Universidad Veracruzana

UNIVERSIDAD VERACRUZANA

INSTITUTO DE CIENCIAS MARINAS Y PESQUERÍAS

MAESTRÍA EN ECOLOGÍA Y PESQUERÍAS

El género *Enterococcus* como contaminante en la zona intermareal en playas arenosas de Veracruz-Boca del Río.

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:

Maestra en Ecología y Pesquerías

PRESENTA:

Q.F.B. Brenda Elizabeth Sánchez Domínguez

BOCA DEL RÍO, VERACRUZ MARZO, 2015.

INSTITUTO DE CIENCIAS MARINAS Y PESQUERÍAS
MAESTRÍA EN ECOLOGÍA Y PESQUERÍAS

El género *Enterococcus* como contaminante en la zona intermareal en playas arenosas de Veracruz-Boca del Río.

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:

Maestra en Ecología y Pesquerías

PRESENTA:

Q.F.B. Brenda Elizabeth Sánchez Domínguez

COMITÉ TUTORAL

Director de Tesis

Dr. Alejandro Granados Barba

Co-Director de Tesis

Dra. María del Refugio Castañeda Chávez

Asesores

Dr. José Antolín Aké Castillo

Dr. Leonardo Dagoberto Ortiz Lozano

Dr. Mark Marín Hernández

BOCA DEL RÍO, VERACRUZ MARZO, 2015.

15 ANIVERSARIO
INSTITUTO DE CIENCIAS MARINAS Y PESQUERÍAS
2000-2015

Universidad Veracruzana
Dirección General de Investigaciones
Instituto de Ciencias Marinas y Pesquerías

C.QFB. BRENDA ELIZABETH SÁNCHEZ DOMÍNGUEZ
ESTUDIANTE DE LA MAESTRÍA EN ECOLOGÍA Y PESQUERÍAS
UNIVERSIDAD VERACRUZANA
P R E S E N T E

CAMPUS VERACRUZ

Calle Hidalgo No. 617
Colonia Río Jamapa,
C P 94290,
Boca del Río,
Veracruz,
México

Teléfonos
(229) 956 70 70
956 72 27

Calle Independencia
No. 30 (antes 38)
Piso 1 y 2
Colonia Centro,
CP 94290,
Boca del Río,
Veracruz,
México

Teléfono
(229) 202 28 28

Habiendo sido debidamente revisado y aceptado el trabajo escrito de su tesis denominada "El género *Enterococcus* como contaminante en la zona intermareal en playas arenosas de Veracruz-Boca del Río", por los integrantes de su comité tutoral y estando todos ellos de acuerdo que tanto el contenido como el formato de este trabajo es satisfactorio como prueba escrita para sustentar su examen final de posgrado de la MAESTRÍA EN ECOLOGÍA Y PESQUERÍAS se le autoriza a usted proceda a su impresión.

Sin otro particular, me es grato reiterarle la seguridad de mi más distinguida consideración.

ATENTAMENTE
"LIS DE VERACRUZ: ARTE, CIENCIA, LUZ"
Boca del Río, Ver. Marzo 24 del 2015

Dra. María de Lourdes Jiménez Badillo
Directora

DEDICATORIA

Especialmente para mi madre.

Me enseñaste que a pesar de las dificultades que se presenten en nuestro camino siempre es posible lograr nuestras metas.

A mi querido esposo, por su apoyo incondicional, sin el cual no hubiera sido posible terminar este proyecto.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco al Posgrado de Ecología y Pesquerías de la Universidad Veracruzana por la oportunidad de formar parte de esta institución y estudiar la maestría.

Al CONACYT por otorgarme una beca para financiar mis estudios de maestría.

Agradezco especialmente al Dr. Alejandro Granados Barba, por aceptarme para realizar esta tesis bajo su dirección y por el conocimiento que siempre me transmitió con infinita paciencia.

A la Dra. María del Refugio Castañeda Ochoa, Co-Director de tesis, por sus acertados comentarios y proporcionar los recursos necesarios para concluir esta tesis; así como permitir realizar los análisis en el Laboratorio de Investigación de Recursos Acuáticos.

Al Dr. José Antolín Aké Castillo, asesor de tesis, por compartir su gran conocimiento y por su activa participación en el desarrollo de esta tesis. A los doctores Leonardo D. Ortiz Lozano y Mark Marín Hernández, por la revisión y observaciones realizadas al manuscrito.

A la Dra. Rocío Guadalupe Bernal Ramírez, por su apoyo en el trabajo de campo para la obtención de los perfiles intermareales de las playas. A la M. en C. Gema Hidalgo Rodríguez, por su ayuda en el trabajo de laboratorio para la realización de los análisis granulométricos de los sedimentos. A la Dra. Nayeli Domínguez Castanedo y al M. en C. Ricardo Rojas López, por su apoyo en el muestreo de las playas.

A los profesores del Instituto de Ciencias Marinas y Pesquerías que me transmitieron sus conocimientos a través de las experiencias educativas impartidas.

Esta tesis forma parte de los proyectos "*Evaluación Continua de la Calidad del Ambiente Bentónico y su Biodiversidad en la Zona Costera del Golfo de México*" y "*Bases para el Análisis y Síntesis de los Sistemas Costeros de Veracruz*". Este último, realizado en el marco de la "Red para el Análisis y Síntesis de la Zona Costera Veracruzana, Golfo de México" (RASZCOV).

"Mientras el río corra, los montes hagan sombra y en el cielo haya estrellas, debe durar la memoria del beneficio recibido en la mente del hombre agradecido." (Virgilio).

RESUMEN

La zona metropolitana de Veracruz, es un área costera muy dinámica, con diversas actividades productivas que generan residuos y contaminantes ocasionando una presión sobre los sistemas costeros, principalmente la zona intermareal de playas arenosas, la cual es un área atractiva especialmente para los niños. El agua intersticial de la zona intermareal, ofrece un microhábitat donde la materia orgánica podría ser acumulada y el ambiente cálido y húmedo puede ser propicio para el crecimiento de ciertos microorganismos patógenos; sin embargo no ha sido suficientemente investigada y se dispone de escasa información sobre el papel potencial del agua intersticial como reservorio de patógenos microbianos. Particularmente, la zona costera del corredor turístico Veracruz-Boca del Río es heterogénea, de tal forma que se observan playas ubicadas en zonas rurales que conservan cierta naturalidad y playas que han sido modificadas por la colocación de estructuras de protección costera localizadas en zona urbana. El objetivo de este estudio es evaluar la presencia y abundancia de enterococos considerando esta heterogeneidad. El muestreo se realizó en marzo del 2013, considerando dos sitios en las playas Villa del Mar, Mocambo y Arroyo Giote. Las muestras de agua intersticial se colectaron con pipetas estériles de 10 mL en tres transectos para cada sitio. El entorno ambiental se explicó considerando el pH, temperatura, oxígeno disuelto y salinidad del agua, la materia orgánica, tamaño de sedimento y pendiente intermareal. El género *Enterococcus* se encontró en las tres playas estudiadas. Los análisis de conglomerados y de ordenación separan los sitios modificados de los que conservan cierta naturalidad, y en esta separación el tamaño de grano es relevante. La abundancia de enterococos está definida por la ubicación de la playa y la presencia de escolleras, lo cual es más evidente en la Playa Villa del Mar, en la cual la concentración de enterococos excede el límite permisible para agua de uso recreativo.

Palabras clave: *zona intermareal, playas arenosas, agua intersticial, enterococos.*

ABSTRACT

The Metropolitan Zone of Veracruz, is a very dynamic coastal area, with various productive activities that generate waste and pollutants causing pressure on coastal systems, mainly the intertidal zone of sandy beaches, which is an attractive area especially for children. The interstitial water of the intertidal zone, offers microhabitats where organic matter could be accumulated and the warm and humid environment can be propitious to the growth of certain pathogenic microorganisms; however, has not been sufficiently investigated and little information about the potential role of interstitial water as a reservoir of microbial pathogens. Particularly the coastal zone of the tourist corridor Veracruz-Boca del Rio is heterogeneous, so are observed beaches located in rural areas with certain naturalness and beaches that have been modified by placement breakwater structures located in urban areas. The aim of this study is to evaluate the presence and abundance of enterococci considering this heterogeneity. Sampling was conducted in March 2013, considering two sites on the beaches Villa del Mar, Mocambo and Arroyo Giote. Interstitial water samples were collected with sterile pipettes 10 mL in three transects for each site. The environment was explained considering the pH, temperature, dissolved oxygen and salinity of water, the organic matter, sediment size and slope intertidal. The genus *Enterococcus* was found in the three studied beaches. Multivariate analyzes separated the modified sites of the natural and in this separation the grain size is relevant. The abundance of enterococci is defined by the location of the beach and the presence of breakwaters, which is most evident in the Playa Villa del Mar, where the concentration of enterococci exceeds the permissible limit for water recreation.

Key words: *Intertidal, sandy beaches, interstitial water, enterococci*.

ÍNDICE DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN 1

2. ANTECEDENTES 6

3. HIPÓTESIS 8

4. OBJETIVOS 8

4.1. General 8

4.2. Particulares 8

5. MATERIAL Y MÉTODOS 8

5.1. Área de estudio 8

5.2. Muestreo 11

5.3. Caracterización ambiental 12

5.4. Trabajo de laboratorio 12

5.5. Análisis de datos 13

5.6. Análisis de integración de resultados 14

6. RESULTADOS 14

6.1. Caracterización ambiental 14

6.1.1. Salinidad, oxígeno disuelto, pH, y temperatura 14

6.1.2. Materia orgánica 15

6.1.2.1. Porcentaje de materia orgánica en playas 15

6.1.3. Tipo de sedimento 16

6.1.4. Pendiente intermareal 17

6.2. Relación de parámetros ambientales entre sitios 17

6.3. Análisis microbiológico 18

6.3.1. Concentración de enterococos en playas 18

6.3.2. Grado de contaminación en las playas y límite permisible 19

7. DISCUSIÓN 22

7.1. Caracterización ambiental 22

7.2. Concentración de enterococos en playas 24

8. CONCLUSIONES 31

9. LITERATURA CITADA 32

Anexos. 40

1. INTRODUCCIÓN

El Golfo de México es uno de los grandes ecosistemas marinos más diversos y ricos en recursos de la tierra, ya que en distancias relativamente cortas, ofrece gran diversidad de ambientes templados, subtropicales y tropicales (Botello *et al*., 2005). En su zona costera se presentan lagunas, dunas, playas, manglares, pastos marinos y arrecifes coralinos cuyos servicios ambientales han favorecido un crecimiento antropogénico que ejerce una constante presión sobre estos sistemas (Azuz-Adeath *et al*., 2009).

Dentro del Golfo de México, la Zona Metropolitana de Veracruz (ZMV) es un área costera dinámica con asentamientos humanos y actividades productivas cuyos residuos y contaminantes están afectando los sistemas costeros (Gutiérrez-Ruiz *et al*., 2011). Los núcleos urbanos modifican el paisaje mediante cambios en el uso de suelo que alteran los flujos hidrológicos y ciclos biogeoquímicos en los ecosistemas, provocando pérdida de biodiversidad y, por lo tanto, de los servicios ambientales con los que se beneficia la sociedad (Azuz-Adeath *et al*., 2009).

Uno de los sistemas costeros con más presión en los últimos años son las zonas intermareales de playas arenosas (Finkl & Krupa, 2003). Son ambientes de transición tierra-mar que se caracterizan por tener un tamaño de grano y una composición mineralógica determinados, así como un contenido de material orgánico variable, los cuales son físicamente controlados, principalmente por mareas, oleaje y/o corrientes, con zonas altas expuestas al aire en marea baja y zonas bajas inundadas permanentemente (Carranza *et al*., 1994).

En el litoral veracruzano las zonas intermareales son sistemas concurridos porque brindan servicios ambientales de esparcimiento, recreación y de mantenimiento de la línea de costa (Costanza, 2008) pero que muestran problemas de contaminación por descargas de aguas residuales industriales y agrícolas (Ortiz-Lozano *et al*., 2005). En el corredor turístico Veracruz-Boca del Río, impera la destrucción de hábitats por el desarrollo de infraestructura urbano-turística y por las actividades recreativas (Solís-Weiss & Granados-Barba, 2004) y la

modificación del ambiente por obras de protección costera (Valadéz-Rocha & Ortiz-Lozano, 2013), así como la contaminación orgánica y por coliformes por desechos de usuarios de las playas y heces de animales domésticos.

En este contexto, debido a la gran diversidad de bacterias patógenas que se encuentran en el agua marina, y a la dificultad para detectarlas o cuantificarlas y monitorearlas todas, se utilizan organismos indicadores para evaluar la calidad microbiológica del agua, como son los coliformes fecales y/o totales, *Escherichia coli*, *Clostridium perfringens* y *Enterococcus* spp. (Shibata *et al*., 2004; Díaz-Pérez *et al*., 2010; Turgeon, 2012). Estos microorganismos conforman la microbiota gastrointestinal humana y de los animales de sangre caliente por lo que, al ser excretados en sus heces, son incorporados al ambiente y su presencia es indicativa de contaminación de origen fecal con riesgo de aparición de gérmenes patógenos.

De acuerdo con Díaz-Pérez *et al*. (2010), no existe un indicador universal, por lo que se debe seleccionar uno apropiado para la situación específica a estudiar, siendo el género *Enterococcus* un indicador útil para ambientes marinos debido a su resistencia a la salinidad, pH y temperatura, lo que favorece su permanencia en dicho ambiente. El término enterococos incluye todas las especies *Enterococcus*, y corresponde a microorganismos Gram positivos, halofílicos facultativos, que crecen a un pH de 9.6, temperaturas de 10-45^{o}C (resisten 60^{o}C por 30 min) y a 6.5% de cloruro de sodio (Byappanahalli *et al*., 2012). *Enterococcus faecalis*, *E. faecium*, *E. durans*, son especies predominantes en ambientes acuáticos contaminados, por lo que la sola presencia de estos microorganismos indica contaminación.

Aunque *Enterococcus* spp. no se considera patógeno, en estudios epidemiológicos ha sido correlacionado con efectos adversos a la salud humana, los cuales son comúnmente asociados con patógenos encontrados en descargas de aguas residuales, por lo que, con la finalidad de proteger la salud humana, los enterococos son utilizados como indicador para evaluar las aguas de uso recreativo que han sido impactadas por contaminación fecal (Phillips *et al*., 2011; Byappanahalli *et al*., 2012). Sin embargo, los niveles de enterococos en el agua podrían disminuir

debido a la falta de nutrientes, competencia con microorganismos nativos y/o inactivación por la luz solar (Wheeler *et.al*., 2003; Halliday & Gast, 2011).

De acuerdo con Botello *et al*. (2005), es importante considerar el sustrato, ya que es frecuente observar mayor concentración de bacterias en el sedimento con respecto al agua debido a que las células bacterianas se adhieren al material particulado del cual obtienen resguardo contra la depredación y las condiciones ambientales adversas (radiación solar, pH, temperatura, biodisponibilidad de nutrientes), a la vez que les proporciona una fuente alimenticia que les permite sobrevivir por largos períodos favoreciendo su multiplicación. Investigaciones recientes (Phillips *et al*., 2011) han documentado que los sedimentos de las playas pueden contener poblaciones de enterococos, siendo una fuente potencial no puntual de estas bacterias en agua de uso recreativo, incluso sin existir fuentes puntuales de aguas residuales.

El efecto de la luz solar y los factores ambientales que limitan la supervivencia de enterococos en la columna de agua ha sido bien documentado, pero los factores físicos, químicos y bióticos que limitan la supervivencia en sedimentos y arenas se ha evaluado recientemente (Halliday & Gast, 2011).

Aspectos normativos de la calidad de las playas

En México, los criterios microbiológicos de agua de playas para uso recreativo se basaron en estudios realizados por la Organización Mundial de la Salud (2003), en los cuales definen una serie de valores del indicador microbiológico (*Enterococcus* spp.), asociado con un aumento en la frecuencia de diversos tipos de enfermedad. Los estudios indican que los síntomas gastrointestinales, las enfermedades respiratorias febriles agudas y la relación de enterococos, puede brindar una base científica lo suficiente sólida para asociar una relación de la salud humana con la calidad del agua recreativa (SEMARNAT, 2012). En este sentido, de acuerdo con dichos estudios, la Secretaria de Salud consideró un nivel de hasta 200 NMP enterococos/100 mL para un riesgo estimado de 5 a 10 % de ocurrencia de enfermedades gastrointestinales, y de 1.9 a 3.9% para enfermedades respiratorias febriles agudas.

Actualmente, las autoridades sanitarias estatales y federales realizan el muestreo y análisis del agua en los 17 estados costeros de México a través del "Programa Playas Limpias" (SEMARNAT, 2012), cuyo criterio para uso recreativo establece como "apta" el agua de playa que contenga de 0-200 NMP enterococos/100 mL, mientras que se considera "no apta" al agua de playa con valores mayores a 200 NMP enterococos/100 mL. Este criterio es utilizado por las autoridades para "cerrar las playas" como medida de protección para la salud de los usuarios; sin embargo, generalmente éste criterio no se adecúa a situaciones locales o regionales como son la estructura particular de la playa, la dinámica marina o situación epidemiológica (Pérez *et al*., 2006).

Por ejemplo, el "Programa Playas Limpias" no incluye la calidad sanitaria de la arena de las playas, con la cual los usuarios están en contacto directo a pesar de que se ha demostrado que el "lavado" del sedimento y el agua intersticial (aquélla que ocupa los espacios entre los granos del sedimento) de la zona intermareal representan un papel relevante en el control del nivel de enterococos en la columna de agua (Wright, 2008).

Debido a que el corredor turístico Veracruz-Boca del Río es un destino de playa muy concurrido en el país (INEGI, 2012) y que, a la fecha, no existen estudios sobre la presencia y/o concentración de enterococos en el agua intersticial de las zonas intermareales que es donde se llevan a cabo la mayoría de las actividades recreativas, es necesario investigar la presencia de *Enterococcus* spp. en el agua intersticial como contaminante en zonas intermareales de playas arenosas de la zona conurbada Veracruz-Boca del Río.

JUSTIFICACIÓN

Las playas arenosas son sistemas costeros que aportan diversos servicios ambientales al ser zonas de recreación y esparcimiento para el ser humano; sin embargo, también favorecen al ecosistema al estabilizar la línea de costa protegiéndola contra el embate de huracanes o tormentas. Asimismo, representan el hábitat para diferentes especies y proveen alimentos y materiales (Costanza, 2008). A pesar de ello, las actividades humanas en las costas del mundo van en aumento, incluyendo las de la Zona Metropolitana de Veracruz (ZMV) cuyas playas están siendo modificadas de diferentes maneras sin considerar las consecuencias potenciales de ello. Una de ellas, que es necesario evaluar por lo que representa para la salud humana, es la contaminación por microorganismos, en donde *Enterococcus* spp. representa un indicador clave del que se conoce muy poco y en México solo se ha investigado su presencia en la columna de agua como parte del Programa Playas Limpias.

Con base en lo antes expuesto, es necesario contar con información sobre el estado de las playas arenosas de la ZMV en relación al efecto de las actividades humanas con la presencia de *Enterococcus* spp. en el agua intersticial. Se requiere conocer el estado actual en que se encuentra el sistema en cuanto a contaminación por enterococos ya que ello incrementará el conocimiento y coadyuvará en la toma de decisiones para el manejo de playas.

2. ANTECEDENTES

Los estudios sobre el género *Enterococcus* en agua intersticial son pocos a nivel mundial; los que hay se han enfocado mayormente en seleccionar los microorganismos indicadores idóneos para evaluar la calidad de agua de playa. Ostrolenk *et al*. (1947), fueron los primeros en sugerir que *Enterococcus* spp. podría ser más apropiado que *E. coli* como bacteria indicadora de contaminación fecal en aguas marinas.

Borrego (1982) menciona que los coliformes fecales y enterococos son los microorganismos indicadores más utilizados para evaluar la probabilidad de que puedan estar presentes otros microorganismos patógenos para el hombre como *Salmonella* o *Vibrio cholerae.* Concluye que hay una mayor relación entre *Enterococcus* spp. y *Salmonella* que entre coliformes fecales y *Salmonella*.

Cabelli (1983) concluye que *Enterococcus* spp., como organismo indicador, mostró la mejor correlación con síntomas gastrointestinales (Vómitos, diarreas, náuseas o dolor de estómago) atribuidos a natación en aguas contaminadas de playas de Nueva York.

Una revisión de 22 estudios epidemiológicos realizados entre 1953 y 1996 en playas del mundo, sugiere una fuerte relación dosis-dependiente causal entre los síntomas gastrointestinales y la calidad del agua de uso recreativo medidos por conteo de bacterias indicadoras fecales entre ellas los enterococos (Prüss, 1998).

Noble *et al*. (2003), compararon coliformes totales, coliformes fecales y *Enterococcus* spp. en agua de tipo recreacional como indicadores de calidad del agua; encontraron a este último como el más abundante debido a que sobrevive más tiempo en ambientes marinos que los dos tipos de coliformes.

Wheeler *et al*. (2003) sugieren que los sedimentos de arena de playa pueden ser bien reconocidos como reservorios de bacterias de origen fecal y persistir al proveer condiciones favorables de

nutrientes y protegerlas de la inactivación por la luz solar. Al estar presentes, podrían resuspenderse por actividades recreativas y representar un riesgo a la salud de los usuarios de las playas, encontrando que las abundancias más altas para *E. coli* fueron en arena en la zona de "swash" (zona de lavado) a profundidades de 0-5 cm y para *Enterococcus* spp. de 5-10 cm de profundidad. Menciona que es importante evaluar el papel que representan la arena, el agua de mar y la supervivencia de *Enterococcus* spp. en un sitio en particular, ya que sus poblaciones pueden ser más resistentes comparadas con las cepas de *E. coli* y estar presentes en agua obtenida en fondos de arena a profundidad de hasta 20 cm.

De acuerdo a Shibata *et al*. (2004), los indicadores típicos utilizados para evaluar la calidad de agua de playa incluyen coliformes totales y fecales, *Escherichia coli* y *Enterococcus* spp.; coliformes fecales y coliformes totales fueron recomendados para evaluar la calidad del agua de uso recreativo, por la Agencia de Protección Ambiental (EPA, 1976). Posteriormente en 1986 la EPA (EPA por sus siglas en inglés), modificó la guía para especificar el uso de *Escherichia coli* y *Enterococcus* spp.como los indicadores de elección.

Genthner *et al*. (2005), reporta mayor densidad de enterococos en agua intersticial de la zona intermareal de seis playas del Golfo de México (Pensacola, FL.) con respecto a la concentración encontrada en columna de agua.

Yamahara *et al*. (2012) documentan la presencia de indicadores fecales y bacterias patógenas en agua procedente de arena de playa, donde la presencia de *E. coli* y *Enterococcus* spp. fue abundante (al menos 30% de las muestras contenían *Salmonella* spp*, Campylobacter* y/o *Staphylococcus aureus*). Los indicadores fecales (*E. coli y Enterococcus* spp.) presentaron correlación baja a algún patógeno en la columna de agua; sin embargo, la persistencia de *Enterococcus* spp.y su posible crecimiento fue observado en agua proveniente de arena de playa.

Con base en lo anterior, en este estudio se planteó la siguiente hipótesis:

3. HIPÓTESIS

Si las playas arenosas de Veracruz-Boca del Río están expuestas a impactos antropogénicos relacionados con la urbanización y el uso turístico, entonces, *Enterococcus* spp. se presentará en el agua intersticial de la zona intermareal. Su concentración excederá el límite máximo permisible (COFEPRIS) y será más elevada en playas con mayor urbanización y uso.

4. OBJETIVOS

4.1. General

Determinar la abundancia y distribución espacial de *Enterococcus* spp. como contaminante en tres playas arenosas representativas de Veracruz y Boca del Río.

4.2. Particulares

4.2.1 Caracterizar el ambiente intermareal de las playas arenosas Villa del Mar, Mocambo y Arroyo Giote, considerando la salinidad, oxígeno disuelto, pH y temperatura del agua, así como el tipo de sedimento y su contenido de materia orgánica.

4.2.2 Cuantificar la concentración de *Enterococcus* spp. en el agua intersticial de las playas Villa del Mar, Mocambo y Arroyo Giote.

4.2.3 Determinar el grado de contaminación por *Enterococcus* spp. de la zona intermareal de las playas arenosas Mocambo, Villa del Mar y Arroyo Giote.

5. MATERIAL Y MÉTODOS

5.1. Área de estudio

La zona de trabajo se ubica en el corredor turístico de Veracruz-Boca del Río, Veracruz y considera las playas Villa del Mar ($19^{o}11'4.11''N$, $96^{o}07'26.00''O$), Mocambo ($19^{o}07'58.14''N$,

96°06’08.01’’O) y Arroyo Giote (19° 04’57.77’’N, 96°05’03.3’’O). El clima en la región es Am, cálido y húmedo con abundantes lluvias en el verano y parte del otoño, con una corta estación de secas (de abril a mayo), así como una precipitación promedio anual de 1100-2000 mm. La temperatura promedio anual es de 26 °C con una mínima aproximada de 18 °C en el período de enero-febrero (García, 1987; Salas-Pérez & Granado-Barba, 2008).

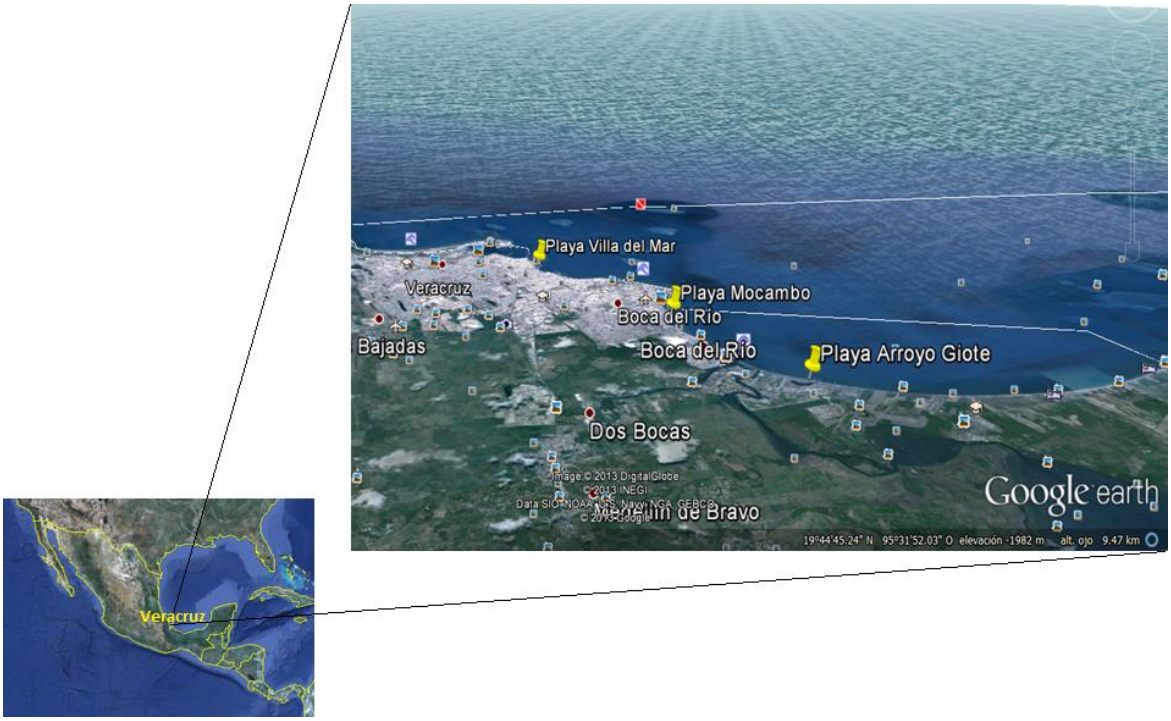


Figura 1. Ubicación del área de estudio.

Veracruz se encuentra en la costa suroeste del Golfo, la cual cuenta con patrones de temperatura, salinidad y velocidad de las corrientes muy similares desde Coatzacoalcos hasta Tampico Alto (Ortiz-Lozano *et al*., 2010*)*. Los vientos, las olas, las mareas y las corrientes son los principales fenómenos físicos que producen la energía que modifica las costas, erosionando, transportando y depositando sedimentos (Azuz-Adeath *et al*., 2009).

El litoral veracruzano está sujeto a un patrón climático estacional que genera una circulación atmosférica- oceánica compleja e inestable durante el año ocasionando cambios en la energía del oleaje, distribución de sedimentos, temperaturas, corrientes litorales, morfología costera y vientos (Salas-Pérez & Granados-Barba, 2008). Uno de los fenómenos que afectan periódicamente las

costas principalmente de Veracruz, es el conocido como "norte", presentándose en los meses de noviembre a mayo y que tienen como origen la invasión de enormes masas de aire frio provenientes de Norte América (Salas-Pérez &Arena Fuentes, 2011).

La zona costera del corredor turístico Veracruz-Boca del Río es ampliamente utilizada con diferentes fines, por lo que se observan playas localizadas en zonas urbanas que han sido modificadas incorporando frente a ellas estructuras de protección costera (escolleras), mientras que en zonas rurales no han sufrido modificaciones importantes por lo que conservan cierta naturalidad. Considerando esta heterogeneidad, en esta investigación se estudiaron tres playas representativas de dicho corredor turístico: Villa del Mar (VM), Mocambo (M) y Arroyo Giote (AG).

Villa del mar es una playa colindante con zona urbana, lo que permite gran afluencia turística. En esta playa es común la presencia de palapas, lanchas y turistas. Tiene extensión aproximada de 300 m. De acuerdo con la caracterización del litoral realizada por Bernal-Ramírez & Granados Barba (2008), es una franja formada por dos escolleras de rocas situadas al norte y sur, que disipan la energía y cambian el patrón de transporte de sedimentos, favoreciendo la acreción (Valadéz-Rocha & Ortiz-Lozano, 2013).

Playa Mocambo tiene una extensión aproximada de 118 m y presenta una pendiente suave, se encuentra entre dos espigones separados entre sí y hace que la corriente litoral sea casi paralela a la línea de costa (Olivares-Cruz, 2010). No colinda directamente con la zona urbana y la presencia de lanchas, palapas y turistas es moderada.

Playa Arroyo Giote tiene una extensión aproximada de 400 m, de acuerdo con la caracterización de Bernal-Ramírez & Granados Barba (2008), es una playa de bahía con pendiente suave protegida con salientes continentales, constituida de arena fina a gruesa, con fragmentos de rocas y organismos carbonatados, terreno irregular formado por pequeñas dunas menores a 0.50 m cubiertas de vegetación. Presenta escaso desarrollo urbano y la presencia de lanchas y turistas es mínima.

5.2. Muestreo

El muestreo se llevó a cabo en las playas Villa del Mar, Mocambo y Arroyo Giote, de las 7:00 a 11:00 h de los días 12 y 13 de marzo de 2013, que corresponden con la temporada de nortes y con los días que presentan menor variación de marea en el mes. Se hizo hacia el final de la temporada de "nortes".

En cada playa, se establecieron dos sitios de muestreo y en cada sitio se ubicaron tres transectos perpendiculares a la línea de costa y separados 5 m uno de otro. Sobre los transectos se colocaron tres estaciones de muestreo correspondientes con los límites de intermarea: Superior (marea alta), Medio e Inferior (marea baja), alineados a la línea de costa. En cada estación de muestreo a profundidad de 10 cm, se recolectó una muestra de 40 mL de agua intersticial y se midió la concentración de enterococos (figura 2).

Con base en lo anterior, de cada playa se recolectaron 18 muestras de agua intersticial, obteniendo un total de 54 muestras. Los sitios y playas fueron identificados como VM1 y VM2 para representar a la Playa Villa del Mar. La Playa Mocambo fue identificada como M3 y M4 y la Playa Arroyo Giote como AG5 y AG6.

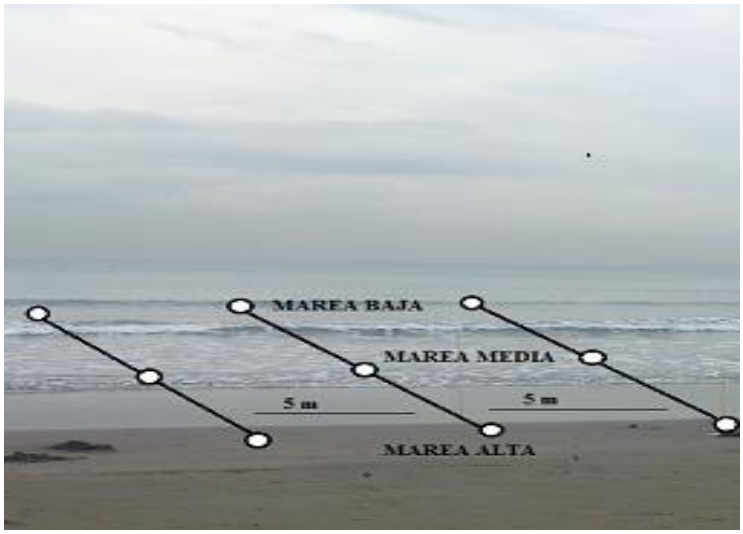


Figura 2. Diseño de transectos de muestreo en playas

Las muestras fueron colectadas bajo condiciones asépticas y utilizando material estéril para evitar la posible contaminación por bacterias u otros organismos. Las muestras se colectaron con una pipeta serológica estéril de 10 mL introducida en el sedimento a 10 cm de profundidad para obtener el agua intersticial que posteriormente se depositó en una bolsa estéril Whirl pak.

5.3. Caracterización ambiental

Con la finalidad de conocer la heterogeneidad ambiental, se registraron parámetros ambientales de salinidad, temperatura, pH y oxígeno disuelto utilizando una sonda paramétrica marcaYSI modelo 556 MPS, obteniendo seis datos para cada parámetro. En cada sitio de muestreo se realizó la medición de la pendiente intermareal desde la zona de rompiente hasta la berma de tormenta con ayuda de un nivel de mano, utilizando un estadal graduado en cm y una cinta métrica (Márquez-García, 2002). Esto con el fin de completar la caracterización general de la playa y representar la morfología de la playa en el plano perpendicular a la línea de costa.

Las muestras de sedimento para realizar el análisis granulométrico y el porcentaje de materia orgánica fueron colectadas con nucleadores de acero inoxidable con un diámetro de 0,1 m^2 y 0.01 m^2 respectivamente, introducidos de forma manual a una profundidad de 10 cm. Las muestras fueron colectadas en los tres niveles de intermarea en el transecto central y en cada sitio de muestreo.

5.4. Trabajo de laboratorio

Las muestras de agua intersticial para cuantificación de *Enterococcus* spp. se analizaron por el método de sustrato cromogénico Enterolert^{TM}, (IDEXX Laboratories, Inc. Westbrook, ME, USA). Las muestras fueron diluidas con agua destilada estéril para obtener una dilución 1:10 homogenizando por agitación manual e incorporando el indicador (sustrato) y agitando posteriormente hasta disolución completa. Cada muestra diluida y adicionada de sustrato fue depositada en una charola multipozos (Quanty-tray 2000, IDEXX, Co), la cual contiene 49 celdas grandes y 48 celdas pequeñas. Posteriormente las charolas fueron selladas, utilizando una selladora Quanty-tray 2X marca IDEXX e incubadas a 41.5± 0.5 ^oC durante un período de 24 h.

Todas las muestras fueron analizadas dentro de las 24 h posteriores a la colecta. Se incluyó un testigo positivo de *Enterococcus faecium* ATCC 35667, el cual fue analizado a la par de la muestras. La interpretación de las celdas fluorescentes se realizó en un gabinete de luz ultravioleta marca Lamac a 365 nm, considerando las celdas grandes y chicas (Anexo 1). Los resultados se expresaron en NMP de enterococos/100 mL.

Con la finalidad de completar la caracterización ambiental, se determinó el contenido de materia orgánica en porcentaje por variación en peso seco (Dean, 1974) y el análisis granulométrico del sedimento para arenas (Buchanan J.B., 1984).

5.5. Análisis de datos

a) Parámetros fisicoquímicos.- Se conformó una matriz de datos de salinidad, pH, oxígeno disuelto y temperatura de las playas estudiadas. Para los datos de sedimento y porcentaje de materia orgánica se realizaron gráficos que incluyen el porcentaje del tipo de sedimento predominante y el porcentaje de materia orgánica para cada sitio. Se utilizó el programa Gradistat 4.0 (Blott & Pye, 2001) y se determinó las características granulométricas del sedimento obteniendo los parámetros texturales.

b) Parámetros microbiológicos.- Como la mayoría de las distribuciones microbiológicas no necesariamente cumplen una distribución simétrica a diferencia de la mayoría de los análisis químicos en los que la distribución de los resultados siguen una distribución gaussiana, los datos obtenidos de la concentración de enterococos se convirtieron a sus logaritmos para lograr una aproximación a la distribución normal. Los datos registrados como “menor a 10”, se consideraron cada dato como 10 y se utilizó estadística descriptiva para observar el comportamiento de los mismos. Con la finalidad de elegir las pruebas estadísticas a utilizar, se realizó la prueba de Levene para comprobar los supuestos que requieren las pruebas paramétricas como son la homocedasticidad (homogeneidad de varianza) y normalidad utilizando el paquete estadístico STATISTICA versión 7.0. Debido que los datos no cumplieron los supuestos de homogeneidad de varianza, se decidió utilizar la prueba no

paramétrica de Kruskal-Wallis para establecer las diferencias con un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$.

5.6. Análisis de integración de resultados

Se utilizó el paquete estadístico PRIMER 6 (Clarke & Gorley, 2005) para aplicar técnicas multivariadas de clasificación (análisis cluster), a partir de una matriz de datos que contiene las observaciones de todas las variables ambientales previamente transformadas a raíz cuadrada. Como medida de disimilitud se utilizó la distancia euclidiana normalizada, ya que las variables se presentan en escalas diferentes y el algoritmo de distancia máximas (unión completa), para observar la agrupación considerando la menor de las distancias entre los miembros más lejanos de los distintos grupos. La representación gráfica de la clasificación y conformación de grupos se realizó por dendrogramas, mismos que se valoran con una ordenación multivariada mediante un Análisis de Escalamiento Multidimensional no Métrico (NMSD). Las técnicas multivariadas como análisis (cluster) y ordenación (NMSD) entre otras, ofrecen una significativa asistencia en la interpretación de matrices complejas de datos (Ahmad *et al.* 2013).
Se utilizaron los paquetes estadísticos Minitab^{R} 17 y STATISTICA (versión 7.0) para establecer si existen diferencias significativas en la concentración de *Enterococcus* spp. entre playas.

6. RESULTADOS

6.1. Caracterización ambiental

6.1.1. Salinidad, oxígeno disuelto, pH, y temperatura.

Los valores de los parámetros ambientales registrados en el agua para cada sitio se muestran en la Tabla 1. La temperatura para las playas del corredor turístico estuvo en el intervalo de 21.39 a 22.11 ^{o}C, obteniendo una media de 21.72 ^{o}C. Los valores de pH fluctuaron entre 7.04 a 7.76 obteniendo una media de 7.47. Los valores de salinidad estuvieron entre 36.38 a 37.33 obteniendo una media de 37.04. Para el parámetro de oxígeno disuelto los valores variaron entre 8.49 a 8.77 con una media de 8.60.

Tabla 1. Parámetros ambientales

Sitio	Salinidad (ups)	Oxígeno disuelto (mg/L)	pH	Temperatura ^{o}C
VM1	37.31	8.57	7.58	21.97
VM2	37.29	8.77	7.04	21.70
M3	37.33	8.56	7.30	21.39
M4	37.28	8.49	7.50	21.47
AG5	36.38	8.55	7.65	22.11
AG6	36.67	8.68	7.76	21.68
Media	37.04	8.60	7.47	21.72

6.1.2. Materia orgánica

6.1.2.1. Porcentaje de materia orgánica en playas

El porcentaje de materia orgánica en los sedimentos para la Playa Villa del Mar varió de 1.97% a 2.15%, y de 2.15% a 2.44% para la Playa Mocambo. La Playa Arroyo Giote registró valores de materia orgánica entre 1.69% a 2.56% (figura 3).

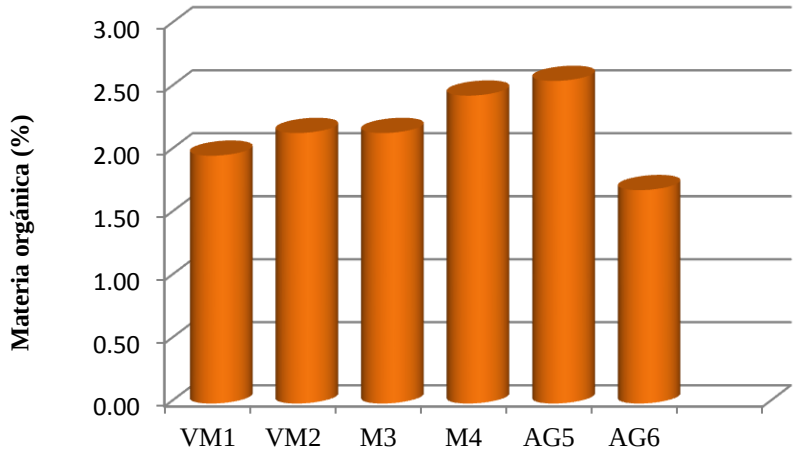


Figura 3. Porcentaje de materia orgánica por sitio

6.1.3. Tipo de sedimento

La composición del sedimento para las playas estudiadas fue predominantemente de arenas finas con porcentajes que fluctuaron entre 63.55 % a 97.19 %. En el sitio 1 y 3 de las playas Villa del Mar y Mocambo, el porcentaje de arena fina fue similar con valor de 96.10 %, sin embargo para el sitio 5 de Arroyo Giote, el porcentaje de arenas finas fue menor, con valor de 79.15 %. Para el sitio 2 y 4, de las playas Villa del Mar y Mocambo, la composición del sedimento para arenas finas registró valores de 97.19% y 85.41% respectivamente. En la Playa Arroyo Giote, para el sitio 6, se observaron valores porcentuales más altos de arena media y arena gruesa de 23.28% y 10.34%, y el menor porcentaje de arenas finas con valor de 63.55% (figura 4).

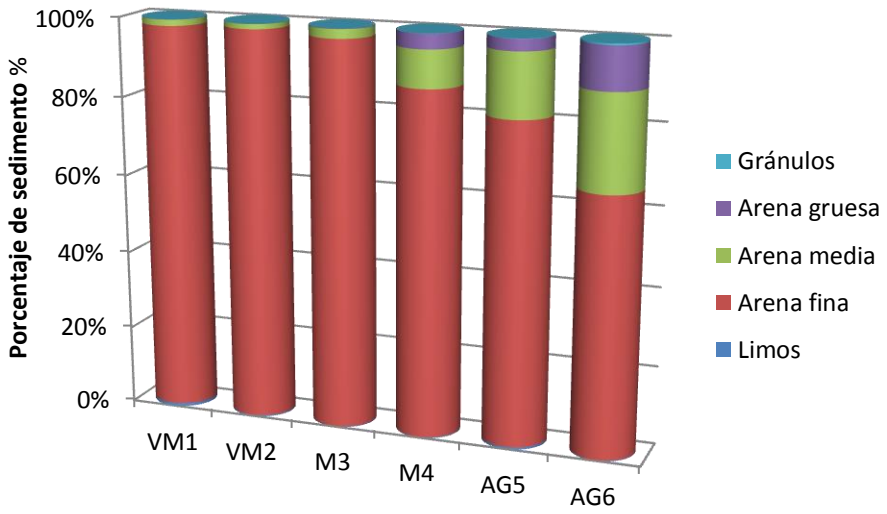


Figura 4. Composición porcentual de sedimentos por sitio

La clasificación de sedimentos para Villa del Mar fue moderadamente bien clasificado para ambos sitios y similar para el sitio 4 de Mocambo; sin embargo, para Arroyo Giote se observa una distribución heterogénea de la clasificación del sedimento, éste varió de mal clasificado para el sitio 6, a moderadamente clasificado para el sitio 5. El sitio 3 de Mocambo fue semejante al sitio 5 de Arroyo Giote (Tabla 2).

Tabla 2. Clasificación de sedimentos en sitios

	VM1	VM2	M3	M4	AG5	AG6
Tamaño de grano (MZ)	2.994	2.988	2.84	2.973	2.735	2.395
Desviación estándar inclusiva (TI)	0.629	0.621	0.807	0.627	0.871	1.182
Grado de asimetría (SK)	0.000	0.000	-0.124	0.000	-0. 128	-0. 202
Curtosis gráfica (KG)	0.738	0.738	0.981	0.738	0. 914	0. 996
Textura	Arena fina	Arena fina	Arena fina	Arena fina	Arena fina	Arena fina
Clasificación	MBC	MBC	MC	MBC	MC	Mal clasificada
Simetría	Simétrico	Simétrico	Asimétrico hacia tamaños gruesos	Simétrico	Asimétrico hacia los tamaños gruesos	Asimétrico hacia los tamaños gruesos
Curtosis	Platicúrtico	Platicúrtico	Mesocúrtico	Platicúrtico	Mesocúrtico	Mesocúrtico

MBC: Moderadamente bien clasificado; **MC**: Moderadamente clasificado

6.1.4. Pendiente intermareal

Los valores de la pendiente de la zona intermareal en los sitios de muestreo para la Playa Villa del Mar variaron entre 3.92^{o} a 4.12^{o}, para la Playa Mocambo, fueron de 5.71º y 3.51^{o}, mientras que para la Playa Arroyo Giote de 4.46^{o} y 5.20^{o}.

6.2. Relación de parámetros ambientales entre sitios

El dendrograma obtenido utilizando una matriz de datos que contiene todos los parámetros ambientales muestra dos grupos principales y en los que el porcentaje de arenas finas parece ser el parámetro de mayor relevancia y en segundo término, el contenido de materia orgánica. El grupo 1 conformado por los sitios VM1, VM2, M3 y M4, se asocian por presentar el mayor porcentaje de arenas finas y el grupo 2 que incluye a los sitios AG5 y AG6, los cuales se asocian por presentar el menor porcentaje de arenas finas. En esta conformación de grupos, la presencia

de estructuras de protección costera, parece ser relevante, ya que los sitios que conforman el grupo 1 corresponden a playas que presentan estructuras de contención. Asimismo, la Playa Arroyo Giote, que es una playa que conserva cierta "naturalidad" (no presenta estructuras de protección), queda incluida en el grupo 2, y se distingue por presentar los menores porcentajes de arenas finas (figura 5).

Cuando se aplica el análisis de escalamiento multidimensional no métrico (NMSD), se observa una ordenación en función de la naturalidad (no modificado) o modificación del ambiente, en el que el porcentaje de arenas finas asocia sitios que sigue un gradiente de mayor a menor porcentaje de arenas finas (figura 6).

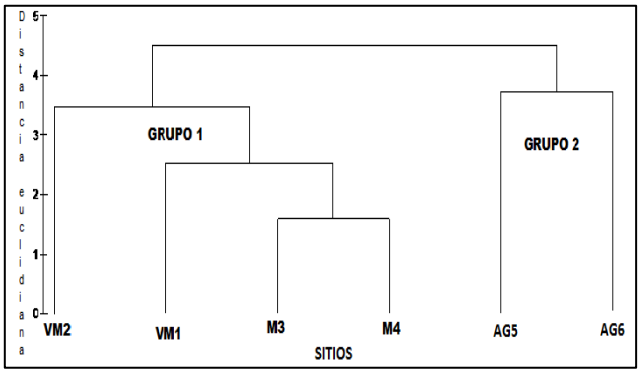


Figura 5. Dendrograma de parámetros ambientales por sitios

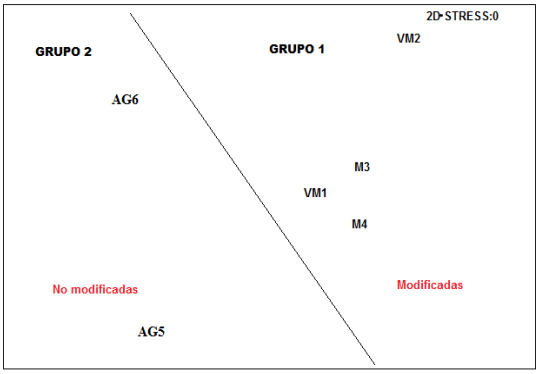


Figura 6. Análisis NMSD con sitios y playa

6.3. Análisis microbiológico

6.3.1. Concentración de enterococos en playas

El indicador microbiano (*Enterococcus* spp) fue detectado en todas las muestras de agua intersticial de las playas, con valores en el rango de 10 NMP/100 mL a 18 171.7 NMP/100 mL. En la Playa Villa del Mar se observó una gran dispersión de los datos, con valores entre 15.0 NMP/100 mL a 18 171.7 NMP/100 mL. En la Playa Mocambo varió de 10.0 NMP/100 mL a 77.3 NMP/100 mL, mientras que en la Playa Arroyo Giote, fluctuó entre 10.0 NMP/100 ml a 20.5 NMP/100 mL (figura 7).

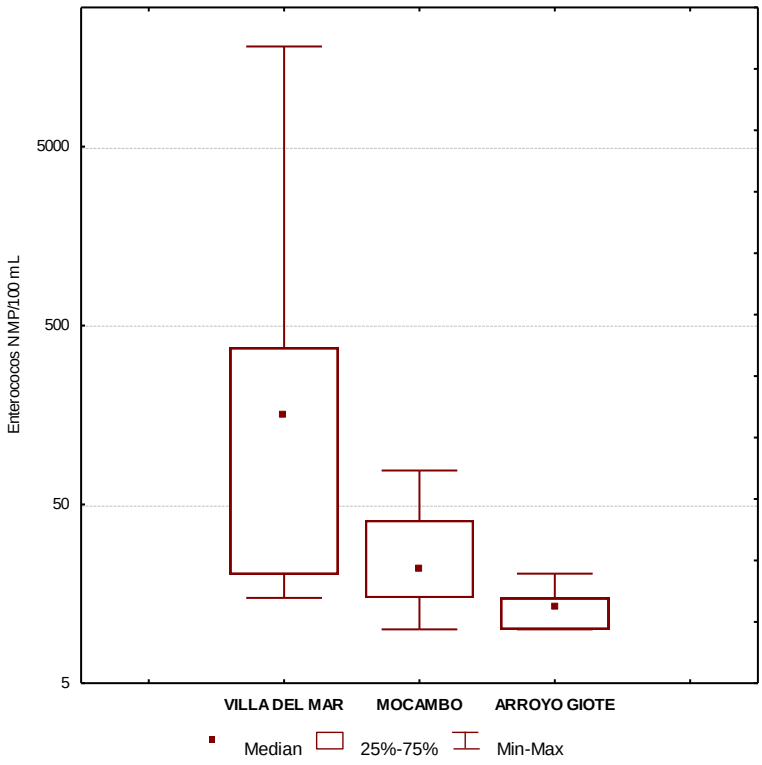


Figura 7. Rango de concentración y variabilidad de enterococos en las playas.

6.3.2. Grado de contaminación en las playas y límite permisible

La concentración más alta de *Enterococcus* spp. se observó en la Playa Villa del Mar (18 171.7) y en esta misma playa se registró mayor frecuencia de valores superiores a 200 NMP/100 mL, mientras que la Playa Arroyo Giote mostró los valores más bajos y ninguno de ellos excedió el límite de 200 NMP/100 mL (Tabla 3).

Tabla 3. Concentración de enterococo NMP/100 mL

Muestra	Villa del Mar	Mocambo	Arroyo Giote
1	48.3	62.0	10.0
2	16.7	40.7	10.0
3	20.3	23.3	10.0
4	376.0	25.0	10.0
5	265.0	77.3	15.0
6	164.7	30.0	20.0
7	2 555.5	45.3	10.0
8	203.0	20.3	15.0
9	1 872.0	23.7	15.0
10	20.0	10.0	13.3
11	15.0	15.0	10.0
12	154.0	55.7	10.0
13	16.7	10.0	20.3
14	25.0	10.0	13.3
15	30.0	15.0	10.0
16	1 445.7	20.0	15.0
17	18 171.7	10.0	20.5
18	314.7	20.0	20.0

Valores superiores a 200 NMP/100 mL se muestran en color rojo.

La densidad promedio de *Enterococcus* spp. fue mayor en la Playa Villa del Mar excediendo el límite permisible para agua de uso recreativo y la menor concentración promedio se observó en la Playa Arroyo Giote. En la Playa Mocambo se observó una densidad promedio intermedia con respecto a las playas Villa del Mar y Arroyo Giote (figura 8).

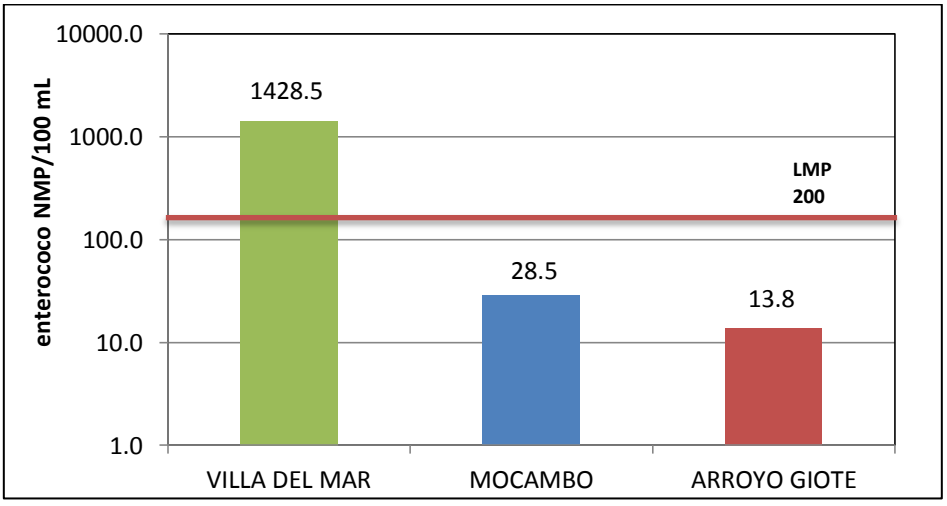


Figura 8. Densidad promedio de enterococos en playas y límite permisible

Cuando se aplica la prueba de Kruskal-Wallis (tabla 4), se observa que existen diferencias significativas entre playas ($P<0.05$).

Tabla 4. Prueba de Kruskal-Wallis para concentración de enterococo

Comparación múltiple de los valores de Z: enterococo		
Variable independiente: Playa		
Prueba de Kruskal-Wallis: H (2 N=54)		
Chi-cuadrada	df	p
16.61538	2	0.0002

7. DISCUSIÓN

7.1. Caracterización ambiental

En general, los valores de los parámetros ambientales registrados en la columna de agua muestran un comportamiento similar entre los sitios de muestreo de las playas Villa del Mar, Mocambo y Arroyo Giote y corresponden a lo reportado en zonas intermareales de playas ubicadas en Veracruz (Pérez-Ruiz, 2012) y similares para zonas intermareales del Golfo de México (Rakocinski *et al*., 1991; Keller & Pomory, 2008).

Los valores de pH corresponden a los reportados por Wrigth (2008), para agua de playas de uso recreativo ubicadas dentro del Golfo de México, que reporta valores en el rango de 6.8 a 8.5. El valor de pH más bajo (7.04) se encontró en la Playa Villa del Mar, el cual podría estar influenciado por la descarga pluvial que ahí se presenta. De acuerdo con Gutiérrez-Mendieta *et al*. (2006), valores bajos de pH en sistemas costeros están influenciados por variaciones estacionales y asociados a descargas pluviales y fluviales. Considerando temperatura y salinidad, los valores registrados son cercanos a lo reportado por Shibata *et al*. (2004), para playas del Golfo de México.

Los valores de oxígeno en la columna de agua mostraron un comportamiento similar y son más altos a los reportados para playas de la Costa de Gaza (4.5-7.0) y Bahía Vergara (5.3) por Célis-Hernández (2009) y Abudaya & Hararah (2013), a pesar de ello, los valores de oxígeno obtenidos en este trabajo son consistentes con lo observado en agua de playa de uso recreativo (Wright, 2008) y con lo reportado por Pérez-Ruiz (2012) para playas de Veracruz. Los valores de oxigeno tienden a ser altos durante la temporada de nortes debido a la turbulencia que estos provocan, sobre todo en aguas someras y superficiales; asimismo, son afectados por procesos químicos y biológicos como oxidación de materia orgánica, procesos de oxidación y fotosíntesis, entre otros (Célis-Hernández, 2009).

Los valores de materia orgánica están por debajo de 3% para todos los sitios, ello podría indicar su activa descomposición al depositarse en el sedimento con una posible demanda o consumo de oxígeno (Almeida-Rodríguez *et al*., 2008). Trojanowski & Bigus (2013), reportaron valores más bajos de materia orgánica en playas durante el invierno que en el verano , y lo atribuyen a la precipitación que en el verano podría favorecer una mayor presencia de vegetación la cual constituye un suministro adicional de materia orgánica para las aguas costeras al llegar a través de la descarga de ríos. En este contexto, el aporte del Arroyo Giote explicaría el valor alto de materia orgánica en el sitio 5 que corresponde a la Playa Arroyo Giote.

Se observó una tendencia al predominio de arenas finas lo cual ha sido reportado anteriormente por Méndez *et al.* (1985) para playas de Veracruz incluyendo Mocambo. El predominio de tamaño de grano de arenas finas a medias se debe a la exposición de la energía del oleaje y al transporte por corriente litoral a lo largo de la línea de costa que son los factores responsables de la disminución del tamaño de partículas por el choque producido entre ellas (Carranza-Edwards, 2001). La excepción se observa en Playa Arroyo Giote que presenta porcentajes de arena fina comparativamente más bajos que las playas Villa del Mar y Mocambo, ello debido a su condición de "playa abierta" cuya energía no favorece la incorporación de materiales finos. Un aspecto relevante es la presencia de estructuras de protección costera en las playas Villa del Mar y Mocambo ya que, de acuerdo con Anthony *et al*. (2011), éstas propician cambios en las características morfodinámicas, principalmente corriente y oleaje, lo que favorece la acumulación de materiales finos en ambientes adyacentes (Bastos *et al*., 2012) como ocurrió en estas playas. Ello va en relación al tipo morfodinámico de la playa, en el cual el tamaño de la pendiente es generalmente menor cuando el tamaño de grano es fino (Jaramillo *et al*., 1998) lo cual se observa de manera similar en todas las playas estudiadas.

Las diferencias observadas en la clasificación del sedimento pueden deberse al evento de norte cuyo viento afecta la velocidad de la corriente y la mezcla de sedimentos terrígenos y biogénicos ocasionando una mala clasificación de los sedimentos (Rosales *et al*., 2008), lo cual es más evidente en la Playa Arroyo Giote, que por su condición, podría estar sometida a una mayor velocidad de corriente y exposición al oleaje. La heterogeneidad en la clasificación del sedimento en esta playa ya ha sido reportada por Galindo-Charles (2001).

En el análisis de ordenación se evidencia la separación de las playas en función de los parámetros ambientales, siendo el porcentaje de arenas finas el que representa un papel importante en esta separación, y permite distinguir las playas modificadas de las que conservan un mayor grado de "naturalidad".

7.2. Concentración de enterococos en playas

Diversos estudios han documentado variaciones en la concentración de enterococos en más de un orden de magnitud en muestras de arena o agua intersticial, incluso si provienen del mismo sitio. Al respecto Bohem (2007), estudió a partir del método de filtración por membrana la variabilidad de enterococos en un período de 24 h en una playa del Sur de California (Lover's Point) y encontró que la concentración del microorganismo en muestras individuales variaba en tres órdenes de magnitud, incluso en valores inferiores al límite de detección del método; él observó valores en el rango de 5 UFC/100 g a 4 452 UFC/100 g. Para detectar *Enterococcus* spp.en arena, o agua intersticial, se utilizan dos métodos aprobados por la Agencia de Protección Ambiental (EPA): filtración por membrana y Enterolert IDEXX (Halliday & Gast, 2011). En ambos se ha observado que las concentraciones de enterococos en arena o agua intersticial presenta la misma variabilidad, por lo que ambos métodos pueden indicar tendencias similares en cuanto a los niveles de contaminación (Bohem *et al*., 2009). En este trabajo se utilizó el método Enterolert IDEXX y como diluyente agua destilada estéril encontrándose *Enterococcus* spp. en todas las muestras.

La concentración de enterococos en las playas Villa del Mar, Mocambo y Arroyo Giote fluctuó desde 10 NMP/100 mL a 18 171.7 NMP/100 mL, lo cual puede relacionarse con la variabilidad propia de la zona intermareal cuya dinámica ocasiona la resuspensión de arena y podría afectar la concentración de enterococos en el agua intersticial. Se ha demostrado que el movimiento del agua en la zona intermareal causa transporte de sedimentos en la playa, así como la distribución de los microorganismos asociados a ella (WHO, 2003; Whitman *et al*., 2014). Se ha documentado que la actividad de agua (a_w) o la disponibilidad de moléculas de agua libre es un

requisito indispensable para la vida de los microorganismos (Atlas & Barta, 1997). En playas arenosas, el agua está localizada en los espacios intersticiales entre los granos de arena, ello podría explicar la presencia de enterococos en el agua intersticial de las playas. En este contexto, aún hay trabajo por realizar en los ambientes de agua intersticial ya que son varios los factores que afectan la supervivencia de microbios por lo que el efecto puede ser inferido de otros ambientes (Whitman *et al*., 2014), por ejemplo, en ambientes acuáticos, factores ambientales como temperatura, salinidad y luz solar ocasionan la reducción *E. coli* y enterococos en aguas superficiales, siendo los enterococos menos sensible a estos efectos (Halliday & Gast, 2011).

El género *Enterococcus* se encontró en todas las muestras del agua intersticial las cuales fueron colectadas a una profundidad de 10 cm lo cual es concordante con Wheeler *et al*. (2003) quienes encontraron al microorganismo a profundidades de 5-10 cm en playas de norteamérica. Esto sugiere que la arena de playa en la zona intermareal ofrece a *Enterococcus* spp.la protección contra la luz solar (Whitman *et al*., 2014) ya que se ha demostrado que la irradiación de la luz solar contribuye a la inactivación microbiana en ambientes acuáticos (Romero *et al*., 2011; Whitman *et al*., 2014). También se ha documentado para otras bacterias indicadoras fecales en Whitman *et al*. (2004) quien determinó que los niveles de *E. coli* en agua del Lago Michigan (EUA) fueron más altos en la mañana y en días nublados comparados con los días de la tarde o soleados. En otro estudio los valores de enterococos en agua intermareal frecuentemente exceden el límite permisible cuando las muestras son colectadas durante la tarde-noche que durante la mañana (Enns *et al*., 2012). Para *E. coli*, la irradiación solar puede tener un efecto microbicida menor en arena o agua intersticial de playas ya que Mika *et al*. (2009), encontraron que la exposición a la luz solar fue un factor no significante en la declinación de concentraciones de *E. coli* en arena en un periodo de ocho días.

La Playa Arroyo Giote mostró un comportamiento más homogéneo en la concentración de enterococos observando valores bajos, muy cercanos al límite de detección del método (10 NMP/100 mL); sin embargo, los resultados obtenidos en este estudio hacen necesario el realizar monitoreos que incluyan la temporalidad de la región, así como valorar la utilización de otro método de laboratorio para la identificación de enterococos. Estudios experimentales han

mostrado que especies del género *Enterococcus* (*Enterococcus faecalis*), y otras bacterias no esporuladas, pueden responder a ambientes acuáticos estresantes alterando su fisiología y permanecer en un estado viable pero no cultivable (células vegetativas no cultivables) por lo que su presencia en el ambiente solo puede ser visualizada por método de cuenta viable (Heim *et al*., 2002; Velonakis *et al*., 2014).

Diferentes autores indican que el grado de urbanización de una playa es un predictor de abundancia de bacterias indicadoras fecales ya que encontraron concentraciones elevadas en arena de playas localizadas cerca de centros poblacionales (Wheeler *et al*., 2003; Cui *et al*., 2013; Kim *et al*., 2013). Las razones se relacionan con estar más expuestas a recibir contaminación fecal de descargas municipales, escorrentía y descarga de nutrientes orgánicos e inorgánicos (Whitman *et al*., 2014). Playas "encerradas" muestran niveles de enterococos dos a tres veces más alto que playas "abiertas" ya que funcionan como reservorios ambientales de este microorganismo en los sedimentos (Halliday & Gast, 2011) y en experimentos de microcosmos, realizados en agua y arena esterilizada, favorecen el aumento de la replicación de las bacterias indicadoras fecales (Whitman *et al*., 2014).

En el caso de la concentración de enterococos, las diferencias observadas entre las playas estudiadas podría relacionarse con el uso del suelo, ya que en zonas con influencia urbana se reportan valores promedio de 3.9×10^6 UFC/100 g de enterococos (Goto & Yan, 2011). Particularmente, en Villa del Mar, una playa colindante con la zona urbana y con estructuras de protección costera, la concentración promedio fue elevada (1 428.5 NMP/100 mL), mientras que en Arroyo Giote, la densidad promedio fue la menor (13.8 NMP/100 mL), además de que ninguna de las muestras de agua intersticial excedió el límite permisible de enterococos para agua de uso recreativo. Esto ha ocurrido en playas arenosas de uso rural (Cui *et al*., 2013; Kim *et al*., 2013).

En el caso de la Playa Mocambo, la concentración promedio de enterococos presentó valor intermedio (28.5 NMP/100 mL) con respecto a las playas Villa del Mar y Arroyo Giote, si bien esta playa está en contacto con zona urbana y presenta estructuras de protección, es una playa con

usos diferentes con respecto a Villa del Mar y Arroyo Giote. Diversos factores han sido propuestos para entender el comportamiento y dispersión de bacterias indicadoras fecales en arena de playa (naturaleza de la playa, marea, descargas residuales, estación, presencia de animales y número de bañistas). Los resultados obtenidos corresponden a lo que se esperaba, de acuerdo a las diferencias que presentan las playas modificadas ubicadas en área urbana con respecto a las no modificadas y en área rural.

Estos resultados demuestran que los enterococos se encuentran en el agua intersticial de la zona intermareal de las playas de Veracruz-Boca del Río de la misma manera que ha sido reportado ampliamente en arena de playa de regiones costeras tropicales y templadas (Wheeler *et al*., 2003; Shibata *et al*., 2004; Ferguson *et al*., 2005; Yamahara *et al*., 2012; Cui *et al*., 2013, Kim *et al*., 2013), e incluso con niveles que exceden el límite permisible para agua de uso recreativo (Genthner *et al*., 2005; Yamahara *et al*., 2012). Probablemente, los factores bióticos (nutrientes y protección contra depredación) y factores físicos (humectación periódica y protección contra la luz solar) podrían, no solo favorecer la supervivencia de enterococos en el agua intersticial, sino que además proveerían un nicho ambiental de promoción de crecimiento en la arena (Solo-Gabriele *et al*., 2000).

Las recomendaciones para mantener la calidad de agua de uso recreativo establecidas por la Secretaria de Salud considera que una sola muestra no exceda el límite de 200 NMP/100 mL de enterococo; sin embargo, en este estudio se registraron siete muestras en la Playa Villa del Mar que exceden el límite permisible, lo que implicaría que se diera el cierre inmediato de la playa si se considerara este criterio. Estos valores elevados de *Enterococcus* spp. son de interés porque en arena se ha demostrado su correlación con patógenos como *Vibrio* spp (Velonakis *et al*., 2014) y *Salmonella typhi* (Ahmad *et al*., 2013), lo que podría representar un riesgo para la salud pública por exposición con ambientes contaminados (Heaney *et al*., 2009).

Se observó un gradiente en la concentración de *Enterococcus* en la zona intermareal de las playas de Veracruz- Boca del Río, mostrando los mayores valores en el límite de intermarea alta y los valores más bajos en el límite de intermarea baja, lo cual podría deberse a que la zona intermareal

baja siempre está cubierta con agua de mar y permite que haya una mayor resuspensión del sedimento, con una consecuente disminución de enterococos (Phillips *et al*., 2011; Yamahara *et al*., 2007; Gruber *et al*., 2005). Al respecto, Oshiro *et al*. (1995) reveló que las concentraciones de enterococos en transectos de arena sumergida a arenas expuestas incrementaban uniformemente y que las más altas concentraciones se encontraban en arena seca, donde la mayoría de las personas se congregan para tomar el sol y comer. Una posible explicación a ello, es que el límite de marea alta en ocasiones permanece sin estar cubierto con agua, lo que refleja un menor contenido de humedad (Shibata *et al*., 2004) y dificulta la permanencia de depredadores protozoarios en esa zona, lo que favorecería una mayor supervivencia de *Enterococcus* spp. (Whitman *et al*., 2014).

Estudio adicionales son necesarios para determinar las fuentes locales de contaminación de *Enterococcus* spp., si son de origen humano, animal o ambiental; si corresponden a poblaciones autóctonas o alotóctonas, así como correlacionarlos con patógenos y enfermedades en usuarios de las playas a través de estudios epidemiológicos. Parámetros como el viento y la densidad de usuarios de la playa podrían ser incluidos de manera más específica para discutir en relación a la carga microbiana en arena (Velonakis *et al*., 2014).

Consideraciones para el manejo de playas

El género *Enterococcus* es ampliamente usado para monitorear la calidad de agua de uso recreativo estableciendo un límite permisible y, si lo excede, las playas son cerradas como medida de protección de la salud de los bañistas (Halliday & Gast, 2011); sin embargo, los bañistas están también en contacto con la arena y el agua intersticial y la calidad microbiológica de ellas no está incluida dentro de los programas de monitoreo. Es común que en la playa se realicen diversas actividades que, como excavación y enterramiento en la arena, conlleva a un mayor contacto con el patógeno y ello es particular en niños menores de 10 años (Velonakis *et al*., 2014).

Existen pocos estudios que demuestren una correlación positiva entre gastroenteritis y exposición con arena (Heaney *et al*., 2009); sin embargo, actualmente hay interés en la asociación potencial

de enfermedades con la arena y su agua intersticial. Una de las dificultades para entender la importancia de la calidad sanitaria de la arena y del agua intersticial, es la falta de un método ampliamente aceptado para la extracción de enterococos en estas matrices. El método basado en la agitación es el más utilizado, pero siguen existiendo diferencias en el tipo de agitación, el tipo de volumen y diluyente utilizado. Al respecto, es común que las investigaciones muestren diferentes resultados en la cuantificación de enterococos aislados de arena o agua intersticial (Signorile *et al*., 1992; WHO, 2003), por ello, es necesario que los estudios adopten un mismo método.

Diversos estudios demuestran que los sedimentos y arenas de la zona intermareal contienen concentraciones más elevadas de bacterias indicadoras fecales en valores de 100 a 1000 veces más que los observados en la columna de agua (Abudaya & Hararah, 2013). En el Mar Báltico la concentración de enterococos en arena seca de una playa recreativa es de tres a nueve veces mayor que en el agua de mar (Skórczewski *et al*., 2012). Whitman *et al*. (2003) encontró de 4-38 veces más elevada la concentración de enterococos en arena que en agua, mientras que Bonilla *et al*. (2007) para Florida reporta 2-23 veces más altas en arena húmeda que en agua y de 30 a 460 veces más elevada en arena seca que en agua.

En algunos casos, la abundancia de bacterias indicadoras fecales en agua de uso recreativo no se relaciona con la presencia de patógenos específicos. por no tener fuentes puntuales de contaminación (Halliday & Gast, 2011); sin embargo, las poblaciones de bacterias indicadoras fecales como enterocos en arena o agua intersticial pueden contribuir a esta falta de correlación entre los niveles del indicador y síntomas de enfermedades ya que es un hecho que la arena de playa puede ser un reservorio de bacterias indicadoras fecales (Wheeler, *et al*., 2003; Yamahara *et al*., 2012; Halliday *et al*., 2014) y la presencia del género *Enterococcus* en el agua intersticial sugiere que bacterias patógenas de origen intestinal podrían también estar presentes (Wheeler *et al*., 2003).

Otras fuentes potenciales de contaminación en agua de las playas incluyen a los visitantes ya que podrían transportar enterococos de arenas contaminadas a través de actividades recreativas al

grado de que un bañista podría contribuir con 6.0 x 10^5 UFC de enterococos a través de partículas de arena adheridas en la piel (Elmir *et al*., 2009). De esta manera, el actual monitoreo de la calidad de las playas por parte del Programa Playas Limpias podría no cumplir los objetivos de protección a la salud y ambiente, por lo que es necesario realizar estudios microbiológicos y epidemiológicos, correlacionarlos con la calidad del agua de uso recreativo y la salud pública.

8. CONCLUSIONES

1.- El ambiente intermareal de las playas arenosas del corredor turístico Veracruz-Boca del Río es homogéneo con respecto a los parámetros ambientales del agua; sin embargo, es heterogéneo en cuanto al tipo de sedimento y su contenido de materia orgánica.

2.- Las concentraciones de *Enterococcus* spp. en agua intersticial de la zona intermareal varían de 10.0 a 18 171.7 NMP/100 mL; las densidades promedio son más elevadas (1428.5 NMP/100 mL, 28.5 NMP/100 mL) en playas ubicadas en la zona urbana (Villa del Mar y Mocambo), que en playas alejadas de ésta (Arroyo Giote).

3.- El género *Enterococcus* está presente en el agua intersticial de la zona intermareal en concentraciones que exceden el límite máximo permisible de la COFEPRIS, siendo Playa Villa del Mar, la que presenta los valores más elevados.

4.- Las zonas intermareales de playas arenosas que han sido modificadas con estructuras de protección costera (escolleras), como son Villa del Mar y Mocambo, presentan mayores concentraciones de enterococos que las que no han sido modificadas.

5.- El grado de contaminación por *Enterococcus* spp.de la zona intermareal de las playas arenosas es alto en Villa del Mar y bajo en Mocambo y Arroyo Giote.

9. LITERATURA CITADA

Abudaya-Mohammed & Hararah-Samir. 2013. Spatial and Temporal Variations in Water Quality along the Coast of Gaza Strip. *J. Environ. Earth Sci*. 3(2):53-63.

Ahmad-Asmat, A C. Dada , Usup-Gires & Y. Heng-Lee. 2013. Validation of the Enterococci indicator for bacteriological quality monitoring of beaches in Malaysia using a multivariate approach. *Springer Plus*. 2:425-443. http://www.springerplus.com/content/2/1/425.

Almeida-Rodríguez, M., Y. De Armas-Vargas & L. Rojas-López. 2008. Caracterización química de los sedimentos sumergidos, elemento clave dentro de un programa de monitoreo ambiental integral en las playas de la bahía de Matanzas. En: IV Simposio Internacional sobre manejo integrado de playas y ecosistemas costeros. Varaplayas 2008. Varadero, Cuba, nov 25-28, 2008. P. 10.

Anthony, E. J., F. Dolique, A. Gardel & D. Marin 2011. Contrasting sand beach morphodynamics in a mud-dominated setting: Cayenne, French Guiana. *J. Coast. Res*. 30-34.

Atlas, RM. & R. Bartha 1997. Microbial ecology: fundamentals and applications. Benjamin Cummings Pub. Co., Menlo Park, CA. 4 pp.

Azuz-Adeath I. & E. Rivera-Arriaga. 2009. Descripción de la dinámica poblacional en la zona costera mexicana durante el periodo 2000-2005. Centro de Enseñanza Técnica y Superior/.Universidad Autónoma de Campeche. Campeche, Camp. 31 pp.

Bastos, L., A. Bio, J.L.S. Pinho, H. Granja & A. Jorge da Silva. 2012. Dynamics of the Douro estuary sand spit before and after breakwater construction. *Estuar. Coast. Self. S*. 109:53-69.

Bernal-Ramírez, R.G. & A. Granados-Barba 2008. Caracterización del litoral veracruzano comprendido entre Punta Gorda y Barrancones, Ver. Congreso Nacional de Oceanografía, y II Reunión Internacional de Ciencias Marinas. Boca del Río, Veracruz, México. 5 pp.

Blott, S. J. & K. Pye. 2001. *Earth Surf. Process. and Landforms.* Gradistat. Version 4.0. University of London. UK. Http://www. Intersciencie.wiley.com/Jpages/0197-9337/sites.html.

Bohem, A.B. 2007. Enterococci concentrations in diverse coastal environments exhibit extreme variability. *Environ. Sci. Technol*. 41(24):8227-8232

Bohem, A.B., J. Griffith, C. McGee, T.A. Edge , H.M. Solo-Gabriele, R. Whitman, Y. Cao, M. Getrich, J.A. Jay, D. Ferguson, K.D. Goodwin, C.M. Lee , M. Madison & S.B. Weisberg.

2009. Faecal indicator bacteria enumeration in beach sand: a comparison study of extraction methods in medium to coarse sands. *J. Appl. Microbiol*. 107(5):1740-1750.

Bonilla, T.D., K. Nowosielski, M. Cuveiler, A. Hartz, M. Geen, N. Esiobu, D.S. McCorquodale, J.M. Fleisher & A. Rogerson. 2007. Prevalence and distribution of fecal indicator organism in South Florida beach sand and preliminary assessment of health effects associated with beach sand exposure. *Mar. Pollut. Bull*. 54:1472-1482.

Borrego, J., F. Arrabal & P. Romero. 1982. Study of Microbiological Pollution of a Malaga Litoral Area: II Relationship between Faecal coliforms and Faecal Streptococci. *J. Etud. Pollut*. 6:561-564.

Botello, A.V., R.V. Osten, G. Gold-Bouchot & C. Agraz-Hernández. 2005. *Golfo de México. Contaminación e impacto ambiental. Diagnóstico y tendencias*. 2th ed. Univ. Autón.de Campeche, Univ. Nal. Autón, de México, Instituto Nacional de Ecología. 696 pp.

Buchanan J.B. 1984. Sediment analysis in: Methods for the study of marine Benthos. eds. Holme. N.A. & McIntyre A.D. Pp. 41-65.

Byappanahalli, M.N., M.B. Nevers, A.S.R. Korajkic & V.J. Harwood. 2012. Enterococci in the Environment. *Microbiol. Mol. Biol. Rev*. 685–706.

Cabelli, V.J. 1983. Health effects criteria for marine recreational waters. EPA-600/1-80-031. US Enviromental Protection Agency. Research Triangle Park. 98 pp.

Carranza-Edwards & Caso-Chávez. 1994. Zonificación del perfil de playa. GEO UNAM. 2 (2):26-32.

Carranza-Edwards, A. 2001. Grain size and sorting in moder beach sands. *J. Coast. Res.* 17:38-52.

Célis-Hernández, O. 2009. Estudio químico de agua y sedimento en Bahía Vergara, Veracruz. México. *Tesis de Maestría*. Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología. México, UNAM. 70 pp.

Clarke, K.R. & R.N. Gorley 2005. Plymoth Routines In Multivariate Ecological Research. PRIMER-E-Ltd. Version. 6.1.6. Plymouth, UK.

COFEPRIS. 2010. Lineamientos para determinar la calidad de agua de mar para uso recreativo de contacto primario. 13 pp.

Costanza R. 2008. Ecosystem services: multiple classification systems are needed. *Biol Cons*. 141:350–352.

Cui H., K. Yang, E. Pagaling & T. Yan 2013. Spatial and temporal variation in enterococcal abundance and its relationship to the microbial community in Hawaii beach band and water. *Appl*. *Environ. Microbiol*. 79(12):3601-3609.

Dean, W.E. 1974. Determination of carbonate and organic matter in calcareous sediments and sedimentary rocks by loss ignition: Comparison with other methods. *J*. *Sedim*. *Petrol*. 44:242-248.

Díaz-Pérez, M., C. Rodríguez-Martínez & R. Zhurbenko. 2010. Aspectos fundamentales sobre el género *Enterococcus* como patógeno de elevada importancia en la actualidad. *Rev*. *Cubana Hig*. *Epidemiol*. 48(2):147-161.

Elmir, S.M., T. Shibata, H.M. Solo-Gabriele, C.D. Sinigalliano, M.L. Gidley, G. Gary-Miller, L. Plano, K. Withum & L.E. Fleming. 2009. Quantitative Evaluation of Enterococci and Bacteroidales Released by Adults and Toddlers in Marine. *Wat*. *Res*. 43(18):4610–4616.

Enns, A.A., L.J. Vogel, A.M. Abdelzaher, H.M. Solo-Gabriele, L.R.W. Plano., M.L. Gidley, M.C. Phillips, J.S. Klaus, A.M. Piggot, Z. Feng, N.H. Jiménez, N.A. Mottaleb, M.E. Schoor, A. Brown, S.Q. Khan, A.S. Dameron, N.C. Salazar & L.E. Fleming. 2012. Spatial and temporal variation in indicator microbe sampling is influential in beach management decisions. *Wat*. *Res*. 46:2237-2246.

Ferguson, D.M., D.F. Moore, M.A. Getrich & M.H. Zhowandai. 2005. Enumeration and speciation of enterococci found in marine and intertidal sediments and coastal water in southern California. *J*. *Appl*. *Microbiol*. 99:598–608.

Finkl, C.W. & S.L. Krupa. 2003. Environmental impacts of Coastal-Plain activities on Sandy beach systems: hazards, perception and mitigation. *J*. *Coast*. *Res*. 35:132-150.

Galindo-Charles, M.I. 2001. Descripción de estructuras sedimentarias y sedimentología de los materiales de playa en la Zona Costera del Puerto de Veracruz. *Tesis de Licenciatura*. Facultad de Ingeniería, México. UNAM. 97 pp.

García, E. 1987. *Apuntes de climatología*. 3a. ed. Larios e hijos impresores. México, D.F. 153 pp.

Genthner, F. J., J.B. James, D.F. Yates & S.D. Friedman. 2005. Use of composite data sets for source-tracking enterococci in the water column and shoreline interstitial waters on Pensacola Beach, Florida. *Mar. Pollut. Bull*. 50:724–732.

Ge, Z., R.L. Whitman, M.B. Nevers, M.S. Phanikumar & M.N. Byappanahalli. 2012. Nearshore hydrodynamics as loading and forcing factors for Escherichia coli contamination at an embayed beach. *Limnol. oceanogr*. 57(1):362-381.

Goto, D. K. & T. Yan. 2011. Effects of Land Uses on Fecal Indicator Bacteria in the Water and Soil of a Tropical Watershed. *Microbes Environ.* 26(3):254–260.

Gruber, S., L. Armand & A. Martin. 2005. Sediments as a reservoir of indicator bacteria in a coastal embayment: Mision Bay, California. Weston solutions, Inc. West Chester, PA. USA. 10 pp.

Gutiérrez-Mendieta, F.J., F. Varona-Cordero & F. Contreras-Espinosa. 2006. Caracterización estacional de las condiciones físico-químicas y de productividad primaria fitoplanctónica de dos lagunas costeras tropicales del estado de Chiapas, México. *Hidrobiol*. 16(2):137-146.

Gutiérrez-Ruiz, C.V., M.A.M. Román-Vives, C.H. Vergara & E.I. Badano. 2011. Impact of anthropogenic disturbances on the diversity of shallow stony corals in the Veracruz Reef System National Park. *Rev. Mex. Biodivers*. 82:249-260.

Halliday, E. & R.J. Gast. 2011. Bacteria in beach sands: An emerging challenge in protecting coastal water quality and bather health. *Environ. Sci. Technol*. 45:370-379.

Halliday E., S.L. McLellan, L.A. Amaral-Zettler, M.L. Sogin, R.J. Gast. 2014. Comparison of bacterial communities in sands and water at beaches with bacterial water quality violations. 2014. PLoS ONE. 9(3):e90815. 1-9 pp. doi: 10.1371.journal.pone.0090815.

Heaney, C., E. Sams, S. Wing, S. Marshall, K. Brenner, A. Dufour. & T.J. Wade. 2009. Contact with beach sand among beachgoers and risk of illness. *Am. J. Epidemiol*. 170:164–172.

Heim, S., L. Del Mar, B. Bonato, C.A. Guzmán & P. Canepari. 2002. The viable but noncultable state and starvation are different stress responses of Enterococcus faecalis, as determined by proteome analysis. *J. Bacteriol*. 184(23):6739–6745.

INEGI. 2012. Anuario de estadísticas por entidad federativa. 505 pp.

Jaramillo E., F. Carrasco, P. Quijon, M. Pino & H. Contreras. 1998. Distribución y estructura comunitaria de la macroinfauna bentónica en la costa del norte de Chile. 1998. *Rev*. *Chil*. *Hist*. *Nat*. 71:459-478.

Keller, W.J. & C.M. Pomory. 2008. Effects of porous mesh groynes on macroinvertebrates of a Sandy beach, Santa Rosa Island, Florida, U.S.A. *Gulf Mex*. *Sci*. 1:36-45.

Kim, H., M. Oh, M. Youm, J. Kim & I. Kim. 2013. Monitoring of faecal indicator bacteria at the recreational beaches of South Korea. In: Conley, D.C., Masselink, G., Russell, P.E. & O'Hare, T.J. (eds.). Proceedings 12th International Coastal Symposium (Plymouth, England). J. Coast. Res. Special Issue No. 65, pp. 76-80.

Márquez-García, A. 2002. Topohidrografía, cartografía y graficación. In: A. Granados-Barba, V. Solís-Weiss & R.G. Bernal Ramírez (eds). Métodos de muestreo en la investigación oceanográfica. Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F. 448 pp.

Méndez-Ubach, M.N., V. Solís-Weiss & A. Carranza-Edwards. 1985. Contribución al conocimiento de las relaciones entre fauna y sedimentos en 29 playas arenosas del Golfo de México. *Tesis Profesional*. Facultad de Ciencias. UNAM. México, D.F. 103 pp.

Mika, K., G. Imamura, C. Chang, V. Conway, G. Fernández, J. Griffith, R. Kampalath. C. Lee, C. Lin, R. Moreno, S. Thompson, R. Whitman & J. Jay. 2009. Pilot and bench scale testing of fecal indicator bacteria survival in marine beach sand near point sources. *J*. *Appl*. *Microbiol*. 107:72–84.

Minitab Statistical. 2006. Versión 17.

Noble, R.T., D.F. Moore, M.K. Leecaster, C.D. McGeed. & S.B. Weisberg. 2003. Comparison of total coliform, fecal coliform, and enterococcus bacterial indicator response for ocean recreational water quality testing. *Wat*. *Res*. 37:1637–1643.

Olivares-Cruz, M. 2010. Estudio sedimentológico de playas ubicadas frente al Sistema Arrecifal Veracruzano, Golfo de México. *Tesis Profesional*. Facultad de Ingeniería. UNAM., México, D.F. 61 pp.

Ortiz-Lozano, L., P. Arceo-Briseño, A. Granados-Barba, D. Salas-Monreal D. & L. Jiménez-Badillo. 2010. Zona Costera. In: Florescano, E. y J. Ortiz-Escamilla (eds). Atlas del patrimonio natural, histórico y cultural de Veracruz. Patrimonio Natural. Comisión del Estado

de Veracruz para la Conmemoración de la Independencia Nacional y la Revolución Mexicana. 146 pp.

Ortiz-Lozano, L., A. Granados-Barba, V. Solís-Weiss & M. García-Salgado 2005. Environmental evaluation and development problems of the Mexican coastal zone. *Ocean & Coast*. *Manag*. 48:171-176.

Ostrolenk, M., N. Kramer & R.C. Cleverdon. 1947. Comparative studies of enterococci and *Escherichia coli* as indices of pollution. *J*. *Bacteriol*. 53:197–203.

Oshiro, R. & R. Fujioka. 1995. Sand, soil, and pigeon droppings: sources of indicator bacteria in the waters of Hanauma Bay, Oahu, Hawaii. *Water Sci*. *Technol*. 31(5):251–254.

Pérez Guzzi, J.I., A.S. Zamora, A.M. Folabella, F.I. Isla & A. Escalante. 2006. Situación sanitaria de la zona balnearia de la ciudad de Mar del Plata, Argentina. En: 1º Congreso Internacional sobre Gestión y Tratamiento Integral del Agua. Córdoba, Argentina, abril 26-28. 2006. P. 7.

Pérez-Ruiz, A. 2012. Estructura comunitaria de la macrofauna bentónica y su relación con la perturbación ambiental en la zona intermareal de Playa Villa del Mar, Veracruz, Golfo de México. *Tesis Maestría en Ecología y Pesquerías*. Veracruz, México. 61 pp.

Phillips, M. C., H.M. Solo-Gabriele, A.M. Piggot, J.S. Klaus & Y. Zhang. 2011. Relationships Between Sand and Water Quality at Recreational Beaches. *Wat*. *Res*. 45(20):6763-6769.

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

Rakocinski, C.., R. Heard, T. Simons & D. Gledhill. 1991. Macroinvertebrate associations from beaches of selected barrier islands in the northern Gulf of Mexico: Important environmental relationships. *Bull*. *Mar*. *Sci*. 48(3):689-701.

Romero, O., A. Straub, T. Khon & T. Nguyen. 2011. Role of temperatura and Suwannee river natural organic matter on inactivation kinetics of rotavirus and bacteriophage MS2 by solar irradiation. *Environ*. *Sci*. *Technol*. 45:10385-10393.

Rosales-Hoz, L., J. Kasper-Zubillaga, A. Carranza-Edwards & Célis Hernández O. 2008. Geochemical composition of surface sediments near Isla de Sacrificios coral reef ecosystem, Veracruz, Mexico. *Hidrobiol*. 18 (2):155-165.

Salas-Pérez, J. & V. Arenas-Fuentes. 2011. Winter water mass of the Veracruz Reef System. *Atmósfera*. 24(2):221-231.

Salas Pérez, J. & A. Granados-Barba. 2008. Oceanographic characterization of the Veracruz reefs system. *Atmósfera*. 21 (3):281-301.

SEMARNAT. 2012. Lineamientos para determinar la calidad del agua de mar con fines recreativos.

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

Signorile, G., M.T. Montagna, G. Sena & R.A. Cavallo. 1992. Bacteriological surveys in waters and sands of Taranto coastal areas. *Ig*. *Mod*. 98(3): 475-483.

Skórczewski, P., Z. Mudryk, J. Gackowska& P. Perlinski. 2012. Abundance and distribution of fecal beach sand in the southern Baltic sea. 2012. *Rev*. *Biol*. *Mar*. *Oceanogr*. 47(3):503-512.

Solo-Gabriele, H.M., M.A. Wofert, T.R. Desmarais & C.J. Palmer. 2000. Sources of Escherichia coli in a coastal subtropical environment. *Appl*. *Envrion*. *Microbiol*. 66:230–237.

Solís-Weiss, V. & A. Granados-Barba. 2004. Diagnosis of enviromental impacts on the Mexican Coastal Zone with a comprehensive ad-hoc database. IOC UNESCO Publ. (France) 188:257-270.

Stat Soft, Inc. 2004. STATISTICA. (data analysis software program). Versión 7.

Trojanowski, J. & Bigus K. 2013. The biochemical composition of sedimentary organic matter in sandy beaches of various anthropopressure. *J*. *Ecol*. *Protec*. *Coastline*. 17:5-20.

Turgeon, P. 2012. Monitoring recreational waters: How to integrate environmental determinants. *J*. *Environ*. *Protect*. 3:798-808.

United States Environmental Protection Agency. 1986. Ambient water quality criteria for bacteria 1986. EPA 440-5-84-002, Washington, DC. USA. 10 pp.

Valadéz-Rocha, V. & L. Ortiz-Lozano. 2013. Spatial and Temporal Effects of Port Facilities Expansion on the Surface Area of Shallow Coral Reefs. *Environ*. *Manag*. 52:250-260.

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

Wheeler, A.E., J. Burke & A. Spain. 2003. Fecal indicator bacteria are abundant in wet sand at freshwater beaches. *Wat*. *Res*. 37:3978–3982.

Wright, M.E. 2008. Evaluation of Enterococci, an indicator microbe, and the sources that impact the water quality at a subtropical non-Point source recreational beach. *These for the degree of Master of Sciences*. University of Miami, Coral Glabes, Florida. USA. 136 pp. http://scholarlyrepository.miami.edu/oa_theses.

Whitman RL, D.A. Shively, H. Pawlik, M.B. Nevers, M.N. Byappanahalli. 2003. Occurrence of Escherichia coli and enterococci in Cladophora (Chlorophyta) in nearshore water and beach sand of Lake Michigan. *Appl*. *Environ*. *Microbiol*. 69:4714–4719

Whitman, R., V. Harwood, T. Edge, M. Nevers, M. Byappanahalli, K. Vijayavel, J. Brandao, M. Saowsky, 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. *Environ*. *Sci*. *Biotechnol*. 13:329-368.

WHO. Microbial aspects of beach sand quality. In: Guidelines for safe recreational water environments. Volume 1: coastal and fresh waters. Geneva: WHO; 2003.

Yamahara, K., B. Layton, A. Santoro & A. Boehm. 2007. Beach sands along the California coast are diffuse sources of fecal bacteria to coastal waters. *Environ*. *Sci*. *Technol*. 41:4515–4521.

Yamahara, K., K. Goodwin & A. Boehm. 2012. Occurrence and persistence of bacterial pathogens and indicator organisms in beach sand along the California Coast. *Appl*. *Environ*. *Microbiol*. 78(6):1735-1745.

Anexos. Tabla NMP/100 mL.

IDEXX Quanti-Tray/2000 Tabla, número más probable

 # Pocillos pequeños positivos

# Pocillos Grandes Positivos	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
0	<1	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0	11.0	12.0	13.0	14.0	15.1	16.1	17.1	18.1	19.1	20.2	21.2	22.2	23.2	24.3
1	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.1	9.1	10.1	11.1	12.1	13.2	14.2	15.2	16.2	17.3	18.3	19.3	20.4	21.4	22.4	23.5	24.5	25.6
2	2.0	3.0	4.1	5.1	6.1	7.1	8.1	9.2	10.2	11.2	12.2	13.3	14.3	15.3	16.4	17.4	18.5	19.5	20.6	21.6	22.6	23.7	24.8	25.8	26.9
3	3.1	4.1	5.1	6.1	7.2	8.2	9.2	10.3	11.3	12.4	13.4	14.4	15.5	16.5	17.6	18.6	19.7	20.8	21.8	22.9	23.9	25.0	26.1	27.1	28.2
4	4.1	5.2	6.2	7.2	8.3	9.3	10.4	11.4	12.5	13.5	14.6	15.6	16.7	17.8	18.8	19.9	21.0	22.0	23.1	24.2	25.2	26.3	27.4	28.5	29.6
5	5.2	6.3	7.3	8.4	9.4	10.5	11.5	12.6	13.7	14.7	15.8	16.9	17.9	19.0	20.1	21.2	22.2	23.3	24.4	25.5	26.6	27.7	28.8	29.9	31.0
6	6.3	7.4	8.4	9.5	10.6	11.6	12.7	13.8	14.9	15.9	17.0	18.1	19.2	20.3	21.4	22.5	23.6	24.7	25.8	26.9	28.0	29.1	30.2	31.3	32.4
7	7.4	8.5	9.6	10.7	11.8	12.8	13.9	15.0	16.1	17.2	18.3	19.4	20.5	21.6	22.7	23.8	24.9	26.0	27.1	28.3	29.4	30.5	31.6	32.8	33.9
8	8.5	9.7	10.8	11.9	13.0	14.1	15.2	16.3	17.4	18.5	19.6	20.7	21.8	22.9	24.1	25.2	26.3	27.4	28.6	29.7	30.8	32.0	33.1	34.3	35.4
9	9.6	10.9	12.0	13.1	14.2	15.3	16.4	17.5	18.7	19.8	20.9	22.0	23.2	24.3	25.4	26.6	27.7	28.9	30.0	31.2	32.3	33.5	34.6	35.8	37.0
10	11.0	12.1	13.2	14.3	15.5	16.6	17.7	18.9	20.0	21.1	22.3	23.4	24.6	25.7	26.9	28.0	29.2	30.3	31.5	32.7	33.8	35.0	36.2	37.4	38.6
11	12.2	13.4	14.5	15.6	16.8	17.9	19.1	20.2	21.4	22.5	23.7	24.8	26.0	27.2	28.3	29.5	30.7	31.9	33.0	34.2	35.4	36.6	37.8	39.0	40.2
12	13.5	14.6	15.8	16.9	18.1	19.3	20.4	21.6	22.7	23.9	25.1	26.3	27.5	28.6	29.8	31.0	32.2	33.4	34.6	35.8	37.0	38.2	39.4	40.7	41.9
13	14.8	16.0	17.1	18.3	19.5	20.6	21.8	23.0	24.2	25.4	26.6	27.8	29.0	30.2	31.4	32.6	33.8	35.0	36.2	37.5	38.7	39.9	41.1	42.4	43.6
14	16.1	17.3	18.5	19.7	20.9	22.1	23.3	24.4	25.7	26.9	28.1	29.3	30.5	31.7	33.0	34.2	35.4	36.7	37.9	39.1	40.4	41.6	42.9	44.2	45.4
15	17.5	18.7	19.9	21.1	22.3	23.5	24.7	25.9	27.2	28.4	29.6	30.9	32.1	33.3	34.6	35.8	37.1	38.4	39.8	40.9	42.2	43.4	44.7	46.0	47.3
16	18.9	20.1	21.3	22.6	23.8	25.0	26.2	27.5	28.7	30.0	31.2	32.5	33.7	35.0	36.3	37.5	38.8	40.1	41.4	42.7	44.0	45.3	46.6	47.9	49.2
17	20.3	21.6	22.8	24.0	25.3	26.5	27.8	29.1	30.3	31.6	32.9	34.1	35.4	36.7	38.0	39.3	40.6	41.9	43.2	44.5	45.9	47.2	48.5	49.8	51.2
18	21.8	23.1	24.3	25.6	26.9	28.1	29.4	30.7	32.0	33.3	34.6	35.9	37.2	38.5	39.8	41.1	42.4	43.8	45.1	46.4	47.8	49.1	50.5	51.9	53.2
19	23.3	24.6	25.9	27.2	28.5	29.8	31.1	32.4	33.7	35.0	36.3	37.6	39.0	40.3	41.6	43.0	44.3	45.7	47.1	48.4	49.8	51.2	52.6	54.0	55.4
20	24.9	26.2	27.5	28.8	30.1	31.4	32.8	34.1	35.4	36.8	38.1	39.5	40.8	42.2	43.6	44.9	46.3	47.7	49.1	50.5	51.9	53.3	54.7	56.1	57.6
21	26.5	27.8	29.2	30.5	31.8	33.2	34.5	35.9	37.3	38.6	40.0	41.4	42.8	44.1	45.5	46.9	48.4	49.8	51.2	52.6	54.1	55.5	56.9	58.4	59.9
22	28.2	29.5	30.9	32.3	33.6	35.0	36.4	37.7	39.1	40.5	41.9	43.3	44.7	46.2	47.6	49.0	50.5	51.9	53.4	54.8	56.3	57.8	59.3	60.7	62.2
23	29.9	31.3	32.7	34.1	35.4	36.8	38.2	39.7	41.1	42.5	43.9	45.4	46.8	48.3	49.7	51.2	52.7	54.2	55.6	57.1	58.6	60.2	61.7	63.2	64.7
24	31.7	33.1	34.5	35.9	37.3	38.8	40.2	41.6	43.1	44.6	46.0	47.5	49.0	50.5	51.9	53.4	55.0	56.5	58.0	59.5	61.1	62.6	64.2	65.8	67.3
25	33.5	35.0	36.4	37.9	39.3	40.8	42.2	43.7	45.2	46.7	48.2	49.7	51.2	52.7	54.3	55.8	57.3	58.9	60.5	62.0	63.6	65.2	66.8	68.4	70.0
26	35.5	36.9	38.4	39.9	41.3	42.8	44.3	45.9	47.4	48.9	50.4	52.0	53.5	55.1	56.7	58.2	59.8	61.4	63.0	64.7	66.3	67.9	69.6	71.2	72.9
27	37.4	38.9	40.4	41.9	43.5	45.0	46.5	48.1	49.6	51.2	52.8	54.4	56.0	57.6	59.2	60.8	62.4	64.1	65.7	67.4	69.1	70.8	72.5	74.2	75.9
28	39.5	41.0	42.6	44.1	45.7	47.2	48.8	50.4	52.0	53.6	55.2	56.9	58.5	60.1	61.8	63.5	65.2	66.9	68.6	70.3	72.0	73.7	75.5	77.3	79.0
29	41.6	43.2	44.8	46.4	48.0	49.6	51.2	52.8	54.5	56.1	57.8	59.5	61.2	62.9	64.6	66.3	68.0	69.8	71.5	73.3	75.1	76.9	78.7	80.5	82.3
30	43.9	45.5	47.1	48.7	50.4	52.0	53.7	55.4	57.1	58.8	60.5	62.2	64.0	65.7	67.5	69.3	71.0	72.8	74.7	76.5	78.3	80.2	82.1	84.0	85.9
31	46.2	47.9	49.5	51.2	52.9	54.6	56.3	58.1	59.8	61.6	63.3	65.1	66.9	68.7	70.5	72.4	74.2	76.1	78.0	79.9	81.8	83.7	85.7	87.8	89.6
32	48.7	50.4	52.1	53.8	55.6	57.3	59.1	60.9	62.7	64.5	66.3	68.1	70.0	71.9	73.8	75.7	77.6	79.5	81.5	83.5	85.4	87.5	89.5	91.5	93.6
33	51.2	53.0	54.7	56.5	58.3	60.1	62.0	63.8	65.7	67.6	69.5	71.4	73.3	75.2	77.2	79.2	81.2	83.2	85.2	87.3	89.3	91.4	93.5	95.7	97.8
34	53.9	55.7	57.6	59.4	61.3	63.1	65.0	66.9	68.9	70.8	72.8	74.8	76.8	78.8	80.8	82.9	85.0	87.1	89.2	91.4	93.5	95.7	97.9	100.1	102.4
35	56.8	58.6	60.5	62.4	64.4	66.3	68.3	70.3	72.3	74.3	76.3	78.4	80.5	82.6	84.7	86.9	89.1	91.3	93.5	95.7	98.0	100.3	102.6	105.0	107.3
36	59.8	61.7	63.7	65.7	67.7	69.7	71.7	73.8	75.9	78.0	80.1	82.3	84.5	86.7	88.9	91.2	93.5	95.8	98.1	100.5	102.9	105.3	107.7	110.2	112.7
37	62.9	65.0	67.0	69.1	71.2	73.3	75.4	77.6	79.8	82.0	84.2	86.5	88.8	91.1	93.4	95.8	98.2	100.6	103.1	105.6	108.1	110.7	113.3	115.9	118.6
38	66.3	68.4	70.6	72.7	74.9	77.1	79.4	81.6	83.9	86.2	88.6	91.0	93.4	95.8	98.3	100.8	103.4	105.9	108.6	111.2	113.9	116.6	119.4	122.2	125.0
39	69.9	72.2	74.4	76.6	78.9	81.3	83.6	86.0	88.4	90.9	93.3	95.9	98.4	101.0	103.6	106.3	109.0	111.8	114.5	117.4	120.3	123.2	126.1	129.2	132.2
40	73.8	76.2	78.5	80.9	83.3	85.7	88.2	90.7	93.3	95.9	98.5	101.2	103.9	106.7	109.5	112.4	115.3	118.2	121.2	124.2	127.3	130.5	133.7	137.0	140.3
41	78.0	80.5	83.0	85.5	88.0	90.6	93.3	95.9	98.7	101.4	104.3	107.1	110.0	113.0	116.0	119.1	122.2	125.4	128.7	132.0	135.3	138.8	142.3	145.9	149.5
42	82.6	85.2	87.8	90.5	93.2	96.0	98.8	101.7	104.6	107.6	110.6	113.7	116.9	120.1	123.3	126.7	130.1	133.6	137.1	140.8	144.5	148.3	152.2	156.1	160.2
43	87.6	90.4	93.2	96.0	99.0	101.9	105.0	108.1	111.2	114.5	117.8	121.1	124.6	128.1	131.7	135.4	139.1	143.0	147.0	151.0	155.1	159.4	163.8	168.2	172.8
44	93.1	96.1	99.1	102.2	105.4	108.8	111.9	115.3	118.7	122.3	125.9	129.6	133.4	137.4	141.4	145.5	149.7	154.1	158.5	163.1	167.8	172.7	177.7	182.9	188.2
45	99.3	102.5	105.8	109.2	112.6	116.2	119.8	123.6	127.4	131.3	135.4	139.6	143.9	148.3	152.9	157.6	162.4	167.4	172.6	177.9	183.5	189.2	195.1	201.2	207.5
46	106.3	109.8	113.4	117.2	121.0	125.0	129.1	133.3	137.6	142.1	146.7	151.5	156.5	161.6	166.9	172.5	178.2	184.2	190.4	196.8	203.5	210.5	217.8	225.4	233.3
47	114.3	118.3	122.4	126.6	130.9	135.4	140.1	145.0	150.0	155.3	160.7	166.4	172.3	178.5	185.0	191.8	198.9	206.3	214.2	222.4	231.0	240.0	249.5	259.5	270.0
48	123.9	128.4	133.1	137.9	143.0	148.3	153.9	159.7	165.8	172.2	178.9	186.0	193.5	201.4	209.8	218.7	228.2	238.2	248.9	260.2	272.3	285.1	298.7	313.0	328.2
49	135.5	140.8	146.4	152.3	158.5	165.0	172.0	179.3	187.2	195.6	204.6	214.3	224.7	235.9	248.1	261.3	275.5	290.9	307.6	325.5	344.8	365.4	387.3	410.6	435.2