $p=0.1242$ ) (fig. 6).

En la playa Miramar, la menor concentración de coliformes fecales (<5 NMP/100 ml) se observó antes de Semana Santa, posteriormente se observaron concentraciones entre 6 y 14 NMP/100 ml; en el punto control las concentraciones más bajas fueron de 1 NMP/100 ml antes de Semana Santa y las más altas de 40 NMP/100 ml 50 días después de Semana Santa. No se observó una diferencia estadísticamente significativa durante los periodos de estudio ( $p=0.1365$ ) (fig. 6).

En la playa El Cochórit, la menor concentración de coliformes fecales (<3 NMP/100 ml) se observó 50 días después de Semana Santa y la mayor concentración (20 NMP/100 ml) 25 días después de Semana Santa; en el punto control las concentraciones fueron de 1 NMP/100 ml en todos los muestreos. Se observó una diferencia estadísticamente significativa ( $p=0.0195$ ) durante los periodos de estudio durante y 50 días después de Semana Santa (fig. 6).



**Figura 6.** Concentración de coliformes fecales en agua antes, durante y después de Semana Santa 2014 en las playas Los Algodones, San Francisco, Miramar y El Cochórit.

### Arena húmeda

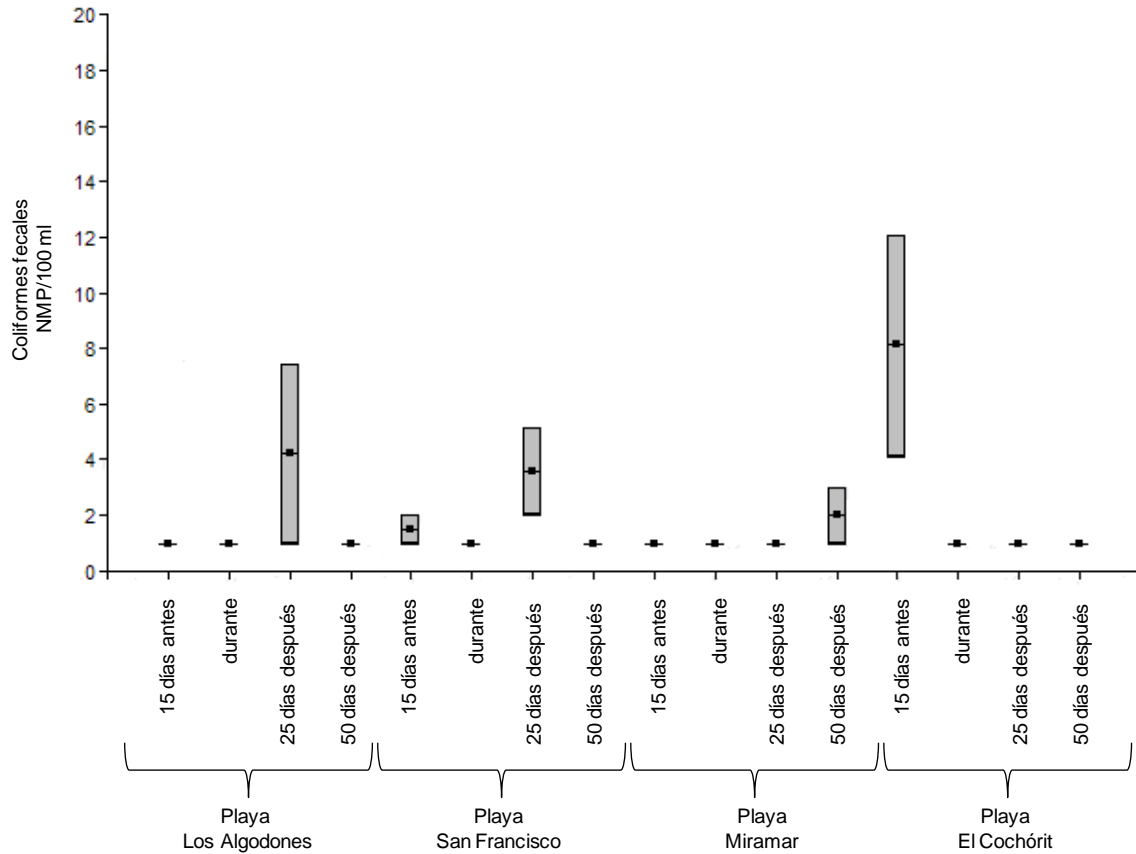
En la playa Los Algodones, en los periodos antes, durante y 50 días después de Semana Santa se observaron concentraciones  $<2$  NMP/100 ml y 25 días después de Semana Santa se observó una concentración  $<4$  NMP/100 ml. No se observó una diferencia estadísticamente significativa durante los periodos de estudio ( $p=0.4789$ ) (fig. 7).

En la playa San Francisco, 25 días después de Semana Santa se observó una concentración de coliformes fecales  $<4$  NMP/100 ml y en el resto de los muestreos, las concentraciones fueron  $<2$  NMP/100 ml. No se observó una diferencia estadísticamente significativa durante los periodos de estudio ( $p=0.2276$ ) (fig. 7).

En la playa Miramar, la mayor concentración de coliformes fecales (3 NMP/100 ml) se observó 50 días después de Semana Santa en el resto de los muestreos las concentraciones fueron  $<2$  NMP/100 ml. No se observó una diferencia estadísticamente significativa durante los periodos de estudio ( $p=0.4789$ ) (fig. 7).

En la playa El Cochórit, la mayor concentración ( $>8$  NMP/100 ml) se observó antes de Semana Santa y concentraciones  $<2$  NMP/100 ml en el resto de los muestreos. No se observó una diferencia estadísticamente significativa durante los periodos de estudio ( $p=0.1483$ ) (fig. 7).





**Figura 7.** Concentración de coliformes fecales en arena húmeda antes, durante y después de Semana Santa 2014 en las playas Los Algodones, San Francisco, Miramar y El Cochórit.

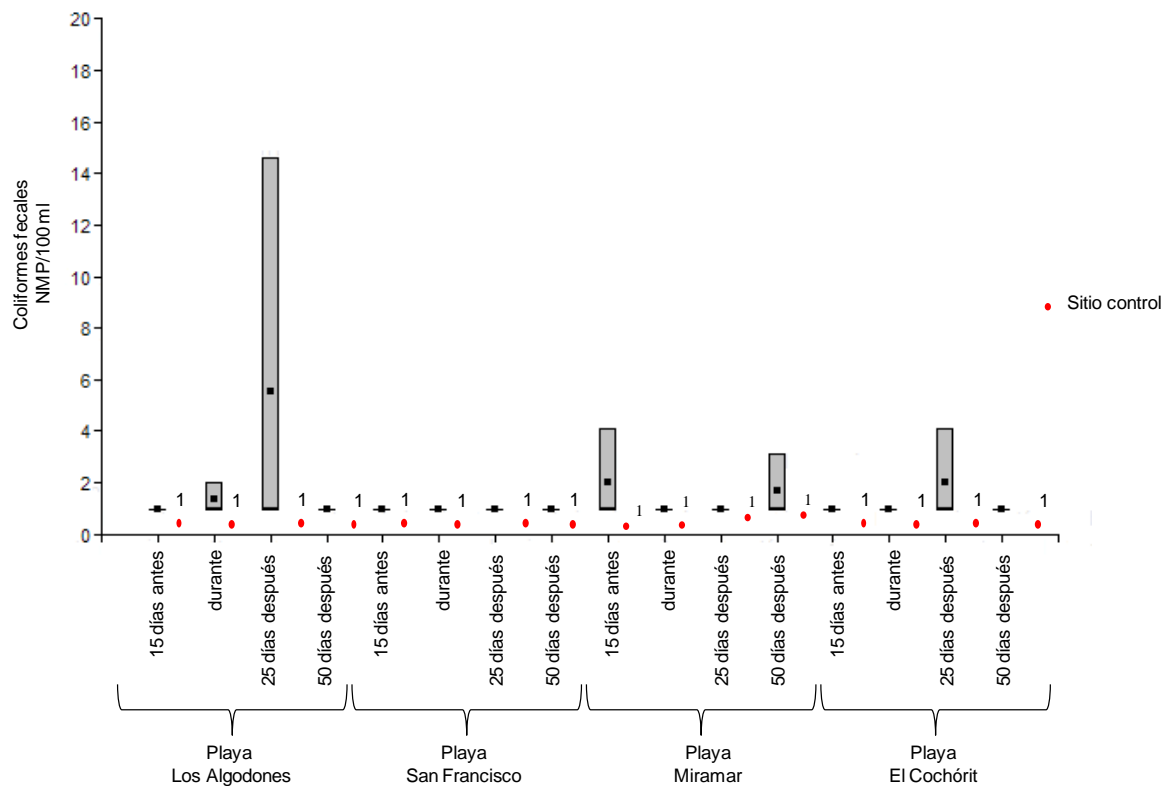
### Arena seca.

En la playa Los Algodones, antes, durante y 50 días después de Semana Santa se observaron las menores concentraciones de coliformes fecales (2 NMP/100 ml) y 25 días después de Semana Santa se observó la mayor concentración (16 NMP/100 ml); en el punto control se observaron concentraciones de 1 NMP/100 ml durante los 4 muestreos. No se observó una diferencia estadísticamente significativa durante los periodos de estudio ( $p=0.4607$ ) (fig. 8).

En la playa San Francisco, en todos los muestreos se observaron concentraciones  $<2$  NMP/100 ml y en el punto control fueron de 1 NMP/100 ml. Para esta playa no se realizó análisis de varianza debido a que el valor se comportó como una constante (valor 1) (fig. 8).

En la playa Miramar, las concentraciones más altas de coliformes fecales fueron de  $>2$  NMP/100 ml antes y 50 días después de Semana Santa; en el punto control las concentraciones fueron de 1 NMP/100 ml en todos los muestreos. No se observó una diferencia estadísticamente significativa durante los periodos de estudio ( $p=0.5830$ ) (fig. 8).

En la playa El Cochórit, la mayor concentración ( $>2$  NMP/100 ml) se observó 25 días después de Semana Santa y concentraciones  $<2$  NMP/100 ml se observaron en el resto de los muestreos; en el punto control se observaron concentraciones de 1 NMP/100 ml en todos los muestreos. No se observó una diferencia estadísticamente significativa durante los periodos de estudio ( $p=0.4411$ ) (fig. 8).



**Figura 8.** Concentración de coliformes fecales en arena seca antes, durante y después de Semana Santa 2014 en las playas Los Algodones, San Francisco, Miramar y El Cochórit.

## 8.5 Enterococos

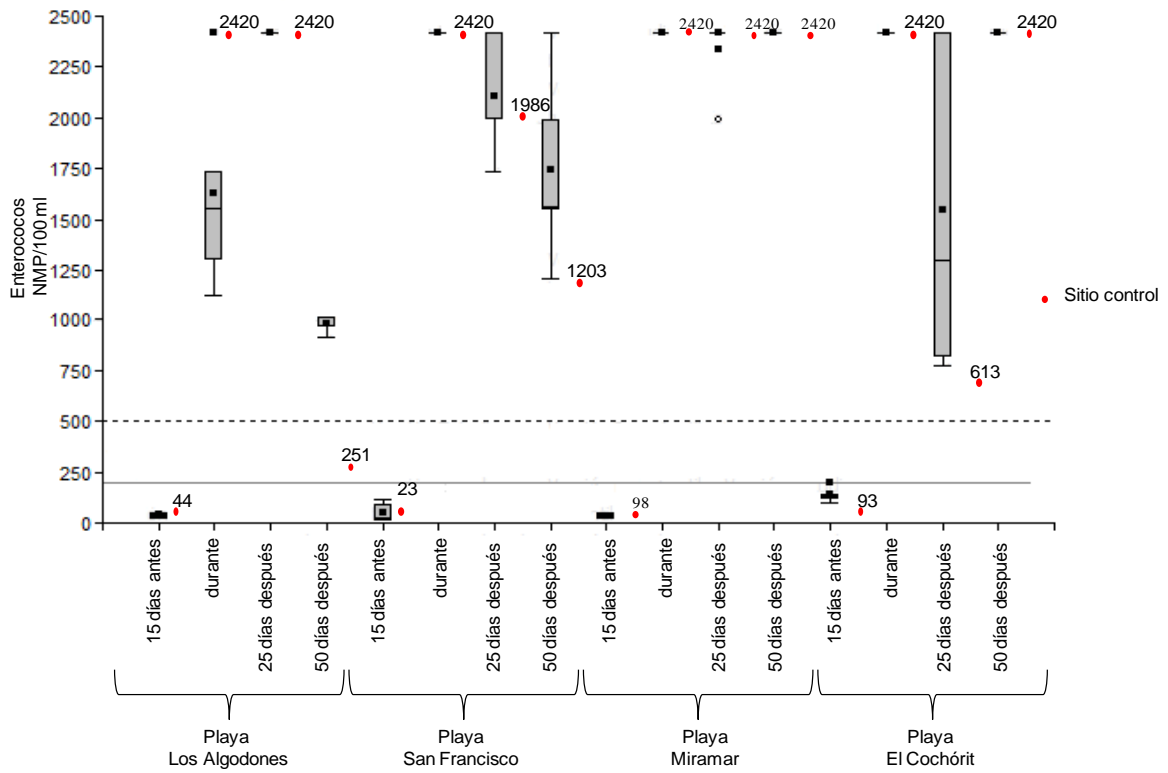
### Agua

En la playa Los Algodones, la menor concentración de enterococos se observó antes de Semana Santa (<200 NMP/100 ml) y la mayor concentración durante Semana Santa (2400 NMP/100 ml) con una disminución progresiva después de Semana Santa; en el punto control se observó una concentración de 44 NMP/100 ml antes de Semana Santa, 2420 NMP/100 ml durante y a 25 días después de Semana Santa y 251 NMP/100 ml 50 días después de Semana Santa. Se observaron diferencias significativas entre los cuatro periodos de estudio ( $p<0.0001$ ) (fig. 9).

En la playa San Francisco, se observó la menor concentración de enterococos (<250 NMP/100 ml) antes de Semana Santa y la mayor concentración (2400 NMP/100 ml) se observó durante Semana Santa las concentraciones de enterococos disminuyeron progresivamente después de Semana Santa; en el punto control se observaron las concentraciones más altas (2420 NMP/100 ml) durante Semana Santa y las concentraciones más bajas (23 NMP/100 ml) antes de Semana Santa. Se observaron diferencias significativas ( $p<0.0001$ ) entre antes de Semana Santa y el resto de los muestreos, así como durante y 50 días después de Semana Santa (fig. 9).

En la playa Miramar, la menor concentración de enterococos (<200 NMP/100ml) se observó antes de Semana Santa, concentraciones >2400 NMP/100 ml se observaron durante, 25 días y 50 días después de Semana Santa; en el punto control la menor concentración (98 NMP/100 ml) se observó antes de semana Santa y las mayores concentraciones (2420 NMP/100 ml) se observaron durante, 25 días y 50 después de Semana Santa. Se observó una diferencia significativa ( $p<0.0001$ ) entre el periodo antes de Semana Santa con el resto de los periodos (fig. 9).

En la playa El Cochórit, la menor concentración de Enterococos (<200 NMP/100 ml) fue observada antes de Semana Santa y las mayores concentraciones (2400 NMP/100 ml), durante y 50 días después de Semana Santa; en el punto control las concentraciones más bajas fueron de 93 NMP/100 ml antes de Semana Santa y las más altas de 2420 NMP/100 ml durante y 50 días después de Semana Santa. Se observaron diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0.0001$ ) entre los periodos antes de Semana Santa con respecto al resto de los muestreos y 25 días después de Semana Santa con respecto al resto de los muestreos (fig. 9).



**Figura 9.** Concentración de enterococos en agua antes, durante y después de Semana Santa 2014 en las playas Los Algodones, San Francisco, Miramar y El Cochórit.

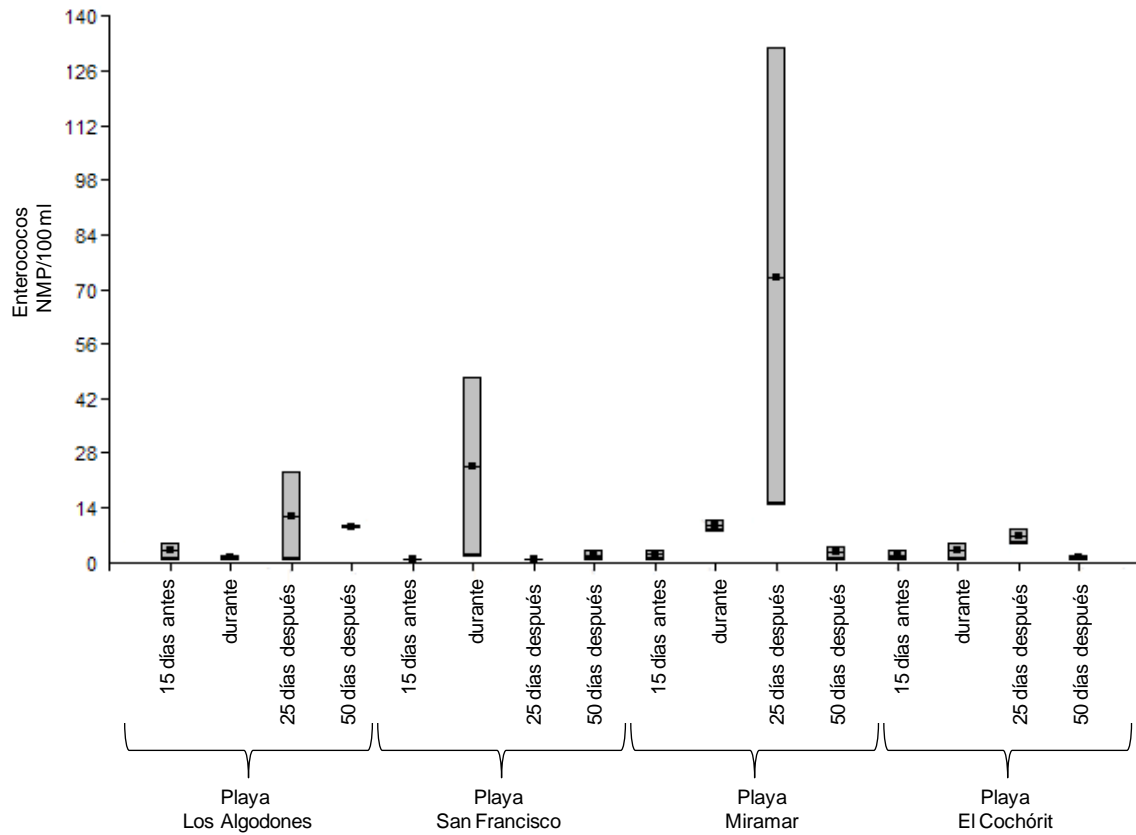
### Arena húmeda.

En la playa Los Algodones, la menor concentración de enterococos (<5 NMP/100 ml) se observó durante Semana Santa, y la mayor concentración se observó 25 días después de Semana Santa (promedio 13 NMP/100 ml). No se observó una diferencia estadísticamente significativa durante los periodos de estudio ( $p=0.5585$ ) (fig. 10).

En la playa San Francisco, la mayor concentración se observó durante Semana Santa (28 NMP/100 ml), en el resto de los muestreos se observaron concentraciones <7 NMP/100 ml. No se observó una diferencia estadísticamente significativa durante los periodos de estudio ( $p=0.4591$ ) (fig. 10).

En la playa Miramar la mayor concentración (>70 NMP/100 ml) se observó 25 días después de Semana Santa y la menor concentración (<7 NMP/100 ml) antes de Semana Santa. No se observó una diferencia estadísticamente significativa durante los periodos de estudio ( $p=0.3687$ ) (fig. 10).

En la playa El Cochórit se observaron concentraciones <14 NMP/100 ml en los cuatro muestreos. No se observó una diferencia estadísticamente significativa durante los periodos de estudio ( $p=0.1676$ ) (fig. 10).



**Figura 10.** Concentración de enterococos en arena húmeda antes, durante y después de Semana Santa 2014 en las playas Los Algodones, San Francisco, Miramar y El Cochórit.



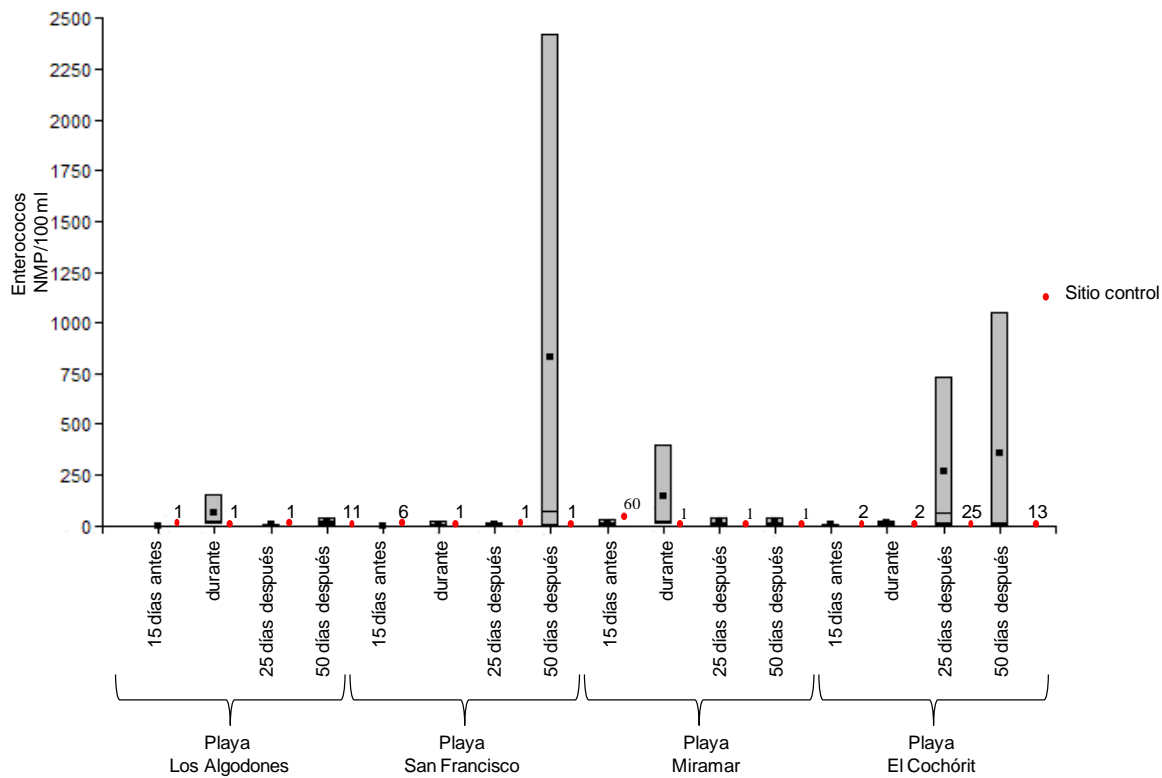
### Arena Seca.

En la playa Los Algodones, la mayor concentración ( $>100$  NMP/100 ml) se observa durante Semana Santa. En el resto de los muestreos se observan concentraciones  $<100$  NMP/100 ml; en el punto control las concentraciones fueron de 1 NMP/100 ml antes, durante y 25 días después de Semana Santa y de 11 NMP/100 ml 50 días después de Semana Santa. No se observó una diferencia estadísticamente significativa durante los periodos de estudio ( $p=0.2518$ ) (fig. 11).

En la playa San Francisco, 50 días después de Semana Santa se observó una concentración de 2400 NMP/100 ml y en los muestreos anteriores se observaron concentraciones  $<250$  NMP/100 ml; en el punto control se observaron las mayores concentraciones (6 NMP/100 ml) antes de Semana Santa. No se observó una diferencia estadísticamente significativa durante los periodos de estudio ( $p=0.4122$ ) (fig. 11).

En la playa Miramar, la concentración de enterococos fue  $>250$  NMP/100 ml durante Semana Santa, en el resto de los muestreos se observaron concentraciones  $<250$  NMP/ 100 ml; en el punto control se observaron concentraciones de 60 NMP/100 ml antes de Semana Santa y de 1 NMP/100 ml durante, 25 días y 50 días después de Semana Santa. No se observó una diferencia estadísticamente significativa durante los periodos de estudio ( $p=0.4612$ ) (fig. 11).

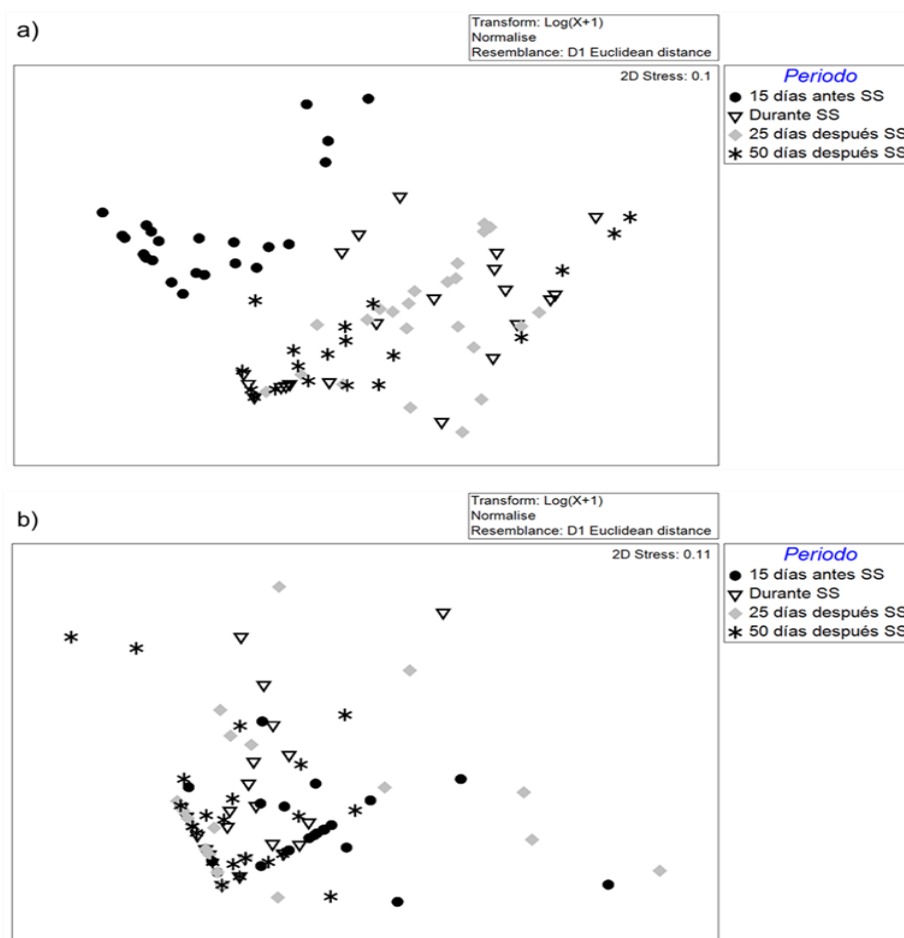
En la playa El Cochórit, se observaron concentraciones  $>250$  NMP/100 ml 25 días y 50 días después de Semana Santa y concentraciones  $<100$  NMP/100 ml en el resto de los muestreos; en el punto control se observó la concentraciones más alta (25 NMP/100 ml) 25 días después de Semana Santa. No se observó una diferencia estadísticamente significativa durante los periodos de estudio ( $p=0.5608$ ) (fig. 11).



**Figura 11.** Concentración de enterococos en arena seca antes, durante y después de Semana Santa 2014 en las playas Los Algodones, San Francisco, Miramar y El Cochórit.

## 8.6 Similitud de calidad sanitaria en los periodos de estudio

Los análisis de similitud mostraron que la calidad sanitaria del agua en las playas, indicada por las concentraciones de coliformes totales, coliformes fecales y enterococos, en el periodo antes de Semana Santa fue diferente a los periodos durante y después de Semana Santa. También se observó que la calidad sanitaria en la arena no mostró diferencias entre los cuatro periodos estudiados (fig. 15).



**Figura 12.** Resultados del análisis de similaridad (nMDS) de la calidad sanitaria (coliformes totales, coliformes fecales y enterococos) del agua (a) y de la arena (b) en los en los cuatro periodos de estudio en las playas Los Algodones, San Francisco, Miramar y El Cochórit.

## **IX. DISCUSIÓN.**

En Semana Santa ocurre el ~95 % de la afluencia de usuarios a las playas de Guaymas y Empalme. Este periodo vacacional de 15 días, tiene una gran importancia económica en la región debido a que aumenta el turismo en las playas generando divisas y empleos, sin embargo esta afluencia excesiva de usuarios en playas sin suficiente infraestructura de servicios sanitarios afecta la calidad sanitaria del agua y genera riesgos a la salud pública.

En las playas Los Algodones, San Francisco, Miramar y El Cochórit se observó pérdida de la calidad sanitaria del agua con el incremento en la afluencia de usuarios, los coliformes totales en el agua presentaron un comportamiento similar en las 4 playas con las mayores concentración durante y después de Semana Santa, en la evaluación de coliformes totales resalta la playa Miramar en donde se observan concentraciones  $>250$  NMP/100 ml durante el periodo vacacional y en los dos muestreos después de Semana Santa atribuido a la contaminación por descargas de aguas residuales, considerando que la presencia de coliformes en el agua indica que puede existir una contaminación por aguas residuales urbanas u otro tipo de desecho en descomposición (Ramos *et al.*, 2008) no solamente por usuarios, en el caso particular de la playa Miramar se tiene registro de la descarga intermitente de aguas residuales en sus inmediaciones. Los coliformes Totales no persisten debido a que las condiciones del agua de mar son adversas para la supervivencia de estos microorganismos como es la presión osmótica (Barrera-Escorcía y Namihira-Santillán, 2004).

Las mayores concentraciones de coliformes fecales se observan durante y después de Semana Santa en las playas estudiadas. Sin embargo en la playa Los Algodones se observó la mayor concentración antes de Semana Santa, atribuido a la resuspensión del sedimento; Griffin *et al.* (2001) mencionan que el uso de coliformes fecales como indicador ha sido cuestionado, ya que en aguas tropicales estas bacterias sobreviven en el sedimento y pueden encontrarse en áreas donde se ha generado una resuspensión del mismo. La

playa Miramar, presenta el mismo patrón que coliformes totales, además de la contaminación por aguas residuales, se suma la afluencia de usuarios, que explica los incrementos considerables en las concentraciones.

Considerando el criterio de los lineamientos calidad del agua de la Ley Federal de Derechos 2014 para la protección de la vida acuática: Aguas costeras y estuarios, quienes consideran como indicador a coliformes fecales las playas no presentan un riesgo para la vida acuática ya que no superan el límite establecido <240 NMP/100 ml. (CONAGUA, 2014)

El patrón de la concentración de enterococos se repite para las 4 playas, antes de Semana Santa no se presenta un problema de riesgo para la salud pública porque las concentraciones son menores al límite establecido (200 NMP/100ml) por la Secretaria de Salud (COFEPRIS, 2013), en los muestreos durante y después de Semana Santa se da un incremento en la concentración (>2400 NMP/100ml) presentándose un riesgo para la salud pública, esto atribuido a la presencia de usuarios en la playa, porque durante esta fecha aumentan los servicios, así como zonas para acampar lo que ocasiona que los servicios públicos sean insuficientes y las autoridades requiera la contratación de baños portátiles cuya limpieza es ineficiente, originando una fuente de contaminación. La persistencia en la concentración se debe a que estos microorganismos pueden resistir las condiciones adversas del ambiente marino (COFEPRIS, 2013, Noble *et al.* 2003, Vergaray *et al.*, 2011; Hanes y Fragala, 1996). En las playas Los algodones y San Francisco se observó una disminución en la concentración a 50 días después de Semana Santa, pero con concentraciones >500 NMP/100 ml con un riesgo de adquirir enfermedades gastrointestinales de 1-5% y enfermedades respiratorias febriles agudas 01.3-1.9%. Las playas Miramar y El Cochórit presentan concentraciones >2400 NMP/100 ml 50 días después de Semana Santa, ya que estas playas son de fácil acceso para la comunidad de Guaymas y Empalme respectivamente, lo que ocasiona que estas playas continúen en uso constante. Estos resultados coinciden con los observado por Silva-Iñiguez *et al.* (2007), quienes durante Semana Santa

observaron un incremento de enterococos con riesgos a la salud pública en la Playa Boquita de Miramar, Colima. Asimismo, Flores-Mejía *et al.* (2012), observaron que en el periodo vacacional de verano, se incrementó la concentración de enterococos con riesgo a la salud pública en 3 playas de Acapulco, Gro.

Las concentraciones de enterococos por debajo del límite permisible antes de Semana Santa coinciden con lo informado por autoridades de la Comisión Nacional del Agua en los medios de comunicación y el programa de playas limpias. Sin embargo, no se realiza un monitoreo durante y posteriormente al periodo vacacional para alertar a la población local de que existe riesgo sanitario si se tiene contacto con estas aguas contaminadas incluso a dos meses después de esta temporada.

Estos resultados son consistentes en mostrar que el mejor indicador para aguas oceánicas son los enterococos ya que sobreviven a las condiciones adversas que en este medio se presentan como la salinidad y el pH, el pH tolerante para coliformes es 6-7 y en las playas se presenta un pH ligeramente alcalino (>8) (Barrera-Escorcía y Namihira- Santillán, 2004).

El punto control en cada playa funcionó efectivamente como control para coliformes totales y fecales, considerando que presenta menores concentraciones que los puntos en el uso de playa, en el caso de la playa Miramar, 50 días después de Semana Santa la concentración de punto control se incrementa al igual que el resto de los puntos en la zona de playa atribuido al guano generado por las aves marinas. El punto control durante Semana Santa en la playa El Cochórit superó la concentración de los puntos en la zona de playa, lo cual es atribuido a la presencia de aves y animales domésticos (perros y caballos), así como la presencia de usuarios que caminan a lo largo de la playa. El punto control no funcionó para el caso de enterococos ya que igualan las concentraciones de los puntos de muestreo en la zona de playa, posiblemente estas concentraciones estén dadas por la resistencia de estos

microorganismos a las condiciones adversas del agua marina y los patrones de circulación costera en estas playas, y a una posible fuente natural desconocida, que se sale del contexto de este estudio.

El análisis nMDS fue consistente al mostrar la diferencia del periodo antes de Semana Santa, con concentraciones permisibles para el uso recreativo de contacto primario de las playas con respecto a los periodos posteriores analizados (durante y después de Semana Santa) en donde se observó la pérdida de la calidad sanitaria de las playas.

La mayor concentración de coliformes totales en arena seca se observó durante y después de Semana Santa atribuido a la afluencia de usuarios, ya que se colocan carpas para proporcionar sombra, porque en las playas no se cuenta con palapas suficientes para la cantidad de usuarios que arriban a las playas y las zonas de acampar que se generan durante esta temporada, en donde los usuarios permanecen de 2 a 4 días en la playa. La arena húmeda presenta concentraciones <50 NMP/100 ml debido a que se presenta un arrastre de la arena por la acción del oleaje como lo comenta Phillips *et al.* (2011), con excepción de la playa San Francisco donde la concentración promedio de 100 NMP/100 ml 25 días después de Semana Santa se atribuye a una transferencia de contaminación de la arena seca al agua.

La concentración de coliformes fecales es igual o superior en arena seca que en arena húmeda, con las mayores concentraciones de coliformes fecales después de Semana Santa debido a la transferencia de contaminación de arena a agua por acción eólica. En la playa El Cochórit la concentración observada >5 NMP/100 ml en la arena húmeda antes de Semana Santa es atribuido a las labores de limpieza de la playa, ya que se realizaron nuevas deposiciones de arena cambiando así las concentraciones captadas en el primer muestreo.

La concentración de enterococos mostró el mismo comportamiento que los coliformes, mayor en arena seca que en arena húmeda. La playa San Francisco tuvo la mayor concentración de enterococos 50 días después de Semana Santa

posiblemente a una transferencia directa entre el agua y la arena seca. La playa Miramar tuvo la mayor concentración durante Semana Santa atribuido al incremento en la densidad de usuarios en la zona de playa.

El hecho de que exista una elevada concentración de enterococos en agua y no en arena seca y en arena húmeda puede ser atribuido al transporte por medio del cuerpo de los usuarios que al tener contacto con el agua quedan depositados en la misma. Esto es el fundamento de las normas higiénicas en el uso de albercas, ya que se considera que con el baño 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 los cuales se incrementan significativamente durante el periodo vacacional de Semana Santa.

En la evaluación de la calidad de las playas, no se contempla la evaluación de la arena, sin embargo pueden representar un riesgo para la salud pública, ya que es un área donde los usuarios pasan la mayor parte del tiempo y en este estudio se pudo constatar que si existe un riesgo para la salud pública.

En la normatividad mexicana no contamos con leyes que rijan esta área de la playa y las autoridades solo se limitan a monitorear el agua sin contemplar el problema emergente que hay en la arena. Estos resultados son consistentes con los estudios realizados por Maris-González y Emiliani (2005) quienes encontraron mayor concentración en la arena seca bajo sombra que en la arena húmeda en contacto con el agua. Asimismo con lo observado por Pinto *et al.* (2012) quienes encontraron mayor concentración en la arena seca que en la arena húmeda; y los resultados observados por Bonilla *et al.* (2007), quienes determinaron mayores concentraciones en arena seca, y menores en arena húmeda.

El punto control en la arena presenta concentraciones menores o iguales que los puntos muestreados en la zona de playa para los tres indicadores microbiológicos. Por lo que debe ser considerado y establecido en la



normatividad y considerar cada caso particular para establecer el punto control en el sitio adecuado de referencia.

El análisis nMDS muestra similitud en los datos de arena durante las cuatro épocas por lo que podemos apreciar que la calidad sanitaria de la arena no sigue el mismo patrón observado en el agua y no hay diferencias significativas entre los periodos estudiados en las cuatro playas.

La evidencia aportada en este estudio y la coincidencia con estudios previos sobre la influencia del incremento de usuarios de las playas en periodos vacacionales indica la necesidad de tomar decisiones de manejo en las playas de los municipios de Guaymas y Empalme. Así como alertar y prevenir a la población del riesgo de contraer enfermedades durante estos periodos de grandes afluencias de usuarios.

## **X. CONCLUSIONES.**

La afluencia de usuarios a las playas es de 6,368 usuarios y la mayor se presenta durante Semana Santa ~95 % y la importancia relativa de las playas indicada por la afluencia de usuarios es Los Algodones ~50 %, San Francisco ~29%, Miramar ~24%, El Cochórit ~7%.

Antes de Semana Santa la calidad sanitaria del agua en las playas, es apta para uso recreativo de contacto primario indicada por concentraciones de enterococos <200 NMP/100 ml, durante lo cual tiene normalmente entre 15-40 usuarios.

Durante el periodo vacacional de Semana Santa se presenta un incremento de la afluencia de usuarios del 90 % asociado a un incremento significativo del NMP/100 ml de coliformes totales, coliformes fecales y enterococos en el agua con riesgos para la salud pública.

La calidad sanitaria de la arena presenta concentraciones >500 NMP/ 100 ml durante y después de Semana Santa, a pesar de no estar normada, puede ser de riesgo para la salud pública.

Después de Semana Santa (50 días), las playas aún permanecen con condiciones sanitarias no aptas para uso de contacto primario, con concentraciones de riesgo para la salud pública, este estudio no observó que pasa después de este periodo y se desconoce cuándo las playas vuelven a tener condiciones sanitarias sin riesgo a la salud pública.

Se recomienda implementar un manejo y control sanitario del agua de las playas de los municipios de Guaymas y Empalme, 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 a través del año.

## XI. BIBLIOGRAFÍA

Barrera- Escorcia G. y P. Namihira-Santillán. 2004. Contaminación microbiológica en la zona costera de Akumal, Quintana Roo, México. *Hidrobiológica* 14 (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. *Marine Pollution Bulletin* 54: 1472-1482.

Colford J., T. Wade, K. Schiff, C. Wright, J. Griffith, S. Sandhu, S. Burns, M. Sobsey, G. Lovelance, S. Weisberg. 2007. Water quality indicators and the risk of illness at beaches with nonpoint source of fecal contamination. *Epidemiology* 18 (1): 27-35.

CONAGUA. 2007. Comisión Nacional del Agua. Tercer encuentro nacional de comités de playas limpias. Comisión Nacional del Agua. Junio 2007

CONAGUA. 2011a. Comisión Nacional del Agua. Monitoreo programa Playas Limpias. Comisión Nacional del Agua. 11 de Noviembre de 2011.

CONAGUA 2011b. Estadísticas del agua en México, edición 2011., SEMARNAT-CONAGUA, México, D.F

CONAGUA 2014. Ley federal de derechos. Disposiciones aplicables en materia de aguas nacionales. Comisión Nacional del Agua. Edición 2014. 94 p.

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

Cortez-Lara, M. 2003. Importancia de los coliformes fecales como indicadores de contaminación en la Franja Litoral de Bahía de Banderas, Jalisco-Nayarit. *Revista Biomédica*. 14: 121-123.

Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP) 1996. NORMA Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996, Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales. *Diario Oficial de la Federación (D.O.F.)* 24 de junio 1996.

Davis, R.A. 1982. Beach. En: Maurice L. Schwartz (ed.) 1982.

Defeo O. 2008. Threats to Sandy Beach Ecosystems: A review. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 81: 1-12.

De la Lanza-Espino, G., S. Hernández-Pulido y J. Carbajal-Pérez. 2000. Organismos indicadores de la calidad del agua y la contaminación (bioindicadores). Editorial Plaza y Valdés, S.A de C. V. 633 p.

Dickerson Jr. J., C. Hagedorn, A. Hassall. 2007. Detection and remediation of human origin pollution at two public beaches in Virginia using multiple source tracking methods. *Water research* 41: 3758-3770.

Di Rienzo J.A., F. Casanoves, M.G. Balzarini, L. Gonzalez, M. Tablada, C.W. Robledo. *InfoStat versión 2013*. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.

Enríquez-Hernández, G. 2003. Criterios para evaluar la aptitud recreativa de las playas en México: una propuesta metodológica. *Gaceta Ecológica*. 68: 55-68.

Flores-Mejía M., M. Flores-Hernández, M. Ríos-Miranda. 2012. Evaluación de la calidad ambiental en playas de uso recreativo (Acapulco, Gro.), 127-138. In: Pica-Grandados Y., Ramírez-Romero P. (eds.) *Contribuciones al conocimiento*

de la ecotoxicología y química ambiental en México. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.

Furukawa T., T. Yoshida, Y. Suzuki. 2010. Application of PFGE to source tracking of faecal pollution in coastal recreation area: a case study in Aoshima Beach Japan. *Journal of applied microbiology* 110: 688-696.

Galván-Mendoza A. 2013. Calidad bacteriológica y riesgo sanitario de las playas norte de Tuxpan Ver. Tesis de Especialización, Universidad Veracruzana, Veracruz, México.

García, E. 1988. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen Adaptaciones a las condiciones de la república mexicana. Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México, D. F., 243 pp

Griffith, J.F., K.C. Schiff, G.S. Lyon, J.A. Fuhrman. 2010. Microbiological water quality at non-human influenced reference beaches in southern California during wet weather. *Marine Pollution Bulletin*. 60: 500-508.

Griffin, D., E. Lipp, M. McLaughlin y J. Rose. 2001. Marine recreation and public health microbiology: quest for the ideal indicator. *BioScience*. 51. (10): 817-825.

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

Ibarluzea, J., B. Moreno, E. Serrano, K. Larburu, M. Maiztegi, A. Yarzabal y L. Santa-Marina. 2007. Somatic coliphages and bacterial indicators of bathing water quality in the beaches of Gipuzkoa, Spain. *Journal of Water and Health*. 5. (3): 417-426.

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

Lara-Lara, J.R., J. A. Arreola-Lizárraga, L. E. Calderón-Aguilera, V. F. Camacho-Ibar, G. de la Lanza-Espino, A. Escofet-Giansone, M. I. Espejel-Carbajal, M. Guzmán-Arroyo, L. B. Ladah, M. López-Hernández, E. A. Meling-López, P. Moreno-Casasola Barcelo, H. Reyes-Bonilla, E. Ríos-Jara y J. A. Zertuche-González. 2008. Los ecosistemas costeros, insulares y epicontinentales. Capital Natural de México, vol. I: Conocimiento actual de la biodiversidad. CONABIO, México. 109-134 p.

Li-Ming, H. y Z. Li-He. 2008. Water quality prediction of marine recreational beaches receiving watershed baseflow and stormwater runoff in southern California, USA. Water research. 42: 2563-2573.

Mangala, S., K. Soo Chen, S. Norkhadijan y S. Ismail. 2013. Indicators of microbial beach water quality: Preliminary findings from Teluk Kemang beach, Port Dickson (Malaysia) Elsevier. Marine pollution bulletin. 76: 417-419

Maris-Gonzales S y F. Emiliani. 2005. Caracterización preliminar de la calidad microbiológica de la arena en las playas. Naturaa Neotropicalis 36: 81-84.

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

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

Olanczuk-Neyman K., K. Jankowska. 2001. Bacteriological quality of the sand beach in Sopot (Gdansk Bay, Southern Baltic). Polish journal of environmental studies. 10 (6): 451-455.

OMS, 2003. Guidelines for safe recreational water environments. Vol. 1 Coastal and fresh waters. Organization Mundial de la Salud.

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

Ortega, M. 2010. Enterococos: actualización. *Revista habanera de ciencias medicas*. 9. (4): 507-515.

Pascual-Anderson, M. y V. Calderón-Pascual. 2000. *Microbiología Alimentaria. Metodología Analítica para alimentos y bebidas*. Editorial Díaz de Santos S. A. 2° edición. España. 448 p.

Phillips M., H. Solo-Gabriele, A. Piggot, J. Klaus y Y. Zhang. 2011. Relationships between sand and water quality at recreational beaches. *Water research* 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 science & technology*. 66. (11): 2475-2482.

Ramos-Ortega L., L. Vidal, S. Vilardey, L. Saavedra-Díaz. 2008. Análisis de la Contaminación microbiológica (coliformes totales y fecales) en la Bahía de Santa Marta, Caribe Colombiano. *Acta Biológica Colombiana* 13 (3): 87-98.

SEMARNAT. 2006. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. Programa integral de playas limpias. México.

Shibata T., H. Solo-Gabriele, L. Fleming, S. Elmir 2004. Monitoring marine recreational water quality using multiple microbial indicators in an urban tropical environment. *Water research* 38: 3119-3131.

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

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

Silva-Iñiguez, L., C. Gutiérrez-Corona, R. Pérez-López, R. Sosa-Avalos, S. López Magaña. 2013. Playas y manejo aptitud recreativa en playas turísticas de Manzanillo, Colima, México. *European Scientific Journal Special Edition* (4): 331-340.

Vega-Granillo E., Cirett-Galán S., De la Parra-Velasco M. y Zavala-Juárez R. 2011. Hidrogeología de Sonora México, En Calmus, Thierry (ed.) *Panorama de la geología de Sonora, México: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Boletín 118, cap. 9 p. 57-88.*

Velonakis E., D. Dimitriadi, E. Papadogiannakis, A. Vatopoulos. 2014. Present status of effect of microorganisms from sand beach on public health. *Journal of Coastal Life Medicine*. 2 (9): 746-756.

Vergaray G., Mendez C., Morante H., Gamboa R., Fernandez F. 2011. Calidad microbiana del agua de playas de lima y su relación con focos de contaminación. "*Revista del Instituto de Investigación RIIGEO*", 14 (27), 73-79.

Wade T., E. Sams, K. Brenner, R. Haugland, E. Chern, M. Beach, L. Wymer, C. Rankin, D. Love, Q. Li, R. Noble, A. Dufour. 2010. Rapidly measured indicators of recreational water quality and swimming-associated illness at marine beaches: a prospective cohort study. *Environmental Health*, 66 (9): 1-14.



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. *Environment Science Biotechnology*, DOI 10.1007/s11157-014-9340-8

Wong M., L. Kumar, T. Jenkins, I. Xagorarakis, M. Phanikumar, J. Rose. 2009. Evaluation of public health risks at recreational beaches in Lake Michigan via detection of enteric viruses and a human-specific bacteriological marker. *Water research* 43: 1137-1149.

Yepes-Mayorga A. 2004. Calidad microbiológica y físico-química del agua para usos recreativos en las playas de Bocagrande y Marbella, en Cartagena de Indias, Colombia. *Medio ambiente y Recursos Naturales* 1: 65-84.