



EDUCACIÓN

SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO

Instituto Tecnológico de Boca del Río

"2020, Año de Leona Vicario, Benemérita Madre de la Patria"



SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA

TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE BOCA DEL RÍO

DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN

"EFECTIVIDAD BIOLÓGICA DE TRES BACTERIAS
(ENTEROCOCOS, COLIFORMES Y *Vibrios sp*) COMO
BIOINDICADORAS DE CONTAMINACIÓN ANTROPOGÉNICA EN
SISTEMAS COSTEROS TROPICALES"

TESIS

QUE COMO REQUISITO PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS EN INGENIERÍA AMBIENTAL

PRESENTA

TAMARA CARVAJAL GOMEZ

DIRECTOR DE TESIS

M.C. CHRISTIAN REYES VELAZQUEZ

DIRECTOR DE TESIS

DRA. MARÍA DEL REFUGIO CASTAÑEDA CHÁVEZ

ASESORA

DRA. FABIOLA LANGO REINOSO

ENERO 2020

BOCA DEL RÍO, VERACRUZ, MÉXICO

Km. 12 Carretera Veracruz-Córdoba C.P.94290

Boca del Río, Veracruz. Tel. (229) 690-5010 e-mail: dir01_bdelrio@tecnm.mx

www.tecnm.mx | www.bdelrio.tecnm.mx





Instituto Tecnológico de Boca del Río
Subdirección Académica
División de Estudios de Posgrado e

"2020, Año de Leona Vicario, Benemérita Madre de la Patria"

Boca del Río, Ver., **09/junio/2020**
Asunto: **CONSTANCIA DE
NO INCONVENIENCIA**

LIC. MAGALI DE LOURDES MARTÍNEZ CANALES
JEFA DEL DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES
Presente.

AT'N.LIC. SONIA CONCEPCIÓN SOLÍS SOLÍS
GESTOR DE TITULACIÓN
Presente.

Por medio del presente, me permito hacer constar que el(a) candidato(a) a Maestro en Ciencias en Ingeniería Ambiental C. **TAMARA CARVAJAL GÓMEZ** de la generación enero 2018 - diciembre 2019 con número de control **18990034**, cumplió con todos los requisitos para su liberación como tesista, mismos que incluyen la presentación del manuscrito final de tesis autorizado por su director de tesis **M.C. CHRISTIAN REYES VELÁZQUEZ**, y él envió del artículo derivado de su tesis de grado a una revista indexada.

Por lo anterior no tengo inconveniente en que realice los trámites correspondientes para el acto recepcional para la obtención del grado de Maestro en Ciencias, en la fecha y hora que defina el candidato con su Director de tesis.

Sin otro particular y para los fines legales que corresponda, quedo de usted.

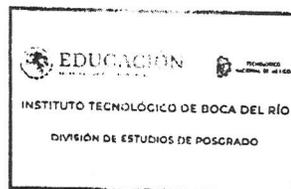
A T E N T A M E N T E
Excelencia en Educación Tecnológica®
Por nuestros mares responderemos

Vo.Bo.

M.C. ANA LETICIA PLATAS PINOS
**JEFA DE LA DIVISION DE ESTUDIOS DE
POSGRADO E INVESTIGACIÓN**

M.C. CHRISTIAN REYES VELÁZQUEZ
DIRECTOR DE TESIS

c.c.p. Coordinador de MCIAMB
c.c.p. Expediente





"2020, Año de Leona Vicario, Benemerita Madre de la Patria"

ACTA DE REVISIÓN DE TESIS

Número Registro: **A-0704-130818**

En la ciudad de Boca del Río, Ver., siendo las 12:00 horas del día 12 del mes de mayo de 2020 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de Tesis designada por el Consejo del Posgrado de la Maestría en Ciencias en Ingeniería Ambiental del ITBOCA, para examinar la Tesis de Grado titulada:

"EFECTIVIDAD BIOLÓGICA DE TRES BACTERIAS (ENTEROCOCOS, COLIFORMES Y *Vibrios sp*) COMO BIOINDICADORAS DE CONTAMINACIÓN ANTROPOGÉNICA EN SISTEMAS COSTEROS TROPICALES"

Que presenta el (la) alumno(a):

TAMARA CARVAJAL GÓMEZ

Aspirante al Grado de:

Maestro en Ciencias en Ingeniería Ambiental

Después de escuchar las opiniones sobre el documento escrito e intercambiar puntos de vista, los miembros de la Comisión manifestaron SU APROBACIÓN, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes para su defensa ante el jurado correspondiente.

LA COMISIÓN REVISORA:

M.C. Christian Reyes Velázquez
Director

Dra. María del Refugio Castañeda Chávez
Co-Director

Dra. Fabiola Lango Reynoso
Asesor



La Maestría en Ciencias en Ingeniería Ambiental del Instituto Tecnológico de Boca del Río está incluida en el Programa Nacional de Posgrados de Calidad (PNPC) del CONACyT con la referencia 005071.

Era el mejor de los tiempos, era el peor de los tiempos, era la edad de la sabiduría, era la edad de la insensatez, era la época de la creencia, era la época de la incredulidad, era la estación de la luz, era la estación de la oscuridad, era la primavera de la esperanza, era el invierno de la desesperación.

- Charles Dickens

DEDICATORIA

Quisiera dedicarle este trabajo a las personas que más amo

A las mujeres de mi vida, Irma Patraca García. y Patricia Gómez Patraca.

A los hombres de mi vida, Antonio Vega Martínez y Juan F. Gómez Acosta (QPD)

A mis amigos de posgrado por ser los mejores que pude encontrar

Al grupo de trabajo por su ayuda y paciencia, por su amistad.

A los bebecitos, Teogordi, Lupetruela, Panduca, Petushinni, Turulina y Firuli.

Por su amor y apoyo incondicional.

AGRADECIMIENTOS

Al CONACYT por el apoyo de la beca en la formación del posgrado Maestría en Ciencias en Ingeniería Ambiental del ITBOCA.

Al Instituto Tecnológico de Boca del Río por la formación dentro de sus instalaciones y por el apoyo al proyecto de investigación: Efectividad biológica de tres bacterias (enterococos, coliformes y *Vibrios spp*) como bioindicadoras de contaminación antropogénica en sistemas costeros tropicales.

A mi comité académico la Dra. Ma. del Refugio Castañeda, Dra. Fabiola Lango Reynoso por el apoyo y las oportunidades brindadas.

En especial a usted M.C. Christian Reyes-Velázquez por su paciencia, apoyo, consejos, ayuda, optimismo, sinceridad y dedicación incondicional, sin usted todo este trabajo no sería posible, ni se habría terminado muchas muchas gracias.

RESUMEN

Los municipios de Veracruz, Boca del Río y Alvarado han crecido en la última década debido a la ampliación del puerto y al aumento de las actividades industriales que generan un impacto negativo en el ambiente, lo que afecta directamente a los ecosistemas costeros, como es el caso de los arrecifes de coral; estos impactos pueden favorecer la presencia de bacterias de importancia clínica y ambiental, con lo cual se generara un deterioro ambiental. Es por ello que en este estudio se investigó la presencia de bacterias bioindicadoras de contaminación ambiental, así como, bacterias *Vibrio* sp. las cuales cuentan con importancia clínica, para determinar la relación del incremento de concentración de estas con el aumento de la actividad antropogénica en tres arrecifes del Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano. Se encontró que existe una relación positiva entre la concentración de enterococos y las zonas de mayor impacto antropogénico, sin embargo los coliformes no fueron aptos para sistemas costeros tropicales al no ser organismos halófitos, lo cual dificulta su uso como bioindicador en sistemas costeros, por otro lado los vibrios, se encuentran muy bien adaptados a éste tipo de sistemas por lo que superaron el nivel de detección de la prueba siempre.

Palabras clave: Contaminación antropogénica, Sistema Arrecifal Veracruzano, Bacterias Bioindicadoras, enterococos, coliformes totales, *Vibrio* spp.

ABSTRACT

The township of Veracruz, Boca del Río and Alvarado have grown in the last decade due to the expansion of the port and the increase in industrial activities that affect a negative impact on the environment, which directly affects coastal ecosystems, such as the case of coral reefs; These problems can favor the presence of bacteria of clinical and environmental importance, which generates environmental damage. That is why in this study the presence of bioindicating bacteria of environmental contamination was investigated, as well as *Vibrio* sp. which have clinical importance, to determine the relationship of the increase in concentration of these with the increase in anthropogenic activity in three reefs of the Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano. It was found that there is a positive relationship between the concentration of enterococci and the areas of greatest anthropogenic impact, however coliforms were not suitable for tropical coastal systems as they are not halophyte organisms, which is difficult to use as a bioindicator in coastal systems, due to On the other hand, the vibrios are very well adapted to this type of system, so they always exceeded the detection level of the test.

Key words: Anthropogenic pollution, Sistema Arrecifal Veracruzano, Bioindicator Bacteria, enterococci, total coliforms, *Vibrio* sp.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. ANTECEDENTES.....	3
2.1. Contaminación.....	3
2.1.1. Tipos de contaminación.....	3
2.1.2. Contaminación del agua.....	5
2.1.3. Fuentes.....	6
2.1.4. Contaminación antropogénica.....	7
2.2. Bioindicadores de contaminación antropogénica en sistemas costeros.....	8
2.2.1. Bacterias bioindicadoras de contaminación.....	9
2.2.2. Enterococos.....	10
2.2.3. Coliformes.....	11
2.2.4. Contradicciones del uso de los bioindicadores recomendados en las normas.12	
2.2.5. <i>Vibrio</i> spp. como bioindicador alternativo.....	13
3. JUSTIFICACIÓN.....	16
4. OBJETIVOS.....	17
4.1. Objetivo general.....	17
4.2. Objetivos específicos.....	17
5. MATERIALES Y MÉTODOS.....	18
5.1. Área de estudio.....	18
5.2. Caracterización de las actividades de los sitios de muestreo.....	20
5.3. Determinación de la presencia y concentración de Coliformes, Enterococos y <i>Vibrio</i> spp. en la columna del agua y en agua de fondo del área de estudio.....	20

5.3.1 Toma de Muestra.....	20
5.3.2. Transporte de muestra.....	21
5.3.3. Procesamiento de la muestra	21
5.3.4. Análisis de Enterococos.....	21
5.3.5. Análisis de Vibrio spp.....	22
5.3.6. Análisis de Coliformes.	23
5.4. Determinación de mejor bacteria bioindicadora (Coliformes, Enterococos y Vibrio spp.).....	24
5.4.1. Análisis de datos.....	24
6. RESULTADOS y DISCUSIÓN	25
6.1. Caracterización de las actividades antropogénicas realizadas en el área de estudio.	25
6.2. Determinación de la presencia y concentración de Coliformes, Enterococos y <i>Vibrio</i> spp. en la columna del agua y en agua de fondo del área de estudio.	36
6.3. Determinar la variación espacio-temporal con respecto a las concentraciones de bacteria bioindicadoras.	42
6.4. Establecer cuál de las tres bacterias tiene mayor eficiencia como bioindicador de contaminación antropogénica en sistemas costeros tropicales	46
7. CONCLUSIÓN.....	47
9. REFERENCIAS.....	49
ANEXOS 1	58
Datos obtenidos de INEGI, SECTUR, SAGARPA, CONAPESCA Y API VER para la determinación de actividades por sitio de muestreo.....	58
1. Número de hoteles en la zona conurbada de Veracruz-Boca del río y Alvarado durante el 2019. Información proporcionada por la secretaria de turismo.	58

2. Porcentaje de la ocupación hotelera registrada en los diferentes meses del año registrada en los municipios de Veracruz, Boca del río y Alvarado.....	59
3. Número de embarcaciones menores con motor abordo atracadas en los puertos de los municipios de Veracruz, Boca del río y Alvarado. Información proporcionada por la Comisión nacional de pesca (CONAPESCA).....	60
4. Información de la actividad pesquera en los municipios de Veracruz y Alvarado en el 2016. Información por SAGARPA.	61
5. Movimiento portuario registrado en el periodo de enero a octubre del 2019. Información de APIVer y la secretaria de comunicaciones.	63
6. Crecimiento poblacional y demográfico del municipio de Alvarado hasta el 2010. Datos reportados en el estadístico del INEGI 2010.	68
7. Crecimiento poblacional y demográfico del municipio de Boca del Río hasta el 2010. Datos reportados en el estadístico del INEGI 2010.....	69
8. Crecimiento poblacional y demográfico del municipio de Veracruz hasta el 2010. Datos reportados en el estadístico del INEGI 2010.....	70
ANEXO 2.....	71
PREPARACIÓN DE MATERIALES Y MEDIOS.....	71
1. Esterilización de material del proyecto.....	71
2. Preparación del agua peptonada alcalina (APA).....	73
3. Preparación de Agar Tiosulfato Citrato Bilis Sacarosa (TCBS).....	74
Se pesan 89 gramos de medio seco con una báscula granataria, y se hidrata y disuelve en 1 litro de agua, se deja reposar por 5 minutos. Posteriormente se calienta agitando frecuentemente hasta la ebullición con el fin de que se disuelva completamente.	74
4. Preparación de medio Endo para coliformes totales.....	75
5. Preparación de medio Bilis Esculina Azida (BEA).....	76
ANEXO 3.....	77

REGISTRO FOTOGRÁFICO	77
1. Imágenes del sitio de muestreo.	77
2. Equipo utilizado para procesar las muestras.....	78
3. Trabajo de laboratorio y compañeros de trabajo que colaboraron en el proyecto.....	79
4. Resultado de las muestras procesadas.	80

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tabla con los contaminantes producido por las diversas actividades humanas, los cuales son vertidos a efluentes. Información tomada de Cuencaet al.,2018.	6
Tabla 2. Actividades económicas, acciones que se realizan y posibles contaminantes, que generan presión sobre el arrecife la Gallega. Información tomada de El corredor arrecifal del suroeste del golfo de México. Retos y Oportunidades Para su Protección de Ortiz-Lozano y colaboradores del 2018. ...	31
Tabla 3. Actividades económicas, acciones que se realizan y posibles contaminantes, que generan presión sobre el arrecife Chopas. Información tomada de El corredor arrecifal del suroeste del golfo de México. Retos y Oportunidades Para su Protección de Ortiz-Lozano y colaboradores del 2018.....	33
Tabla 4. Actividades económicas, acciones que se realizan y posibles contaminantes, que generan presión sobre el arrecife de Enmedio. Información tomada de El corredor arrecifal del suroeste del golfo de México. Retos y Oportunidades Para su Protección de Ortiz-Lozano y colaboradores del 2018. ...	35
Tabla 5. Valores medios de la concentración de enterococo. (UF/100 ml de agua) de tres arrecifes del PNSAV a dos profundidades, durante las temporadas de nortes y secas.	38
Tabla 6. Valores medios de la concentración de coliformes. (UF/100 ml de agua) de tres arrecifes del PNSAV a dos profundidades, durante las temporadas de nortes y secas.	40
Tabla 7. Representación de las presencias y ausencias de <i>Vibrio cholerae</i> y <i>V. parahaemolyticus</i> , durante la temporada de secas y nortes, en los tres arrecifes del PNSAV	41
Tabla 8. Valores medios de la concentración de <i>Vibrio spp.</i> (NMP/ 100 ml de agua) de tres arrecifes del PNSAV a dos profundidades, durante las temporadas de nortes y secas.	42

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Bacterias bioindicadoras recomendadas para la determinación de contaminación ambiental por actividades antropogénicas.	10
Figura 2. Estructura antigénica de las bacterias coliformes. (cortesía del libro Microbiología médica de Jawetz)	12
Figura 3. Puntos de muestreo en los arrecifes la Gallega, Chopas y Enmedio ubicados frente a los municipios de Alvarado, Boca del Río y Veracruz.....	19
Figura 4. A) Arrecife la Gallega en Veracruz. B) arrecifes Chopas y En medio en Antón Lizardo.	19
Figura 5. Variación de la concentración de enterococos con respecto al punto de la columna del agua en los arrecifes la Gallega, Chopas y Enmedio del PNSAV. 37	
Figura 6. Variación de la concentración de coliformes con respecto con respecto al punto de la columna del agua en los arrecifes la Gallega, Chopas y Enmedio del PNSAV	38
Figura 7. Variación de la concentración de <i>Vibrio sp.</i> con respecto con respecto al punto de la columna del agua en los arrecifes la Gallega, Chopas y Enmedio del PNSAV.	41
Figura 8. Variación de la concentración de Enterococos. (UFC/100 ml) con respecto al sitio y la temporada.....	43
Figura 9. Variación de la concentración de Coliformes Totales (UFC/100 ml) con respecto al sitio y la temporada.....	44
Figura 10. Variación de la concentración de <i>Vibrio spp.</i> (NMP/100 ml) con respecto al sitio y la temporada.....	45

1. INTRODUCCIÓN

Las actividades antropogénicas han generado cambios en los ecosistemas de todo el mundo, sobre todo en las regiones costeras como es el caso de Veracruz, donde la ampliación del recinto portuario, la llegada de nuevas industrias y el crecimiento demográfico, han contribuido en gran medida con el cambio de uso del suelo y aumento de contaminantes presentes en manglares, lagunas costeras, ríos, playas y arrecifes; lo que genera una mayor presión sobre dichos ecosistemas.

Esta presión generada en los ecosistemas acuáticos, se ve reflejada en la acumulación de contaminantes, los cuales, a través de las corrientes, mareas, y tránsito de embarcaciones, suelen dispersarse en los sistemas acuáticos hasta 100 m a la redonda de la fuente de emisión, según lo reportado Goh y colaboradores (2017) y González-Fernández y colaboradores (2010) demostraron que los contaminantes se dispersan hasta zonas con poco flujo donde se acumulan, y que en estos sitios suele haber altas concentraciones bacterianas; mismas que pueden utilizarse como indicadores del grado de contaminación.

Entre los grupos bacterianos más estudiados para determinar la contaminación de origen antropogénico en agua, se encuentran los coliformes y los enterococos, cuyos límites máximos de concentraciones y técnicas de detección se pueden encontrar en las Normas Mexicanas para diferentes usos y disposiciones, siendo la de descargas a bienes nacionales y la calidad de las playas para uso recreativo las más empleadas.

Sin embargo, algunos autores como Ishii y Sadowsky (2008) han discutido el uso de estos grupos bacterianos para medir la calidad del agua en climas tropicales con una alta carga de nutrientes, porque podrían no reflejar de forma precisa el origen y magnitud de la contaminación; principalmente porque estos grupos bacterianos pueden encontrarse de forma natural en el medio o tener su origen de una fuente distinta a la antropogénica.

Razón por la cual es necesario recurrir a la búsqueda y evaluación de grupos bacterianos o especies que cumplan con la función de bioindicadoras, como la han hecho Robertson y Tobin (1983), quienes utilizaron a *Vibrio parahaemolyticus* como complemento de los coliformes para determinar la contaminación ambiental aguas de las costas de Nueva Escocia y Osorio Plenge y colaboradores (2009) quienes los usaron para determinar la calidad del agua de uso recreativo, encontrando a *Vibrio* spp. en todos sus sitios de muestreo incluido el de la desembocadura del río Surco, Perú.

Sin embargo, se requiere complementar y corroborar la información existente para la región costero central de Veracruz. Por lo que el objetivo del presente trabajo es determinar la influencia del componente espacio-temporal sobre las concentraciones de las bacterias *Vibrio* spp. para probar su eficacia biológica como bioindicador de contaminación antropogénica en el Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano (PNSAV).

2. ANTECEDENTES

2.1. Contaminación.

El ser humano generó alternaciones al medio que lo rodea una vez pudo controlar el fuego, debido a que esto contribuyó a moldear su entorno favoreciendo los asentamientos humanos; los cuales no han parado de generar cambios, que van desde la construcción de pirámides y monolitos, intensificándose con la revolución industrial e incrementando en la era tecnológica, generando toneladas de desechos químicos, metalúrgicos, físicos, electrónicos, entre otros, los cuales no pueden ser procesados por el ambiente (Nriagu, 1996; Nathanson, 2019).

Estos desechos son nombrados como contaminantes debido a que generan un desequilibrio ecológico en el medio al cual sean vertidos; este desequilibrio ambiental es conocido como Contaminación o contaminación ambiental la cual se define como la adición de cualquier sustancia en cualquiera de sus estado o cualquier forma de energía al medio ambiente a un ritmo más rápido de lo que puede dispersarse, diluirse, descomponerse, reciclarse o almacenarse de alguna forma inofensiva lo que genera alteraciones en los organismos.

La contaminación puede generar no solo daños en los organismos, sino que también es capaz de generar cambios en el clima y que a su vez puede agravar la contaminación (Ballester, 2005). Sin embargo, la contaminación se ve incrementada no solo por la acción del cambio climático otro factor importante es el crecimiento poblacional y el deber de cubrir las necesidades de estas poblaciones como ha ocurrido durante milenios que se remontan a épocas de los nómadas y que se puede comprobar en los cambios en la composición de las capas de hielos polares árticos y antárticos. (Hong *et al.*, 2003; Arcos-Pulido *et al.*, 2005).

2.1.1. Tipos de contaminación.

La contaminación puede clasificarse por el medio que afecta, la fuente de emisión o por el tipo de contaminante que se desecha, sin embargo, hasta ahora la primera forma de clasificarse es de acuerdo al medio que contamina. Debido que una vez

que el contaminante es vertido en el medio, puede dispersarse hasta zonas remotas como es el ártico o el antártico, lo que convierte a la contaminación en un problema ambiental global (Nriagu,1996). Según Jiménez en el 2001 podía clasificarse en contaminación ambiental o del aire, del agua o del suelo, y que esta se daría de acuerdo a el tipo de alteración al que se sometiera, es decir que componente físico o químico podría verse modificado o alterado. Las modificaciones o alteraciones más comunes en el ambiente son el cambio en la cobertura vegetal, incremento en la temperatura, modificación del ciclo hídrico, la presión atmosférica y cambio en los patrones de viento (Romero *et al.*,2010).

Sin embargo, cada medio que es contaminado tiene características físico-químicas especiales, tal es el caso, de la contaminación del aire el cual ha sido objeto de diversos estudios, ya que dicha contaminación supone el principal riesgo a la salud según la OMS en el 2016. Esta, tiene como principales contaminantes al carbono, al ozono troposférico, el metano, el óxido de nitrógeno, el azufre dióxido, el carbono orgánico, el bióxido de carbono, así como el amoniaco, los cuales son conocidos como contaminantes de vida corta y son responsables del incremento en la temperatura (Riojas-Rodríguez *et al.*, 2016). Dichos contaminantes pueden provenir de fuentes móviles o fuentes fijas de combustión que generan contaminantes primarios y secundarios. Los primeros son los que proceden directamente de la fuente de emisión; y los secundarios como consecuencia de las transformaciones y reacciones químicas y físicas que sufren (Ballester, 2017)

Autores como Artiola y colaboradores mencionan (2019) que la contaminación de la tierra también es sumamente importante debido a que calidad de la tierra se ve afectada, ya que se puede observar en las tasas de erosión del suelo, transporte de sedimentos, aumento del riesgo de incendios, incremento de la acidez y pérdida de sales, lo que contribuye en el aceleramiento de la pérdida del suelo rico en nutrientes; estos son algunos de los efectos más marcados de la contaminación sobre el suelo. Por lo que la contaminación del suelo se podría traducir como la degradación directa o indirecta del suelo como resultado de las actividades humanas como es el caso de la deforestación, la actividad minera, la agricultura, la

introducción de especies invasivas o exóticas, la ganadería, la industria, entre otras que introducen compuestos químicos ya sea orgánicos e inorgánicos (Petra y Odagui, 2018). Esto no solo afecta al suelo y la biota natural en él, sino que puede influir en la salud del humano produciendo diferentes tipos de afecciones, alteración en los metabolismos de las plantas, eliminación de especies claves en la cadena trófica de los animales, entre otras (Khan y Goury, 2018).

Por otro lado, la contaminación del agua está estrechamente asociada a la contaminación del suelo y de la tierra debido a que a través de su ciclo hídrico puede arrastrar por escorrentías y decantar por precipitación contaminantes en lugares lejanos de la fuente de contaminación inicial.

2.1.2. Contaminación del agua

La contaminación del agua puede producirse en cualquier cuerpo de agua y está estrechamente relacionada el vertido de desechos domésticos e industriales a los cuerpos de agua; los cuales se ven afectados fuertemente por sustancias que dificultan su tratamiento, y alteran de manera casi irremediable su composición natural; es por ello que se han establecido parámetros físico-químicos y biológicos a través de 30 índices para el monitoreo de la calidad del agua (Samboni-Ruiz *et al.*, 2007).

Dentro de las causas más frecuentes de contaminación se encuentra se encuentra la gestión inadecuada de las aguas residuales urbanas, industriales y agrícolas, así como también las descargas de aguas de barco, derrames petroleros, centrales eléctricas y la filtración de metales provenientes de la minería son algunas de las fuentes de contaminación del agua (Kahami, 2015).

Los contaminantes del agua se pueden agrupar de la siguiente manera como contaminantes orgánica (Hakami,2015), contaminantes químicos (Hogan *et al.*, 2003; Samboni-Ruíz *et al.*, 2007), contaminantes físicos (Twomey, 1974), contaminantes microbiológicos (Arcos-Pulido *et al.*,2005).

FUENTES DE CONTAMINACIÓN	TIPOS DE CONTAMINANTE
AGRICULTURA	Nitrogênio y sus derivados, Fosforo; Pesticidas, Herbicidas
GANADERIA	Nitrógeno y sus derivados, Materia orgánica, microorganismos fecales
INDUSTRIA	Hidrocarburos halogenados; Metales pesados; Fenoles; Hidrocarburos aromáticos,
ACTIVIDADES PORTUARIAS	Metales pesados. Hidrocarburos,
EXTRACCIÓN DE PETRÓLEO	Hidrocarburos y trazas de hidrocarburos, Compuestos aromáticos, Calor
PLANTAS TERMO E HIDROELÉCTRICAS	Calor, Metales pesados, Hidrocarburos, Material radioactivo.
MINERIA	Acidez, Metales pesados, Minerales
PESCA	Hidrocarburos, Materia orgánica, microorganismos
RESIDUOS DOMESTICOS	Materia orgánica, Nitrógeno en sus diversas formas, Microorganismos fecales, Trazas de hidrocarburos, Metales pesados.

Tabla 1. Tabla con los contaminantes producido por las diversas actividades humanas, los cuales son vertidos a efluentes. Información tomada de Cuenca et al.,2018.

2.1.3. Fuentes

Las aguas superficiales y subterráneas son recursos hídricos ampliamente contaminados cuyo origen puede ser por una fuente puntual o por fuentes difusas. Una fuente puntual puede ser definida como cualquier emisión discernible, confinada y discreta, de una tubería, zanja, canal, túnel, conducto, pozo, fisura discreta, contenedores, material rodante, entre otros de donde los desechos provenientes las diferentes actividades antropogénicas son o pueden ser descargados (Massone *et al.*,2016).

Mientras que las fuentes difusas o no puntuales son aquellas fuentes que se desconoce el origen del que proviene el contaminante o su origen es una fuente

natural desconocida; los contaminantes de fuentes difusas pueden ser materia orgánica, metales pesados, elementos traza, pesticidas, patógenos, productos farmacéuticos y otros químicos antropogénicos (Bravo-Inclan *et al.*, 2013).

Pese a conocerse o no la fuente de donde origen del contaminante estos suelen provenir de las actividades antropogénicas, sin embargo, algunas veces puede deberse a una fuente natural con origen en algún disturbio.

2.1.4. Contaminación antropogénica

El ser humano produce diferentes tipos de contaminantes en su vida, derivados de sus actividades cotidianas, como lo son las actividades domésticas, comerciales, de transporte, industriales, petroleras y portuarias, así como la agricultura y la ganadería; las cuales generan toneladas de desechos conocidos como contaminantes de origen antropogénico (Corona-Lisboa, 2013; Gillings *et al.*, 2015).

Cada contaminante de origen antropogénico vertido en el ambiente producirá efectos adversos diferentes en el ecosistema. Entre los contaminantes descargados con mayor importancia podemos observar a los compuestos aromáticos, petróleo, plásticos, pesticidas, metales pesados, materia orgánica y fármacos (Cabral *et al.*, 2018; Gillings *et al.*, 2015). Aunque en la actualidad se conocen nuevos contaminantes gracias a los análisis más sensibles, los cuales se han podido detectar partículas que antes no se consideraban y que son peligrosos para la salud y el medio; dichos contaminantes son conocidos como emergentes, entre los que se encuentran los alquilo fenoles etoxilados, estrógenos, retardantes de llamas bromados, algunos fármacos, compuestos perfluorados, parafinas o micro y nanos plásticos (Barceló y López, 2008).

Los cuales han ocasionado que la capacidad de carga de diversos ecosistemas se vea superada, produciendo alteraciones morfológicas, químicas, físicas, biológicas y ambientales; las alteraciones morfológicas pueden afectar la distribución y riqueza del medio a las especies que se encuentran en medios acuáticos son incremento en la temperatura, eutrofización, proliferación bacteriana, mortalidad de las especies

y enfermedades en el ser humano. Tal es el caso de las lagunas costeras (Cannet *et al.*, 2013), manglares (Cabral *et al.*, 2018), dunas (Henández, 2014), playas (Shibata *et al.*, 2010) y arrecifes (Dollar & Grigg, 2004).

2.2. Bioindicadores de contaminación antropogénica en sistemas costeros.

Los bioindicadores pueden ser procesos biológicos, marcadores bioquímicos u organismos vivos; como bacterias, animales, plantas, hongos, entre otros; los cuales se utilizan para detectar la calidad del medio ambiente (Jain *et al.*, 2010). Son una herramienta importante en el entorno ya que detectan cambios en el entorno, ya sean positivos o negativos, también brindan información si estos cambios tienen algún impacto en los son aquellos que tiene la capacidad de medir la calidad ambiental y predecir los efectos que pueden producir ciertos contaminantes (Burger 2007); es decir que su sensibilidad a los disturbios ambientales, abundancia, distribución, tasa de reproducción, sirven para analizar las condiciones ambientales y de otros organismos; algunos autores como Gonzáles-Zuart y colaboradores (2010) mencionan que existen tres tipos de bioindicadores por el tipo de acción que tomara frente a la contaminación o disturbio ambiental; 1) los acumuladores, son aquellos organismos que en su tejido muscular albergan y guardan químicos u otras partículas que se asocian a la contaminación. 2) los detectores, cuya respuesta se puede reflejar en la mortandad, tasa de reproducción o en su abundancia y 3) los explotadores, los cuales proliferen debido al enriquecimiento de la zona; aunque autores como Jain y colaboradores en el 2010 los dividen en 2 en acumuladores y detectores; este último lo subdivide en tres grupos a) los que presentan cambios en la densidad poblacional; b) los que tienen cambios conductuales, y por ultimo c) los que presentan cambios fisiológicos.

Para determinar si una especie puede ser considerada bioindicador debe cumplir con algunas características como son presencia en el medio contaminado, estar de forma natural, pero dispersa en el medio, debe responder a condiciones ambientales naturales, ser fácil de aislar, identificar, contar, proliferar dependiendo del aumento

de contaminación, estar relacionada con los riesgos a la salud y por último las pruebas deben ser económica (González-González *et al.*, 2003)

Entre los organismos bioindicadores podemos encontrar especies de animales, plantas, hongos, virus, y bacterias, sensibles a las variaciones ambientales que desarrollan algún tipo de respuesta a dicho cambio. Entre las respuestas a este cambio podemos encontrar la ausencia y abundancia del organismo, o la acumulación de sustancias ajenas a él. (Arcos Pulido *et al.*, 2005; Payment & Locas, 2011).

Algunas plantas como los líquenes, las algas, hongos, helechos, entre otras pueden proporcionar información sobre la salud ambiental, ya que responden a variaciones como los cambios en la estructura forestal, la calidad del aire o las fluctuaciones en temperatura (Saulović Đ, Biočanin R y Rodríguez B, 2007)

Así mismo, se utilizan ciertas especies de animales como peces, anfibios, reptiles, aves y mamíferos, se han observado y dependiendo de la población de dichos organismos se puede determinar las alteraciones que han ocurrido en el medio en el que se encuentran (Bakht S. *et al.*, 2019).

Por otro lado, las bacterias suelen emplearse como bioindicadores debido a su abundancia, fácil detección y bajos costos; ya sea para determinar contaminación fecal, metales pesados, petróleo crudo, microplásticos (Sumampouw y Risjani, 2014).

2.2.1. Bacterias bioindicadoras de contaminación.

Las bacterias mayormente utilizadas para calidad de agua son aquellas que presentan una respuesta a estresores específicos, presentan una distribución espacio temporal amplia, se acumulan en el tracto gastrointestinal y son defecadas en las heces, y se emplean para determinar la contaminación fecal, metales pesados, petróleo crudo, entre otros. Las bacterias comúnmente utilizadas son los coliformes, enterococos, *Clostridium*, *Pseudomonas* y *Aeromonas* (Arcos Pulido *et al.*, 2005)

Aunque por lo general se recomienda a los enterococos para aguas salobres y saldas y coliformes para agua dulce y en la normativa mexicana se encuentra indicadas dichas bacterias sobre todo en las normas NOM-242-SSA1-2009, NOM-016-SSA2-2012, NMX-AA-120-SCFI-2016 y NMX-AA-167-SCFI-2015 para la protección y mejora de la calidad de las playas y cuerpos de agua como ríos lagos y lagunas, para contribuir a una mejor salud poblacional y ambiental

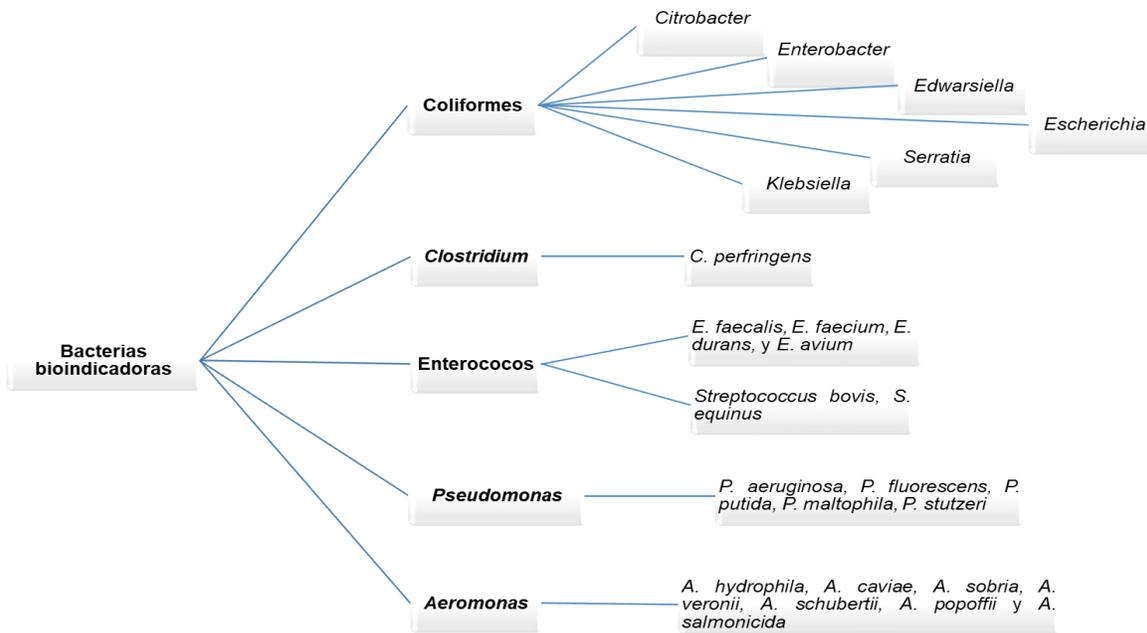


Figura 1. Bacterias bioindicadoras recomendadas para la determinación contaminación ambiental por actividades antropogénicas.

2.2.2. Enterococos

Los enterococos son un grupo de bacterias diverso, cuyas características les permiten crecer y adaptarse a diversos ambientes por lo que son patógenos oportunistas, que se encuentran principalmente adheridos a las mucosas de los organismos, pero también se pueden encontrar en el suelo, agua, productos lácteos y plantas (Teixeira & Merquior, 2012). Aunque algunas de las especies como *Enterococcus faecalis*, *E. faecium*, *E. durans*, predominan en ambientes acuáticos contaminados.

El género *Enterococcus* está compuesto de cocos Gram positivos que se presentan individualmente, en pares o cadenas cortas; son bacterias anaerobias facultativas, catalasa negativa, que fermentan ácido láctico (L+), pueden crecer a un pH de 9.6, temperaturas de 10-45 °C (resisten 60 °C por 30 min) y a 6.5 % de cloruro de sodio, también pueden hidrolizar la leucina- B -naftilamida (LAP) y la L -pirrolidonil- b – naftilamida (PYR) (Byappanahalli *et al.*, 2012; Teixeira & Merquior, 2012).

Aunque los enterococos pueden causar infecciones humanas no se reconsideraba un patógeno hasta finales de la década de 1970, con el aumento de infecciones adquiridas y la creciente resistencia a la mayoría de los agentes antimicrobianos utilizados actualmente. Por lo que, los enterococos se han convertido en uno de los principales desafíos asociado a infecciones graves o potencialmente mortales. *E. faecalis* es generalmente la especie de enterococos más aisladas de muestras clínicas humanas (80 a 90%), seguido de *E. faecium* (5 a 10%) (Malani *et al.*, 2002).

Por lo que su empleo en diversas normas tanto nacionales como internacionales es recomendado ya sea para inocuidad alimentaria como calidad de agua de diversos usos entre ellos el recreativo en playas.

2.2.3. Coliformes

Las bacterias coliformes también conocidas como enterobacterias, son un grupo muy extenso de bacterias baciliformes Gram negativo, con estructura antigénica compleja, poseen flagelos periticos móviles o no (fig. 2), tiene la capacidad de ser aerobios o anaerobios facultativos, fermentan una gran variedad de carbohidratos produciendo gas, son catalasa positiva y oxidasa negativa, pueden reducir los nitratos a nitritos (Brooks *et al.*, 2002).

Por lo que pueden colonizar una amplia gama de nichos entre los que se destacan el tracto intestinal de animales de sangre caliente incluido el humano, a este tipo de coliformes se le denominan coliformes fecales (CF); y los coliformes que se encuentran en el agua, suelo, que en conjunto con los CF forman el grupo de coliformes totales (CT). Los coliformes fecales se utilizan como un indicador

ambiental para determinar la contaminación reciente del tipo antropogénica (Perdomo *et al.*, 2001).

Los coliformes poseen importancia clínica debido a que, de los 50 géneros descubiertos hasta la fecha 25 especies son patógenas y de importancia clínica; entre los géneros bacterianos con importancia clínica podemos destacar a *Escherichia*, *Shigella*, *Salmonella*, *Enterobacter*, *Klebsiella*, *Serratia* y *Proteus*.

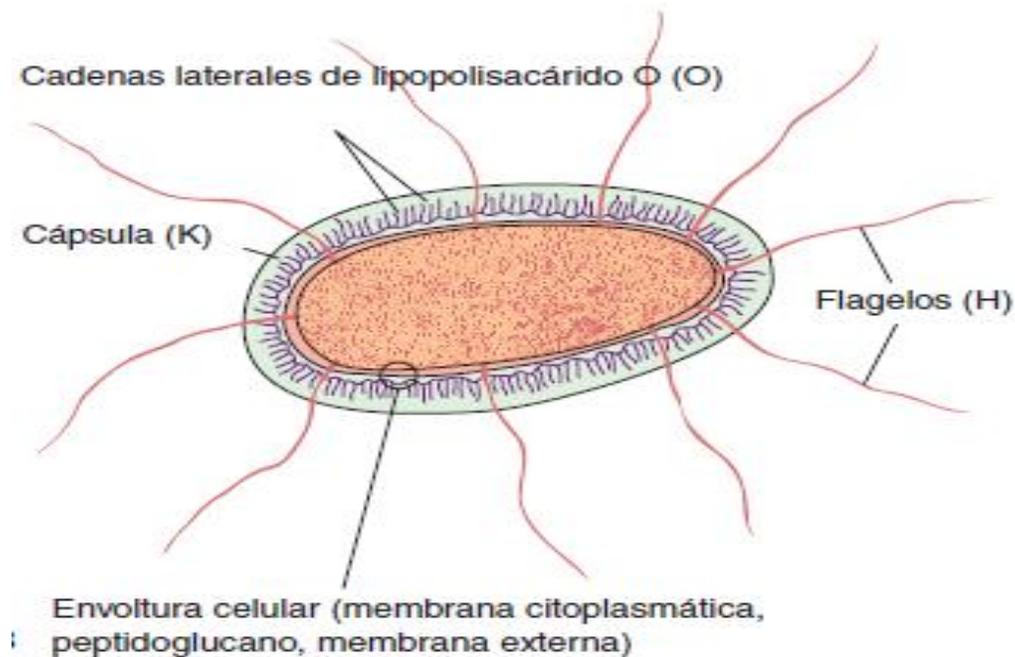


Figura 2. Estructura antigénica de las bacterias coliformes. (cortesía del libro Microbiología médica de Jawetz)

2.2.4. Contradicciones del uso de los bioindicadores recomendados en las normas.

Sin embargo, la presencia de bacterias indicadoras fecales no revela ninguna información sobre su fuente o su destino, pueden aparecer como residentes del medio e incluso, multiplicarse bajo ciertas condiciones (Stewart *et al.* 2008). Así como, Carvallo y Stabili (2002) y Yates en el 2007, mencionan que las bacterias coliformes totales y enterococos no son un indicador ideal para determinar la calidad del agua y que es poco probable que exista un sistema que sea útil para

evaluar todos los microorganismos o al menos, los patógenos ya que existen un gran número de ellos que son autóctonos de los sistemas acuáticos y que no se introducen significativamente a través de las aguas residuales, sino que éstas son fuente de nutrientes que pueden estimular su crecimiento.

Así como, autores como González y colaboradores (2009) y Díaz-Pérez y colaboradores en 2010, reportan que el uso de enterococos y coliformes puede ser afectado por factores como el oxígeno disuelto (DO), las altas temperaturas o la proliferación algal, por lo que, en áreas con dichas condiciones es necesario implementar otras bacterias que no se vea afectado por dichas condiciones, ya que estas podrían no estar reflejando la calidad del agua, aunado a que dichas bacterias solo son útiles para detectar contaminación fecal y no otros tipos de contaminación de origen antropogénico.

Por lo que, autores como Okpokwasili y Akujobi (1996) y Miller y colaboradores en el 2006 proponen utilizar diversas bacterias tales como *Salmonella*, *Vibrio*, *Clostridium*, *Aeromonas* y *Pseudomonas* como bioindicadores de contaminación, debido a su facilidad de aislamiento, alta capacidad de recuperación y a su comprobada posibilidad de riesgo a la salud.

Otros autores como Ashbolt (2001) y Jin (2004) sugieren seleccionar el indicador microbiológico de calidad del agua dependiendo de las condiciones locales de cada país, para obtener datos sobre su prevalencia, distribución y virulencia.

En 2013, Cantet y colaboradores realizaron estudios en sistemas lagunares de Francia para observar la presencia de vibrios patógenos y encontraron tres especies de vibrios potencialmente dañinas a la salud, por lo que recomiendan incluirlas en los análisis microbiológicos de la calidad de ambientes marinos.

2.2.5. *Vibrio* spp. como bioindicador alternativo

Morfológicamente son bacilos curvos gramnegativos, no producen esporas, se mueven de forma errática gracias a un único flagelo, son aerobios y anaerobios

facultativos, mesófilos, fermentadores de glucosa, oxidasa positiva, toleran pH alcalinos un amplio rango de salinidades (Gómez-Gil *et al.*, 2004).

La familia *Vibrionaceae* abarca diversos grupos de bacterias marinas heterótrofas; son nativas de ambientes oceánicos, estuarinos y de agua dulce. Se encuentran en organismos marinos en relaciones simbióticas o parasitarias sobre todo en peces, moluscos, crustáceos y corales (Ben-Haim y Rosenberg 2002; Vezzulli y Previati, 2010; Reyes-Velázquez *et al.*, 2010); también se pueden hallar en el sedimento o la columna de agua, donde desempeñan procesos de biodegradación. Svitil y colaboradores (1997) reportaron que especies como *Vibrio harveyi* secretan enzimas cuya única función es la descomposición de la quitina, posteriormente Leyton y Riquelme (2008) describen que los vibrios desempeñan funciones de biodegradación de la materia orgánica y regeneración de nutrientes mediante la descomposición de polisacáridos.

Hasta ahora se conocen más de 35 especies del género *Vibrio*, de las de las cuales *V. cholerae*, *V. parahemolyticus*, *V. fluvialis*, *V. vulnificus*, *V. damsela*, *V. hollisae*, *V. mimicus*, entre otros, se consideran patógenos para la salud; y cada una posee su propio nicho ecológico, mecanismo de infección, características clínicas y epidemiológicas (García-Lázaro *et al.*, 2010).

Vibrio Harvey fue propuesta como un bioindicador de contaminación mutagénica en ambientes marinos, por Czyz y colaboradores en el 2006, al observar que su población disminuía al ser expuesta a radiación UV, así como al cristal violeta; aunado a que dicha bacteria no es dañina para el ser humano y puede ser modificada genéticamente para ser más sensible a contaminación de agentes mutagenicos.

Otros autores como Scheerer y colaboradores en el 2006 y García y colaboradores (2015) han utilizado a *Vibrio fischeri*, como bioindicador en ambientes marinos contaminados por solventes debido a que se sabe que dichos químicos disminuyen la capacidad biolumincente de *V. fischeri*. además, que se ha estandarizado la prueba de ecotoxicidad para dicha bacteria.

González y colaboradores (2010) mencionan que *Vibrio spp.* Son bacterias autóctonas oportunistas, por lo que su crecimiento se ve favorecido cuando existen altas concentraciones de materia orgánica, por lo cual, dichas bacterias podrían ser de utilidad para detectar contaminación de origen antropogénico sobre todo en sistemas costeros tropicales.

En 2013, Cantet y colaboradores realizaron estudios en sistemas lagunares de Francia para observar la presencia de vibrios patógenos y encontraron tres especies de vibrios potencialmente dañinas a la salud, por lo que recomiendan su uso como bioindicadores.

Aunque autores como Cabral y colaboradores (2018) han reportado que las bacterias vibrio pueden ser utilizadas como bioindicadores, en ambientes contaminados por aceites, compuestos aromáticos o petróleo, debido a que los degradan a través de sus procesos metabólicos.

3. JUSTIFICACIÓN

La expansión del recinto portuario ha favorecido el crecimiento demográfico en la última década, así como diversas actividades económicas. Cada actividad económica produce una carga importante de contaminantes los cuales son depositados en los sistemas costeros. Esta contaminación antropogénica supera la capacidad de carga de playas y arrecifes, la cual favorece la proliferación de bacterias, algas entre otros organismos nocivos para los sistemas y el ser humano. Pese a que existe normativas (NOM-242-SSA1-2009, NOM-016-SSA2-2012 y NMX-AA-120-SCFI-2016) para la protección y mejora de la calidad de las playas para contribuir a una mejor salud poblacional y ambiental, se ha demostrado que son insuficientes, dado que, los bioindicadores de contaminación antropogénica muchas veces inadecuados para sistemas costeros tropicales. Por lo que se deben investigar cuales bacterias bioindicadores tiene mayor eficacia biológica para representar la contaminación en sistemas costeros tropicales con alta carga de contaminantes de origen antropogénico; así como, investigar el agua de fondo debido a que los contaminantes tienden a acumularse en el sedimento, por lo tanto, las bacterias bioindicadoras tendrían mayor concentración en esta zona y, el estudio de la columna de agua no representaría la carga de contaminación real. Por tal motivo en el presente trabajo se propone como áreas de estudio la columna de agua como lo marca la Norma Mexicana NMX-AA-120-SCFI-2016 y el agua del fondo para realizar una comparación de concentración de bacterias bioindicadoras, así como la determinar cuál de las bacterias (*Enterococos*, *Coliformes sp* o *Vibrio spp.*) tiene mayor eficacia para representa la contaminación antropogénica presente en los sistemas costeros tropicales.

4. OBJETIVOS

4.1. Objetivo general.

Determinar la influencia del componente espacio-temporal sobre las concentraciones de las bacterias (Enterococos, Coliformes o *Vibrio*) para probar su eficacia biológica como bioindicador de contaminación antropogénica para sistemas costeros tropicales.

4.2. Objetivos específicos.

Caracterizar cada área de estudio, de acuerdo a las actividades antropogénicas que se realizan en los sitios aledaños ellos.

Determinar la presencia y concentración de Coliformes sp., Enterococos y *Vibrio* sp. en dos puntos de la columna del agua (superficie y fondo).

Determinar la variación espacio-temporal con respecto a las concentraciones de bacteria bioindicadoras.

Establecer cuál de las tres bacterias tiene mayor eficiencia como bioindicador de contaminación antropogénica en sistemas costeros tropicales

5. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1. Área de estudio

El área de estudio se localiza frente a la zona del puerto de Veracruz Y Antón Lizardo, que abarca la parte norte del Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano (PNSAV) que va desde Bahía de Vergara frente a las costas del municipio de Veracruz, donde se ubica el arrecife La Gallega y la parte sur del PNSAV ubicado frente a las costas del poblado de Antón Lizardo perteneciente al municipio Alvarado, en el del Estado de Veracruz-Llave; con los arrecifes Chopas y Dichos arrecifes reciben grandes cantidades de descargas de ríos y lagunas, por lo que forman canales de diferentes tamaños, por lo cual la profundidad de los arrecifes puede variar entre 1 m y 50 m de profundidad. Estas características topográficas tienen una gran influencia sobre la circulación (Salas-Pérez *et al.*, 2007).

Debido a las características climáticas de la región las cuales son tres temporadas estacionales; secas (abril a junio), lluvias (julio a septiembre) y norte (octubre a febrero), lo que provoca variaciones en la temperatura y salinidad (Ortiz-Lozano *et al.*, 2010). En general la temperatura ($< 28\text{ }^{\circ}\text{C}$) y la salinidad (< 36 ups) en el PNSAV tienen valores menores que los del agua del océano alrededor del sistema. Se pueden presentar valores altos de salinidad debido a las altas tasas de evaporación provocadas por la poca profundidad del mismo y valores altos de temperatura. El incremento de las descargas de agua dulce produce picnoclinas, que generan una barrera ambiental para algunas especies. En cambio, el incremento de agua salina genera gradientes de densidad horizontales que provocan corrientes marinas de aproximadamente un orden de magnitud (10 cm s^{-1}), los cuales cobran importancia cuando hay ausencia de vientos fuertes y sostenidos, situación que puede modificar el patrón de corrientes del sistema (Salas-Monreal *et al.*, 2009).

Salas-Monreal y colaboradores (2009), reportaron la presencia de dos giros, uno ciclónico y otro anticiclónico, que, tanto en superficie como en el fondo, tienen una dirección predominante suroeste a noreste, por la influencia de los giros.



Figura 3. Puntos de muestreo en los arrecifes la Gallega, Chopas y Enmedio ubicados frente a los municipios de Alvarado, Boca del Río y Veracruz.

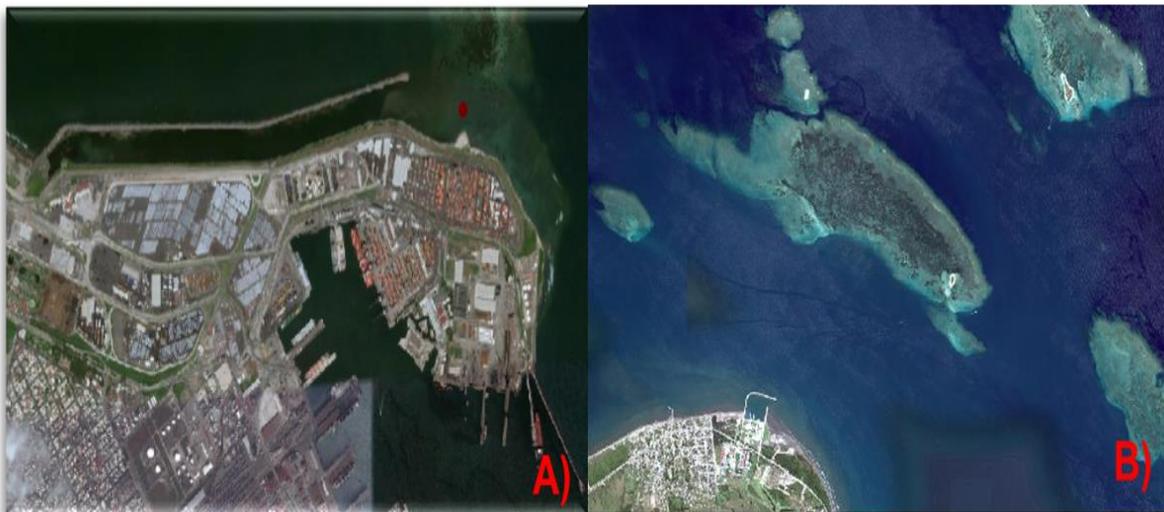


Figura 4. A) Arrecife la Gallega en Veracruz. B) arrecifes Chopas y En medio en Antón Lizardo.

5.2. Caracterización de las actividades de los sitios de muestreo.

Para la caracterización de las actividades que se realizan en los sitios de muestreo se hicieron visitas a San Juan de Ulúa (Arrecife la Gallega), Antón Lizardo-(Arrecife Chopa) e Isla de En medio (Arrecife de en medio) para ello se llevó a cabo un sondeo con las personas. También se realizó una investigación bibliográfica para complementar la información, dicha investigación se dio en las secretarías, comisiones e institutos siguientes: Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), Comisión Nacional de la Pesca (CONAPESCA), APIVer y la secretaria de turismo (SECTUR) con el fin clasificar las actividades realizadas en la zona para cada una de las localidades cercanas a los arrecifes y posteriormente se comparó cada uno de estos cuadros para determinar el nivel de impacto antropogénico que posee cada zona.

5.3. Determinación de la presencia y concentración de Coliformes, Enterococos y *Vibrio* spp. en la columna del agua y en agua de fondo del área de estudio.

5.3.1. Toma de Muestra.

Se realizaron dos muestreos, uno durante la temporada de nortes (abril) y otro en la temporada de secas (junio), en los arrecifes de La Gallega ubicado en San Juan de Ulúa, Arrecife Chopa frente Antón Lizardo y el arrecife de En medio en la Isla de Enmedio.

Los muestreos se realizaron en dos puntos de la columna del agua dependiendo de la profundidad del arrecife, por lo que se tomaron muestras a 0.15 m de profundidad (superficie) y 1.30 m (fondo) para el arrecife la Gallega, mientras que para los arrecifes Chopas y Enmedio la muestra se tomó a una profundidad mayor a 4 m (fondo), las muestras fueron colectadas con bolsas para muestreo de agua (Whirl-Pak de 250 ml) por duplicado, siguiendo las indicaciones de la NMX-AA-167-SCFI-2017.

La cual consistió en retirar la tira de seguridad a la bolsa, después se introdujo la bolsa a la profundidad de 0.15 m para la superficie y el fondo ya antes mencionado, teniendo cuidado de no tocar la boca de la bolsa con la mano para no contaminar la muestra. Posteriormente se tomó la muestra en sentido contrario a la corriente; la bolsa se llenó hasta el 80-90% de su capacidad como lo indica la norma. Por último, se etiquetaron con un clave.

De manera *in situ* se tomaron parámetros fisicoquímicos como lo son temperatura, salinidad, pH y oxígeno disuelto con una la sonda multiparamétrica (hanna hi 9828), la cual se introdujo en la bolsa de triplicado, para evitar la contaminación de otras las muestras.

5.3.2. Transporte de muestra.

Las muestras fueron transportadas en hieleras de plástico con hielo, con el fin de mantener la muestra a una temperatura de 4°C hasta ser procesadas, en un periodo máximo de 6 a 8 horas posteriores a su colecta, como lo indica la norma NMX-AA-120-SCFI-2016.

5.3.3. Procesamiento de la muestra.

Las muestras se procesaron en el Laboratorio De Investigación De Recursos Acuáticos (LIRA), ubicado en el Instituto Tecnológico de Boca del Río.

Para procesar las muestras se utilizaron pruebas microbiológicas para determinar la presencia y concentración de *Coliformes sp.*, *Enterococos* y *Vibrio spp.*; utilizando diversos procedimientos y manuales descritos previos al trabajo.

5.3.4. Análisis de Enterococos.

Para observar presencia y concentración se utilizó el método de detección y recuento de enterococos por filtración de membrana de la Norma ISO 799-2 del 2002. Por lo cual se filtró en un embudo estéril (Anexo 2) y a través de una membrana de nitrocelulosa (Whatman de 0.45 µm) 100 ml de la muestra de agua. La membrana no fue retirada hasta que perdió la mayor cantidad de agua, para evitar que crecieran colonias fuera de la membrana y así facilitar el recuento de colonias de enterococos.

Posteriormente se modificó la técnica colocando la membrana haciendo movimientos circulares con el fin de evitar la formación de burbujas de aire; esto directamente sobre una placa con Agar Bilis Esculina Acida (BEA) (Anexo 2). La técnica indica que la membrana de nitrocelulosa se debe colocar sobre medio Slanetz-Bartley (SB) y posteriormente resembrar las colonias en medio BEA para identificarlas, sin embargo dicho medio es selectivo para bacterias enterococos por lo que no se nos hizo necesario seguir al pie de la letra la norma. Se incubó a 44 °C por 24 a 48 horas.

Transcurrido el tiempo de incubación se observaron y cuantificaron las colonias típicas de enterococos (colonias negras, café-rojizas redondas y convexas) en el transiluminador de luz blanca. El resultado se multiplica por el factor de dilución el cual fue 1x y se expresa como UFC/ 100 ml.

5.3.5. Análisis de *Vibrio spp.*

Para determinar la presencia y concentración de *Vibrio spp.* se utilizó la metodología del Número más Probable (NMP) en tubos.

Para ello se filtró con un embudo estéril y una membrana (Whatman de 0.45 µm) 100 ml de la muestra de agua, membrana no fue retirada hasta que perdió la mayor cantidad de agua, para evitar que se rompiera en el momento de retirarlo. El filtro se colocó en un matraz Erlenmeyer estéril (Anexo 2) con 100 ml de agua peptonada alcalina (APA) y se incubó durante 24 horas a 35 °C siguiendo las recomendaciones de la norma ISO 21872-1:2017 Microbiology of the food chain.

Posterior a la incubación se transfirió 1 ml de la disolución primaria a un tubo con 9 ml APA (Anexo 2) (1:10) el cual se agitó con el fin de mezclar la muestra y de dicho tubo se realizaron cinco disoluciones seriadas (10^{-9}), dichos tubos se incubaron a 35 °C durante 25 horas.

Cada tubo se sembró en una caja Petri con Agar Tiosulfato, Citrato, Sales Biliares y Sacarosa (TCBS) (Anexo 2) y se incubó por 24 horas a 37 °C, por último, se contaron el número de cajas positivas (colonias típicas de *Vibrios*) en el transiluminador de luz blanca y los resultados se interpolarán con las tablas

obtenidas en Bacteriological Analytical Manual (Bam) de la Food and Drug Administration (FDA) del 2004.

5.3.6. Análisis de Coliformes.

Para detectar y cuantificar coliformes totales se utilizó la técnica de filtración de membrana de la American Water Works Association and Water Pollution Control Federation: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 2012 (APHA).

La cual consiste en filtrar con ayuda de un embudo estéril de 50 mm y a través de una membrana de nitrocelulosa (Whatman de 0.45 µm) 100 ml de la muestra de agua. La membrana no fue retirada hasta que perdió la mayor cantidad de agua, para evitar que crecieran colonias fuera de la membrana y así facilitar el recuento de colonias de típicas.

Posteriormente con ayuda de pinzas estériles se retiró la membrana de nitrocelulosa del embudo y se colocó sobre la placa con medio de cultivo Endo (Anexo 2), haciendo movimientos circulares con el fin de evitar la formación de burbujas de aire. Y se incubó a 37 °C por 24 horas.

Transcurrido el tiempo de incubación se observaron y cuantificaron las colonias típicas de coliformes (colonias de color rojo oscuro con el característico brillo metálico de *Escherichia coli* de color verde-azulado en los géneros *Citrobacter*, *Klebsiella* y *Enterobacter*) en el transiluminador de luz blanca. El resultado se multiplicó por el factor de dilución el cual fue 1x y se expresa como UFC/ 100 ml.

5.4. Determinación de mejor bacteria bioindicadora (Coliformes, Enterococos y Vibrio spp.).

5.4.1. Análisis de datos

Para la correlación espacio temporal se utilizará un análisis Kruskal Wallis y un ANOVA si los datos son uniformes, con el fin determinar la relación entre ambos parámetros.

Una vez establecidas las relaciones se determinará por concentración y ubicación cuál de las 3 bacterias es tiene mayor efectividad biológica como bioindicador, para representar el grado de contaminación antropogénica en sistemas costeros tropicales.

6. RESULTADOS y DISCUSIÓN

6.1. Caracterización de las actividades antropogénicas realizadas en el área de estudio.

Arrecife la Gallega

Demografía

El arrecife la Gallega se encuentra hacia el norte del municipio de Veracruz, dicho municipio cuenta con una densidad poblacional estimada en 2468 hab/km², es decir, 609 964 (INEGI, 2016), que consumen un promedio de 350 litros de agua al día por habitantes (CONANP, 2019), y solo se tratan el 57% de las aguas negras generadas por la población en las 12 de 25 la plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR), por lo cual los desechos podrían llegar al mar sin un tratamiento previo, lo que incrementa los niveles de contaminación tanto de materia orgánica como carga bacteriana y diversos químicos (Cruz, 2018).

Actividades económicas.

Uno de los crecimientos más importantes en la zona es la ampliación del puerto el cual se contempla termine en el año 2024 y cuente con cerca de 900 hectáreas nuevas; además del parque industrial con el cual se ha incrementado la carga de contaminación antropogénica en la zona, además, de no contar con plantas de tratamiento adecuadas para dar el saneamiento necesario a las aguas negras descargadas de dicho parque industrial. Por otro lado, el turismo tiene una importante carga de contaminación sobre el arrecife la gallega, ya que, la ocupación turística de la zona fue del 85% durante el mes de julio, en los 189 hoteles con los que se cuenta en el municipio de Veracruz (Sectur, 2019), además de contar con cerca de 45 embarcaciones menores con motor fuera de borda que proporcionan servicios turísticos recreativos; siendo este un factor importante al evaluar el impacto que se genera en la zona. Aunado a las embarcaciones de uso turístico recreativo se encuentran las de uso pesquero; la pesca cuenta con una flota de 192 embarcaciones menores con motor abordo (CONAPESCA, 2013) Sin embargo, la actividad de mayor impacto sobre este arrecife, son las que se realizan en de

embarque y desembarque de buques cargueros, mantenimiento de embarcaciones mayores a flote, desazolve y dragado de canales, así como, mantenimiento de cilios, grúas, vías férreas, los cuales son típicos de las actividades portuarias y que tiende a contaminar con materia orgánica, derivados del petróleo, compuestos aromáticos policíclicos y metales pesados; aunado a que dichos contaminantes también provienen de la planta de tratamiento de aguas residuales del municipio de Veracruz, donde se pueden encontrar desechos domésticos, municipales, industriales; además de los desechos de las actividades pesqueras los cuales son vertidos sobre las aguas del arrecife la Gallega (Tabla 2). Por lo que se considera a el arrecife la Gallega como una zona altamente impactada, coincidiendo con Botello y colaboradores en 1995 y Jara-Jara en 2019 quienes indican que las zonas más afectadas por dichos contaminantes son las aledañas a los principales sectores socioeconómicos.

Arrecife Chopas.

Demografía.

El arrecife Chopas se encuentra cerca de las costas de Antón Lizardo municipio de Alvarado el cual cuenta con una población de 52 927, por lo que se estima que habitan 64 personas por kilómetro cuadrado, de los cuales el 66 % cuentan con educación básica, el 13% con educación media superior y solo el 7% alcanza la educación universitaria. El 70% de los habitantes cuentan con agua potable y más del 95% con drenaje, sin embargo, la localidad de Antón Lizardo no cuenta con una planta de tratamiento, por lo que las descargas de aguas negras se hacen sobre cuerpos de agua como ríos, lagunas y playas o en fosas sépticas inadecuadas las cuales presentan filtración hacia mantos acuíferos.

Así mismo, dicho arrecife cuenta con descargas del municipio de Boca del Río las cuales son arrastradas a través de la pluma de agua del río Jamapa; el municipio de Boca del Río , contaba con una densidad poblacional de 3 735 habitantes por kilómetro cuadrado para el 2010 (INEGI, 2010), es decir, 142 207 habitantes, de los cuales el 90% contaba con agua potable y más del 99% con drenaje, sin embargo, Boca del Río cuenta con cinco plantas de tratamiento de las cuales sólo la

de costa de oro funciona a un 80% de su capacidad (Cruz, 2019), por lo que el resto de las aguas negras son descargadas sobre los cuerpos de agua como lo son los manglares presentes en la zona, los estuarios, el río y las playas. Por lo que esto coincide con lo reportado por Doria y Vivas (2016) quienes indican que los arrastres de agua de ríos, estuarios y demás cuerpos de aguas provenientes del continente puede transportar contaminantes que incrementen el impacto sobre los sistemas costeros como lo son las playas y los arrecifes; alguno de estos contaminantes son sólidos urbanos, materia orgánica, grasas, aceites y bacterias, las cuales pueden provenir de las descargas de aguas fluviales y pluviales como lo reportan Reyes (2016) y Sorcas (2018).

Actividades económicas.

En la localidad de Antón Lizardo el 60% de la población económicamente activa se dedica actividades pesqueras 20% a las actividades turísticas y el comercio, 10% a las actividades domésticas y el otro 10% trabaja en actividades diversas. Antón Lizardo cuenta con cinco hoteles, dos de tipo ecoturísticos; sin embargo, ninguno cuenta con plantas de tratamiento de aguas residuales, así mismo existen 14 restaurantes con especialidad en pescados y mariscos; así como, diversas palapas a la orilla de la playa, estas últimas no cuentan con las medidas adecuadas para el desecho de residuos generados por los comensales, por lo que generan contaminación orgánica y sólida, la cual, se puede observar sobre la playa.

Por otro lado, el municipio de Boca del Río cuenta con 87 hoteles registrados, los cuales presentan una mayor afluencia turística en los meses de abril y de julio, donde la ocupación hotelera es de entre el 73% y el 85% de su capacidad; sólo los hoteles de cuatro estrellas en adelante cuenta con planta de tratamiento de aguas negras, los demás hacen sus descargas al sistema de drenaje para ser saneadas por el municipio. El municipio cuenta un sistema de alcantarillado para las aguas pluviales las cuales no cuentan con tratamiento previo antes de ser vertidas en las playas, por lo cual arrastran una carga importante carga de sólidos urbanos, derivados de petróleo como grasas y aceites, materia orgánica y microbiológica. con

lo que se puede clasificar como un arrecife medianamente impactado en comparación con el arrecife la Gallega (Tabla 3).

Arrecife de Enmedio.

Demografía.

El arrecife de Enmedio tiene una isla la cual cuenta con un faro, en el que habita por 15 días el cuidador de la isla, el faro cuenta con luz eléctrica generada por paneles solares, pero no cuenta con agua potable ni drenaje, por lo que las descargas se hacen en una fosa séptica, pese a que la contaminación por asentamientos humanos es casi inexistente, las corrientes marinas presentes en el arrecife así como la pluma de agua del río Jamapa, arrastran contaminantes del continente provenientes de las actividades de las localidades de Antón Lizardo y Boca del Río.

Actividades económicas.

En el arrecife de Enmedio se llevan a cabo actividades pesqueras del tipo comercial, deportivo y de investigación científica, así como actividades ecoturísticas, como son snorkel, buceo deportivo, kayakismo, paddel, paseos en lancha y botes. Los contaminantes vertidos en dicho arrecife son del tipo de sólidos urbanos, materia orgánica y microbiológica, con esta información podemos determinar que es un arrecife con bajo impacto al ser comparado con los arrecifes Chopas y La Gallega (Tabla 4).

Actividades económicas	Acciones que se realizan	Posibles contaminantes descargados
Portuarias	<ul style="list-style-type: none"> • Atraque de buques • Remolque de buques cargueros. • Limpieza de cascos • Mantenimiento a flote de embarcaciones • Carga y descarga con grúas 	<ul style="list-style-type: none"> • Metales pesados • Compuestos aromáticos policíclicos • Derivados del petróleo • Materia orgánica • Corrosivos • Solvente inorgánicos
Turísticas	<ul style="list-style-type: none"> • Paseos en embarcaciones por el recinto portuario hacia san Juan de Ulúa • Recorridos a pie por San Juan de Ulúa • Transporte en vehículo hacia San Juan de Ulúa • Hospedaje 	<ul style="list-style-type: none"> • Materia orgánica • Desechos solidos • Grasas y aceites de motor
Transporte	<ul style="list-style-type: none"> • Movimiento de vehículos de transporte de personal • Recorridos de vehículos de vigilancia • Transporte de carga en trenes y camiones 	<ul style="list-style-type: none"> • Grasas y aceites de motor • Quema de gasolina y Diesel

Industriales	<ul style="list-style-type: none"> • Soldadura de metales • Fundición de metales • Transformación de materias primas • Procesamiento de productos alimenticios • Construcción de tuberías industriales 	<ul style="list-style-type: none"> • Quema de caucho proveniente de llantas • Metales pesados • Desechos solidos • Plásticos • Derivados del petróleo • Materia orgánica • Solventes •
Domesticas	<ul style="list-style-type: none"> • Limpieza del hogar • Lavado de ropa • Fumigación del hogar 	<ul style="list-style-type: none"> • Detergentes • Solventes • Materia orgánica • Residuos solidos • Plásticos • Carga Bacteriana
Pesca	<ul style="list-style-type: none"> • Lavado de motor • Lavado de pescados y mariscos • Desviceración y quitado de escamas a pescados 	<ul style="list-style-type: none"> • Materia orgánica • Aceites y grasas • Derivados del petróleo

- Pesca comercial de las especies, amparados por el permiso vigente emitido por CONAPESCA.
- Pesca comercial de especies exóticas invasoras
- Pesca de consumo doméstico

Tabla 2. Actividades económicas, acciones que se realizan y posibles contaminantes, que generan presión sobre el arrecife la Gallega. Información tomada de El corredor arrecifal del suroeste del golfo de México. Retos y Oportunidades Para su Protección de Ortiz-Lozano y colaboradores del 2018.

Actividades económicas	Acciones que se realizan	Posibles contaminantes descargados
Turísticas	<ul style="list-style-type: none"> • Paseo en embarcaciones menores • Recorridos en embarcaciones motorizadas con arrastre de unidad adicional recreativa • Pesca deportivo-recreativa exclusivamente de captura-liberación • Buceo deportivo • Kayakismo y pedel 	<ul style="list-style-type: none"> • Materia orgánica • Desechos solidos • Aceites y grasas de motores • Carga Bacteriana
Domesticas	<ul style="list-style-type: none"> • Limpieza del hogar • Lavado de ropa • Fumigación del hogar • Quema de basura 	<ul style="list-style-type: none"> • Detergentes • Solventes • Materia orgánica • Residuos solidos • Insecticidas • Plásticos • Carga Bacteriana
Agricultura	<ul style="list-style-type: none"> • Deshierbe de terrenos 	<ul style="list-style-type: none"> • Materia orgánica

	<ul style="list-style-type: none"> • Quema de hierbas • Fertilización del terreno • Fumigación de terrenos 	<ul style="list-style-type: none"> • Metales pesados • Pesticidas • Herbicidas
Pesca	<ul style="list-style-type: none"> • Lavado de motor • Lavado de pescados y mariscos • Desviceración y quitado de escamas a pescados • Pesca comercial de las especies, amparados por el permiso vigente emitido por CONAPESCA • Pesca comercial de especies exóticas invasoras • Pesca de consumo doméstico • Pesca deportivo-recreativa exclusivamente • de captura-liberación 	<ul style="list-style-type: none"> • Materia orgánica • Aceites y grasas • Derivados del petróleo

Tabla 3. Actividades económicas, acciones que se realizan y posibles contaminantes, que generan presión sobre el arrecife Chopas. Información tomada de El corredor arrecifal del suroeste del golfo de México. Retos y Oportunidades Para su Protección de Ortiz-Lozano y colaboradores del 2018.

Actividades económicas	Acciones que se realizan	Posibles contaminantes descargados
Turísticas	<ul style="list-style-type: none"> • Paseo en embarcaciones menores • Recorridos en embarcaciones motorizadas con arrastre de unidad adicional recreativa • Pesca deportivo-recreativa exclusivamente de captura-liberación • Buceo deportivo • Kayakismo y pedel • Paseos a la isla de Enmedio • Recreación en la playa de la isla 	<ul style="list-style-type: none"> • Materia orgánica • Desechos solidos • Aceites y grasas de motores • Carga Bacteriana
Pesca	<ul style="list-style-type: none"> • Lavado de motor • Lavado de pescados y mariscos • Desviceración y quitado de escamas a pescados • Pesca comercial de las especies, amparados por el permiso vigente emitido por CONAPESCA 	<ul style="list-style-type: none"> • Materia orgánica • Aceites y grasas • Derivados del petróleo

- Pesca comercial de especies exóticas invasoras
- Pesca de consumo doméstico
- Pesca deportivo-recreativa exclusivamente de captura-liberación

Tabla 4. Actividades económicas, acciones que se realizan y posibles contaminantes, que generan presión sobre el arrecife de Enmedio. Información tomada de El corredor arrecifal del suroeste del golfo de México. Retos y Oportunidades Para su Protección de Ortiz-Lozano y colaboradores del 2018.

6.2. Determinación de la presencia y concentración de Coliformes, Enterococos y *Vibrio* sp. en la columna del agua y en agua de fondo del área de estudio.

Presencia de Enterococos en los arrecifes la Gallega, Chopas y Enmedio del PNSAV.

Para enterococos se observó que están presentes en los tres arrecifes (La Gallega, Chopas y Enmedio) del PNSAV en ambos puntos de la columna del agua (superficie y fondo). Sin embargo, se observa que existe una diferencia significativa en la concentración de enterococos en la superficie del arrecife la Gallega con respecto al fondo, mientras que en los arrecifes de Chopas y Enmedio no se encontró diferencia significativa entre puntos de la columna del agua (Figura 5). Los resultados encontrados por Baños-Cruz en el 2012 y Sánchez-Domínguez en el 2015, coinciden para los arrecifes de Chopas y Enmedio, ya que ambos encontraron mayor concentración de enterococos en los sedimentos que en la superficie, del Estero en Ecuador, pero difiere en el arrecife de la Gallega, esto podría deberse a que en dicho arrecife existe una constante remoción de los sedimentos por la entrada y salida de embarcaciones mayores y botes con motor a bordo, así como, la entrada de agua por las descargas de aguas pluviales, fluviales y descargas de las embarcaciones, lo que provoca remoción permanente de los sedimentos y la materia orgánica presente en dicho arrecife.

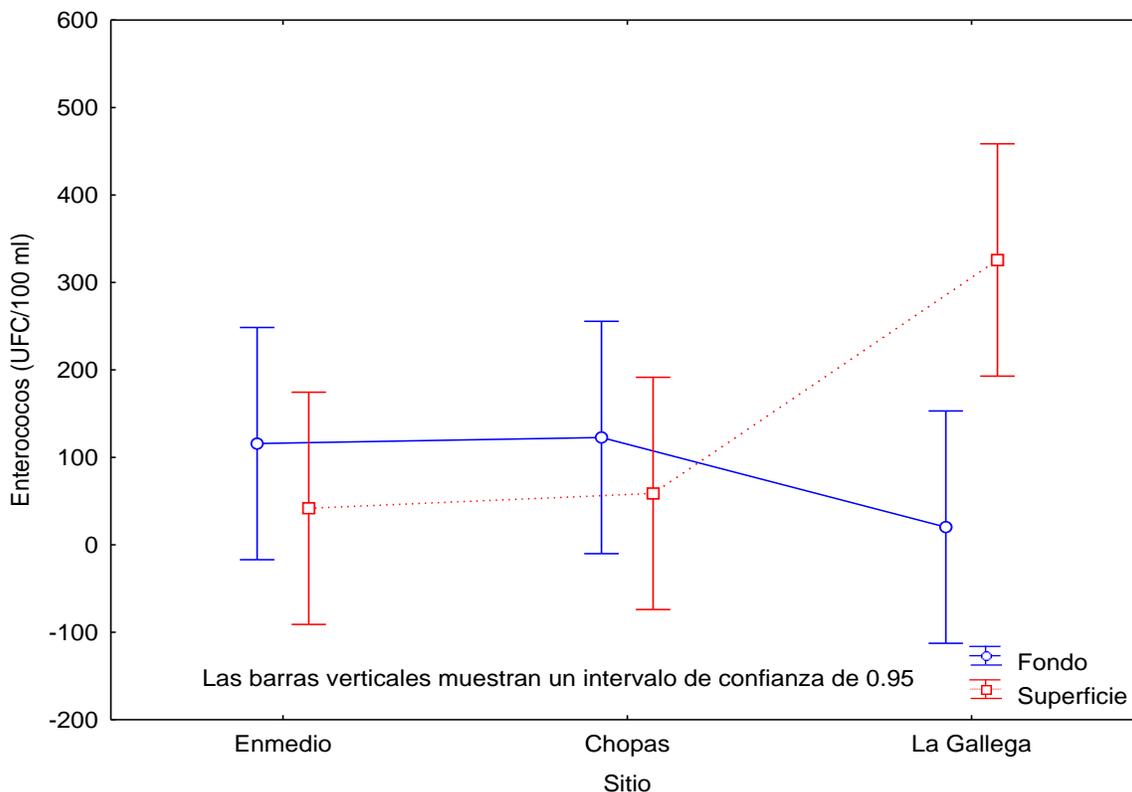


Figura 5. Variación de la concentración de enterococos con respecto al punto de la columna del agua en los arrecifes la Gallega, Chopas y Enmedio del PNSAV.

Concentración de enterococos.

Las concentraciones de enterococos variaron entre 12 y 158 UFC/100 ml para la temporada de estiaje y de 30 a 233 UFC/100 ml para la temporada de nortes en los arrecifes de Enmedio y Chopas, por lo que las concentraciones en ambos arrecifes se encontraron dentro de los límites permisibles de la norma ISO 799-2 del 2002 y la norma oficial mexicana NX-AA-120-SCFI-2016 (200 UFC/100 ml de agua); sin embargo, el arrecife la Gallega superó los límites permisibles en ambas temporadas, sobre todo en la temporada de nortes donde se encontraron hasta 351 UFC/100 ml y 300 UFC/ 100 ml de agua en estiaje (Tabla 5). Esto coincide con Saravia-Arguedas y colaboradores (2019) quienes indican que las zonas con alto aporte de contaminantes y materia orgánica son los que presentan mayor concentración de bacterias nocivas; y con Baños-Cruz quien encontró una relación positiva entre la

temperatura y la concentración de enterococos, a temperaturas más altas mayor concentración de enterococos, como sucede en la época de estiaje; y a temperaturas bajas, menor concentración de enterococos como sucede en época de lluvias.

Sitio	Profundidad	Temporada	
		Nortes	Secas
La Gallega	Superficie	351.5 ± 365.5 ^b	300 ± 70.71 ^a
	Fondo	19.5 ± 4.94 ^a	21 ± 15.55 ^a
Chopas	Superficie	30.5 ± 6.36 ^a	87 ± 19.79 ^a
	Fondo	233.5 ± 207.18 ^a	12 ± 1.41 ^a
Enmedio	Superficie	73.5 ± 9.19 ^a	52 ± 35.5 ^a
	Fondo	31.5 ± 19.1 ^a	158 ± 158 ^a

Tabla 5. Valores medios de la concentración de enterococo. (UF/100 ml de agua) de tres arrecifes del PNSAV a dos profundidades, durante las temporadas de nortes y secas.

*Valores con literales diferentes indican diferencia significativa con respecto a los valores de P ($P < 0.05$), valores con literales iguales indican que no existe diferencia significativa con respecto a P.

Presencia de Coliformes Totales (CT) en los arrecifes la Gallega, Chopas y Enmedio del PNSAV.

La presencia de las bacterias coliformes se observó en los tres arrecifes (La Gallega, Chopas y Enmedio) del PNSAV en ambos puntos de la columna del agua (superficie y fondo) por lo que no se encontró diferencia significativa entre puntos de la columna del agua (Figura 6). Sin embargo, se puede observar que existe una menor concentración de bacterias coliformes en el arrecife la Gallega, lo cual podría debersele que no existe una aportación de agua dulce y la salinidad de la zona es mayor, a la que se presenta en los arrecifes Chopas y Enmedio como lo indican Baños-Cruz en el 2012 y Puelles (2014), con lo cual se indicaría que los coliformes no son bacterias halotolerantes. Razón por la cual la salinidad afecta su concentración.

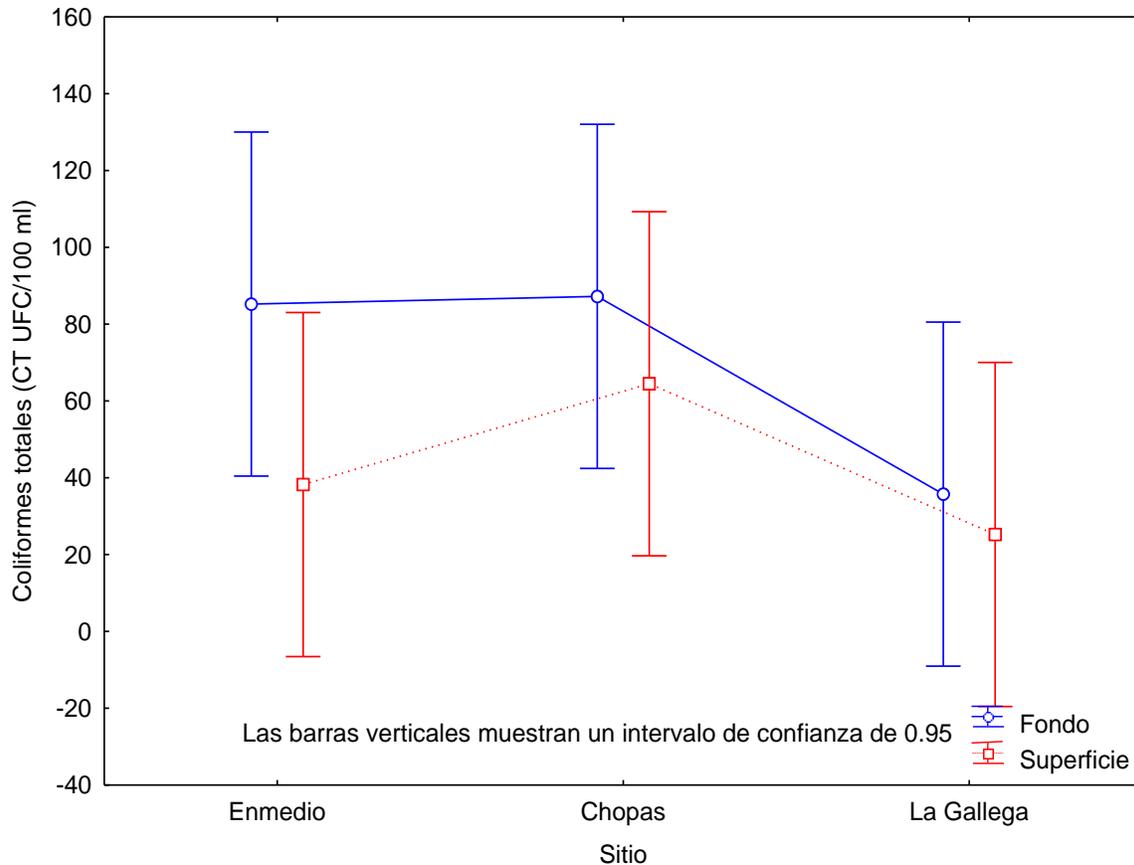


Figura 6. Variación de la concentración de coliformes con respecto con respecto al punto de la columna del agua en los arrecifes la Gallega, Chopas y Enmedio del PNSAV

Concentración de coliformes.

La concentración de coliformes varió entre 0 y 94 UFC/100 ml para la temporada de nortes, mientras que en la temporada de secas varió entre 0 y 148 UFC/100 ml. Por otro parte se observó una mayor concentración de coliformes en el agua del fondo para los arrecifes de Chopas (94 UFC/100 ml) y Enmedio (75 UFC/100ml) para la temporada de nortes, mientras que en este mismo arrecife en la temporada de secas se encontró mayor concentración de coliformes en el agua de superficie (148 UFC/100 ml superficie vs 71 UFC/100 ml fondo (Tabla 6).

Sitio	Profundidad	Temporada	
		Nortes	Secas
La Gallega	Superficie	50.5 ± 14.84 ^a	0 ± 0 ^a
	Fondo	71.5 ± 7.77 ^a	0 ± 0 ^a
Chopas	Superficie	2 ± 0 ^a	127 ± 29.7 ^a
	Fondo	94 ± 0 ^a	80.5 ± 13.43 ^a
Enmedio	Superficie	0 ± 0 ^a	76.5 ± 27.5 ^a
	Fondo	75 ± 0 ^a	95.5 ± 7.77 ^a

Tabla 6. Valores medios de la concentración de coliformes. (UF/100 ml de agua) de tres arrecifes del PNSAV a dos profundidades, durante las temporadas de nortes y secas.

*Valores con literales diferentes indican diferencia significativa con respecto a los valores de P ($P < 0.05$), valores con literales iguales indican que no existe diferencia significativa con respecto a P.

Presencia de *Vibrio cholerae* y *V. parahaemolyticus* en los arrecifes la Gallega, Chopas y Enmedio del PNSAV.

Las dos profundidades de los tres arrecifes del PNSAV fueron positivos para *Vibrio* spp como lo muestra la figura 7, sin embargo, no existió una diferencia significativa con respecto a la variación de profundidad concentración. Solo se observó diferencia respecto a la temporada, dado que en la temporada de nortes se observó la presencia de *Vibrio parahaemolyticus* mientras que en la temporada de secas se pudo observar la presencia de *V. cholera* no pandémico (Tabla 7). Esto coincide con lo reportado por Johnson (2010) quien encontró mayor concentración de *V. parahaemolyticus* cuando existía remoción de sedimento aunado a las bajas temperaturas.

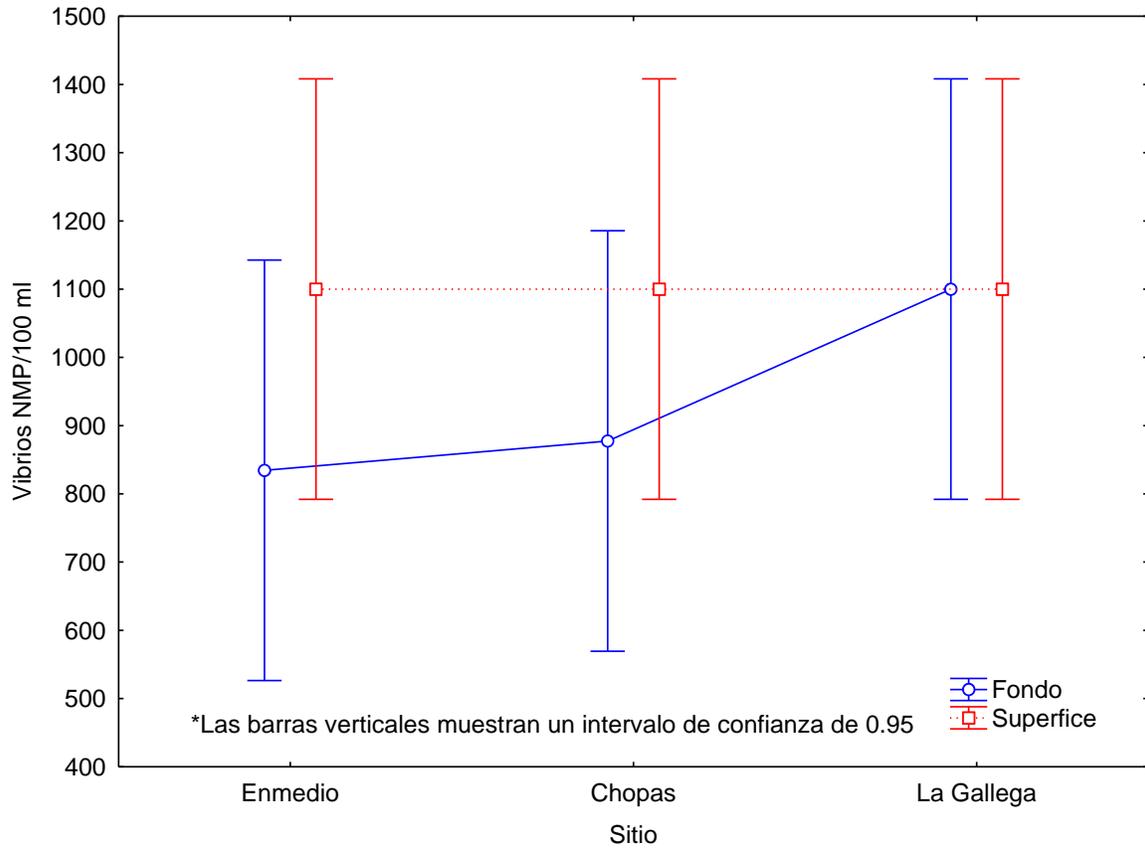


Figura 7. Variación de la concentración de *Vibrio sp.* con respecto con respecto al punto de la columna del agua en los arrecifes la Gallega, Chopas y Enmedio del PNSAV.

Sitio	Temporada	<i>V. cholerae</i>	<i>V. parahemolyticus</i>
La Gallega	Secas	+	-
	Nortes	+	+
Chopas	Secas	+	-
	Nortes	-	+
Enmedio	Secas	+	-
	Nortes	-	+

Tabla 7. Representación de las presencias y ausencias de *Vibrio cholerae* y *V. parahemolyticus*, durante la temporada de secas y nortes, en los tres arrecifes del PNSAV

Concentración de *Vibrio* spp.

Los resultados de las concentraciones de *Vibrio* spp. superó el límite de detección para la temporada de nortes en los tres arrecifes (>1100 NMP/100 ml), mientras que en la temporada de secas los resultados tuvieron variación entre 877 y >1100 NMP/100 ml. Esto podría deberse a como lo indica Nobel a la remoción del sedimento originado por algún evento ambiental donde incrementa hasta un 90% las concentraciones bacterianas (Tabla 5).

Sitio	Profundidad	Temporada	
		Nortes	Secas
La Gallega	Superficie	>1100 ± 0 ^a	>1100 ± 0 ^a
	Fondo	>1100 ± 0 ^a	>1100 ± 0 ^a
Chopas	Superficie	>1100 ± 0 ^a	>1100 ± 0 ^a
	Fondo	>1100 ± 0 ^a	834.5 ± 531 ^a
Enmedio	Superficie	>1100 ± 0 ^a	1100 ± 0 ^a
	Fondo	>1100 ± 0 ^a	877.5 ± 445 ^a

Tabla 8. Valores medios de la concentración de *Vibrio* spp. (NMP/ 100 ml de agua) de tres arrecifes del PNSAV a dos profundidades, durante las temporadas de nortes y secas.

*Valores con literales diferentes indican diferencia significativa con respecto a los valores de P ($P \leq 0.05$), valores con literales iguales indican que no existe diferencia significativa con respecto a P.

6.3. Determinar la variación espacio-temporal con respecto a las concentraciones de bacteria bioindicadoras.

Variación espacio-temporal de enterococos.

Pese a que no se encontró diferencia significativa entre los tres arrecifes [KW-H(2,24) = 0.105, $p < 0.05$], la profundidad [KW-H(1,24) = 1.7633, $p < 0.05$] o la temporada [KW-H(1,24) = 0.0533, $p < 0.05$]; las concentraciones de enterococos en el fondo de los arrecifes Chopas y Enmedio se encontró entre los límites permisibles

de la norma ISO 799-2 del 2002 (200 UFC/100 ml de agua), es decir que variaron entre 12 y 158 UFC/100 ml para la temporada de estiaje, mientras que en la temporada de nortes se observa que en el fondo supera el límite permisible en el arrecife Chopas (233.5 UFC/100 ml) por otro lado Enmedio y la Gallega se encuentran dentro de los límites permisibles de 19.5 a 31.5 UFC/100 ml en la temporada de nortes. respecto a las concentraciones en la superficie se observó que sólo el arrecife la Gallega superó los límites permisibles en ambas temporadas, sobre todo en la temporada de nortes donde se encontraron hasta 351 UFC/100 ml y 300 UFC/100 ml de agua en estiaje. En los arrecifes de Enmedio y Chopas las concentraciones de la superficie variaron entre 30 y 31 UFC/100 ml de agua para la temporada de nortes y de 52 a 87 UFC/100 ml de agua para la temporada de estiaje (Figura 8).

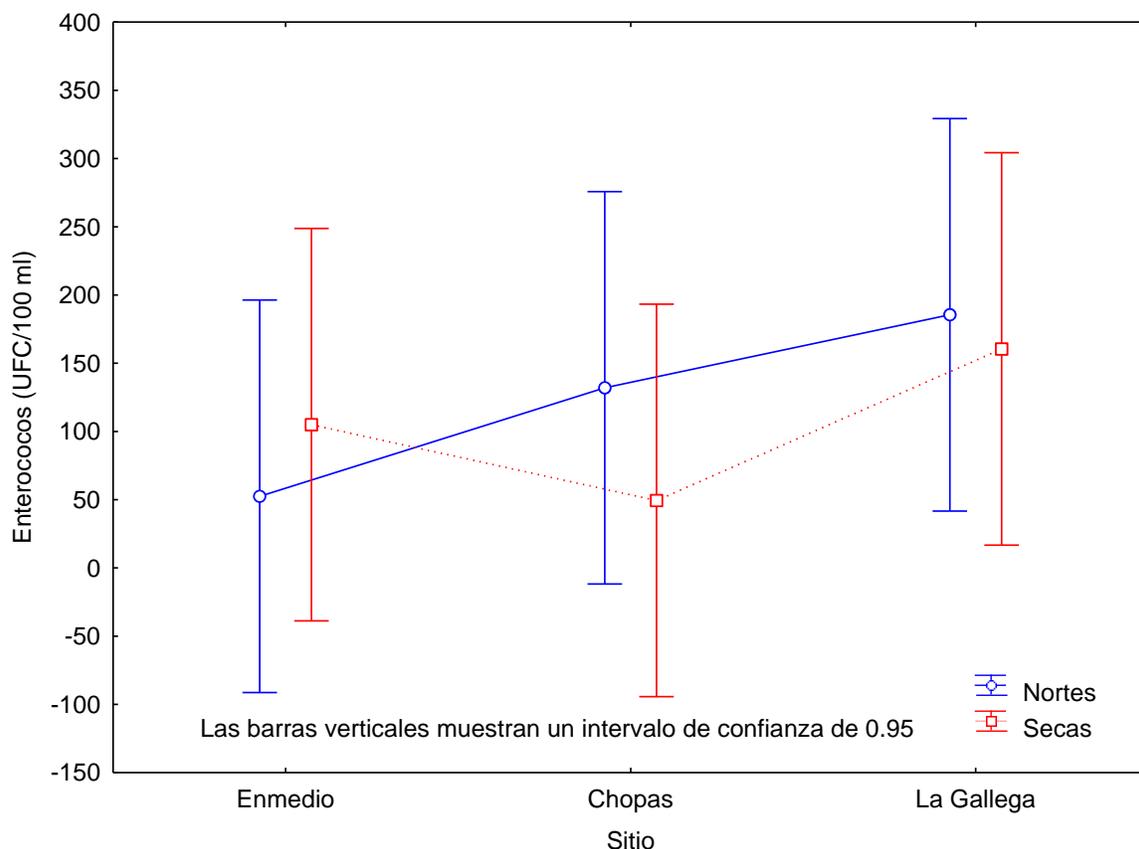


Figura 8. Variación de la concentración de Enterococos. (UFC/100 ml) con respecto al sitio y la temporada.

Variación espacio-temporal de Coliformes.

No existe diferencia significativa en la concentración de bacterias coliformes con respecto a los arrecifes [KW-H(2,24) = 6.3031, $p > 0.05$], profundidad [KW-H(1,24) = 1.7937, $p < 0.05$] o la temporada [KW-H(1,24) = 0.4883, $p > 0.05$]; sin embargo no se detectó la presencia de bacterias coliformes en los arrecifes la Gallega en temporada de estiaje y Enmedio en la temporada de nortes (ambos arrecifes presentaron 0 UFC/100 ml); mientras que Chopas reporto las concentraciones mayores para ambas temporadas. Lo cual podría deberse a los aportes que recibe del rio Jamapa, sobre todo en la temporada de nortes donde el caudal del rio aumenta y las corrientes favorecen el transporte de agua dulce a dicho arrecife. Mientras que el arrecife la Gallega no tiene ningún aporte importante de agua dulce lo cual desfavorece la presencia de las bacterias coliformes, siendo que estas no son halotolerantes (Figura 9).

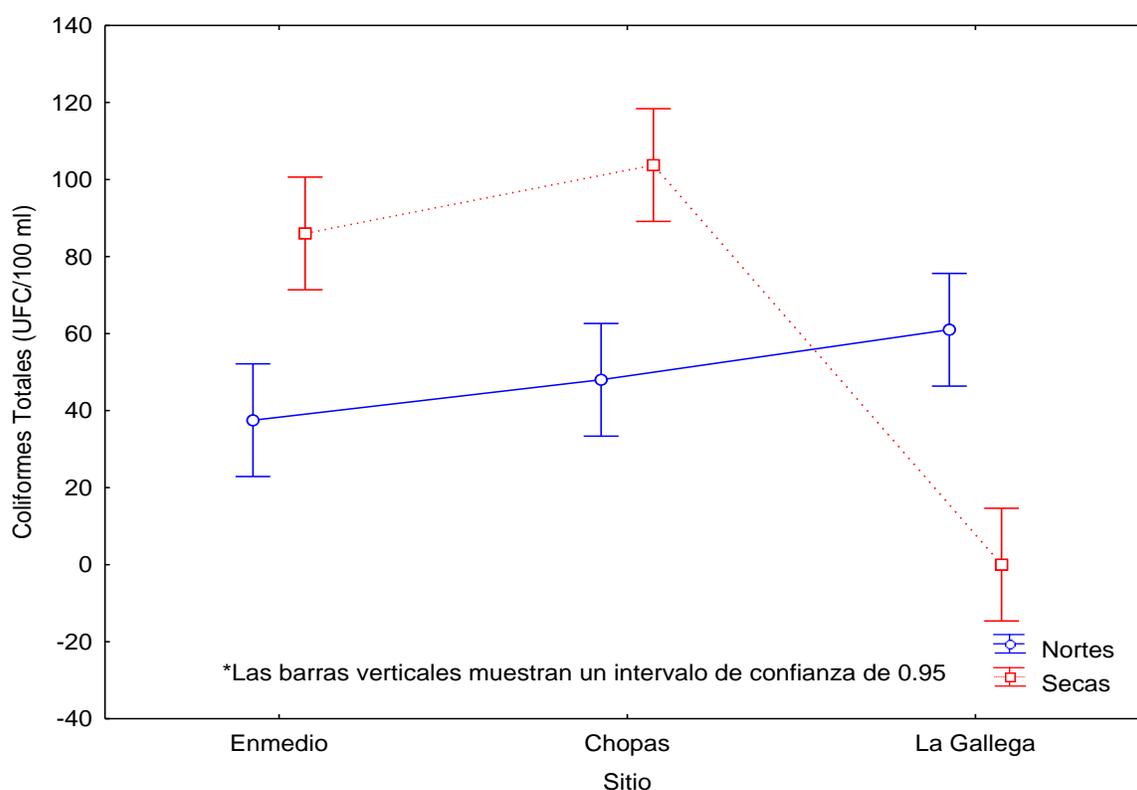


Figura 9. Variación de la concentración de Coliformes Totales (UFC/100 ml) con respecto al sitio y la temporada.

Variación espacio-temporal de *Vibrio* sp.

Respecto a las concentraciones de *Vibrio* spp. (NMP/100 ml de agua) para cada uno de los sitios no existió diferencia significativa [KW-H (2,24) = 1.0489, $p \leq 0.005$], tampoco existió diferencia significativa con respecto a la temporada [KW-H (1,24) = 2.087, $p \leq 0.005$] y la profundidad [KW-H (1,24) = 2.087, $p \leq 0.005$].

Sin embargo, se observan una tendencia a mayor concentración con respecto a la temporada de nortes para los tres arrecifes, esto podría deberse a la remoción del sedimento por el efecto de los nortes; según Koh al existir un efecto resuspensión de sedimentos las concentraciones aumentan. Con respecto a los sitios, los arrecifes de Chopas y Enmedio se observa que existe menor concentración de *Vibrio* sp con respecto a la Gallega; lo que coincide con Haller (2019) quien explica que zonas con impacto antropogénico al presentan mayor concentración de *Vibrio* (Figura 10).

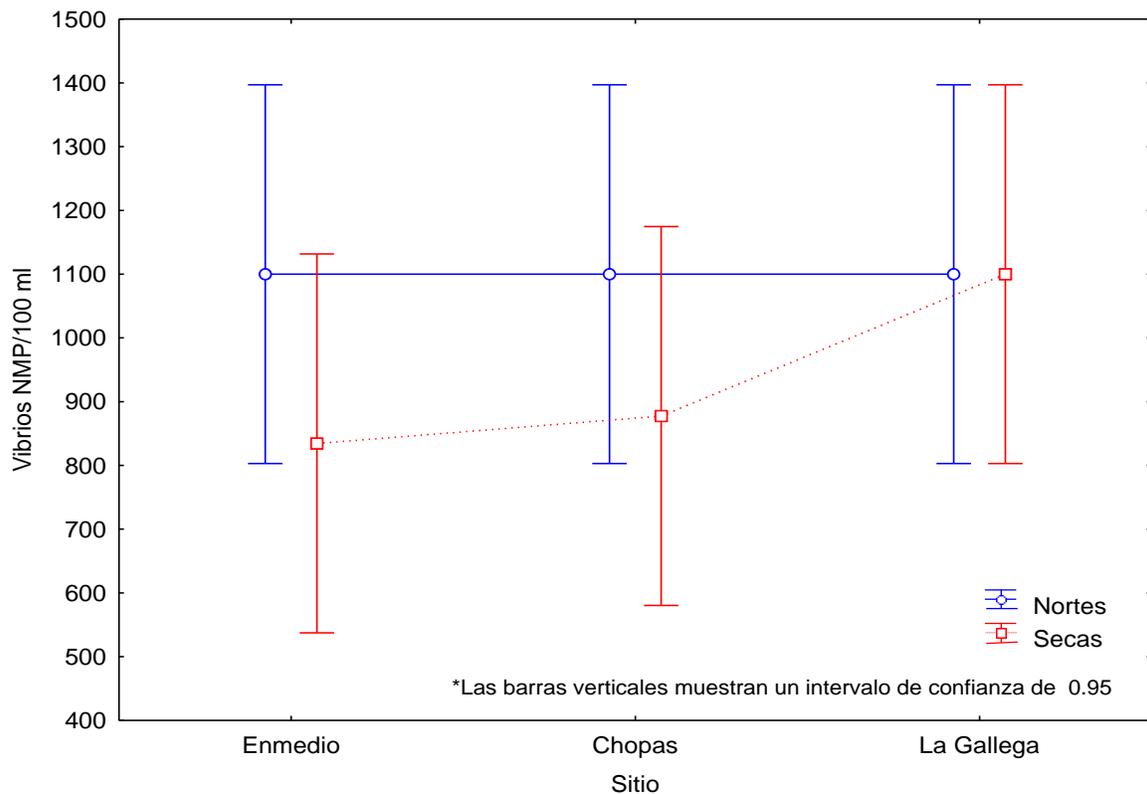


Figura 10. Variación de la concentración de *Vibrio* spp. (NMP/100 ml) con respecto al sitio y la temporada.

6.4. Establecer cuál de las tres bacterias tiene mayor eficiencia como bioindicador de contaminación antropogénica en sistemas costeros tropicales

Conforme a lo analizado en los dos objetivos anteriores, se puede determinar que para ecosistemas costeros tolerantes se sigue recomendando el uso de bacterias enterococos como lo hace Larrea-Murrel y colaboradores en el 2013 y Sánchez – Domínguez en el 2015 debido a las características que presentan los enterococos lo cual las ayuda adaptarse mejor a las condiciones de salinidad, temperatura, resistencia a la radiación solar y la protección ante los depredadores lo hacen altamente eficiente como bioindicador.

Por otro lado, se observó que los coliformes son poco recomendados para determinar el grado de contaminación antropogénica en sistemas costeros tropicales, debido a su baja tolerancia a la salinidad, sin embargo, podrían funcionar adecuadamente en sistemas de agua dulce, como los ríos, los lagos y las lagunas, como han sido utilizados y recomendados por las normas mexicanas.

Para las bacterias Vibrio se determinó que su presencia en los sistemas tropicales no se ve afectada por la estación, la profundidad o el sitio de muestreo, al estar su concentración siempre por encima de los niveles de detección de la prueba, con lo que demuestra que dichas bacterias están adaptadas a estos ecosistemas.

7. CONCLUSIÓN

Las actividades de mayor impacto son las de tipo portuarias e industriales, seguidas de las de transporte y turismo, éstas pueden aportar contaminantes como lo son los sólidos urbanos y materia orgánica que son desechados en playas o arrecifes.

El arrecife que recibe mayor impacto es el arrecife la Gallega, principalmente por su cercanía a la costa, las actividades antropogénicas que se realizan en la zona y por las descargas pluviales y fluviales que se hacen cerca de este arrecife; en tanto que el arrecife Chopas se ve impactado por su cercanía con la costa, los aportes de agua que recibe del río Jamapa, así como, las descargas pluviales y fluviales del municipio de Antón Lizardo.

El arrecife de Enmedio es el menos impactado, y se debe a que es una zona protegida la cual se encuentra a 8.5 km de distancia de la costa, además de que gracias a su ubicación es menos impactada por la pluma de agua del río Jamapa ya que los arrecifes de Chopas, Polo y Blanca, los cuales reciben el impacto directo.

En cuanto a la presencia y distribución del grupo *Vibrio* y las especies *V. cholerae* y *V. parahemolyticus* se asume que son influenciadas principalmente por los factores temporales; que provoca la resuspensión del sedimento, incrementando las concentraciones de estas bacterias en la columna del agua; por ello, este grupo bacteriano presenta limitantes al momento de quererlo seleccionar como indicador de contaminación, además debe tomarse en cuenta su gran adaptación en ambientes salobres y marinos.

Por otra parte, la concentración de coliformes se ve afectada por las cuestiones de salinidad, más que por el factor antropogénico, por lo que su uso se recomienda sobre todo en ambientes con salinidad menores a 10 ppm.

Se determinó que la bacteria más efectiva para medir el nivel de contaminación de origen antropogénica en sistemas costero tropicales sigue siendo las bacterias enterococos, debido a que su presencia no se ve tan afectada por las condiciones temporales, sin embargo, se recomienda ampliar su estudio a el agua de fondo y

los sedimentos, debido a que se observa mayor concentración en el agua del fondo. De la misma manera, se observa que las bacterias *Vibrio sp.* sean incluidas en los estudios de contaminación antropogénica ampliando los márgenes de la prueba e implementado PCR para determinar de manera presencia del genero predominante en los muestreos.

9. REFERENCIAS.

- APHA, AWWA, WEF. (2012). Standard Methods for examination of water and wastewater. 22nd ed. Washington: American Public Health Association; 1360 pp. ISBN 978-087553-013-0 <http://www.standardmethods.org>
- Arcos Pulido, M., Ávila de Navia, S., MSC, Estupiñán Torres, S., MSC, & Gómez Prieto, A. (2005). Indicadores microbiológicos de contaminación de las fuentes de agua. *NOVA Publicación en Ciencias Biomédicas*, 3(4), 69-79.
- Artiola, J. F., Walworth, J. L., Musil, S. A., & Crimmins, M. A. (2019). Soil and Land Pollution. *Environmental and Pollution Science*, 219–235. doi:10.1016/b978-0-12-814719-1.00014-8
- Ashbolt, N. J., Grabow, W. O., & Snozzi, M. (2001). 13 Indicators of microbial water quality.
- Bakht, S., Khair, K., Ayesha, M., Azhar, W., Jamroz, W., Mushtaq, Z., Anjum S. & Asif Khan, M. 2019. Genetically Enhanced Microbial Bioindicators for Environmental Monitoring: A Review. *Journal of Bioprocessing & Biotechniques*, (9)1. ISSN: 2155-982.
- Ballester, F. (2005). Contaminación atmosférica, cambio climático y salud. *Revista Española de Salud Pública*, 79(2), 159-175. Recuperado en 2 de febrero de 2020, de http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1135-57272005000200005&lng=es&tlng=es.
- BAM, F. (2004). Bacteriological analytical manual chapter 9: Vibrio. Food & Drug Administration, Bacteriological Analytical Manual, Washington DC.
- Baños Cruz, L. G. (2012). Distribución y concentración de Coliformes totales, Coliformes fecales, Escherichia coli Y Enterococos en el agua y sedimento en el estero salado (tramos B, D, EYG) (Master's thesis).
- Barceló, D., & López, M. J. (2008). Contaminación y calidad química del agua: el problema de los contaminantes emergentes. Jornadas de presentación de resultados: el estado ecológico de las masas de agua. Panel científico-técnico de seguimiento de la política de aguas, Sevilla.
- Ben-Haim, Y. & Rosenberg, E. Marine Biology (2002) A novel Vibrio sp. pathogen of the coral Pocilloporadamicornis. *Marine Biology*, 141(1), 47-55. <https://doi.org/10.1007/s00227-002-0797-6>

- Botello, A. V., Villanueva, S., Díaz, G., & Pica, Y. (1995). Contaminación por hidrocarburos aromáticos policíclicos en sedimentos y organismos del Puerto de Salinas Cruz, Oaxaca, México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 11(1), 21-30.
- Brooks, G., Butel, J., & Morse, S. (2002). *Microbiología médica de Jawetz. Melnick y adelberg*, 18, 313-320.
- Bravo-Inclán, L., Saldaña-Fabela, P., Izurieta-Dávila, J., & Mijangos-Carro, M. (2013). La importancia de la contaminación difusa en México y en el mundo.
- Burger, J., Gochfeld, M., Jeitner, C., Gray, M., Shukla, T., Shukla, S., & Burke, S. (2007). Kelp as a bioindicator: does it matter which part of 5 m long plant is used for metal analysis? *Environmental Monitoring and Assessment*, 128(1-3), 311-321.
- Byappanahalli, M. N., Nevers, M. B., Korajkic, A., Staley, Z. R., & Harwood, V. J. (2012). Enterococci in the environment. *Microbiol. Mol. Biol. Rev.*, 76(4), 685-706.
- Cabral, L., de Sousa, S. T. P., Júnior, G. V. L., Hawley, E., Andreote, F. D., Hess, M., & de Oliveira, V. M. (2018). Microbial functional responses to long-term anthropogenic impact in mangrove soils. *Ecotoxicology and environmental safety*, 160, 231-239.
- Cantet, F., Hervio-Heath, D., Caro, A., Le Mennec, C., Monteil, C., Quéméré, C., and Monfort, P. 2013. Quantification of *Vibrio parahaemolyticus*, *Vibrio vulnificus* and *Vibrio cholerae* in French Mediterranean coastal lagoons. *Research in microbiology*, 164(8): 867-874.
- Cavallo, R. A., y Stabili, L. 2002. Presence of vibrios in seawater and *Mytilus galloprovincialis* (Lam.) from the Mar Piccolo of Taranto (Ionian Sea). *Water Research*, 36(15):3719-3726
- CONANP. (2017). Programa de Manejo Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. Recuperado de https://simec.conanp.gob.mx/pdf_libro_pm/135_libro_pm.pdf
- CONANP.(2019). ¿Sabes cuánta agua consumes?. Recuperado el 05 de mayo del 2020. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. Website: <https://www.gob.mx/conanp/articulos/sabes-cuanta-agua-consumes>
- CONAPESCA. (2013). Anuario Estadístico de Acuicultura y Pesca (p. 208). Veracruz: Comisión Nacional de Acuicultura y Pesca.
- Corona-Lisboa, J. L. (2013). Contaminación antropogénica en el lago de Maracaibo, Venezuela. *Biocenosis*, 27(1-2).

- Cruz, J. (2018). Solo 12 de 25 plantas de tratamiento de aguas residuales funcionan en Veracruz. Recuperado el 05 de mayo del 2020. XEU Noticias. Website: <https://www.xeu.mx/nota.cfm?id=968084>
- Cruz, J. (2019). En Boca del Río solo funciona una de cinco plantas de tratamiento de aguas residuales, señala regidor de Ecología y Medio Ambiente, Carlos Alberto Butrón Valenzuela. Recuperado el 05 de mayo del 2020. XEU Noticias. Website: <https://www.xeu.mx/nota.cfm?id=1063555>
- Cuenca, M. R., Cuenca, P. R., Mata, N. C., & González, P. R. (2018). Contaminación de agua potable y enfermedades: causas, consecuencias y soluciones. In *Avances de Investigación en Salud a lo largo del Ciclo Vital: Volumen II* (pp. 41-46). ASUNIVEP.
- Dollar, S.J., & Grigg, R.W. (2004). Anthropogenic and Natural Stresses on Selected Coral Reefs in Hawai'i: A Multidecade Synthesis of Impact and Recovery. *Pacific Science* 58(2), 281-304. doi:10.1353/psc.2004.0016.
- Doria, C. & Vivas, L. (2016). Fuentes terrestres de contaminación en la zona costera de La Guajira, Colombia. *Rev. Invest. Agraria y Ambiental*, 7(1), 123-138.
- García, J. I., Pires, E., Aldea, L., Lomba, L., Perales, E., & Giner, B. (2015). Ecotoxicity studies of glycerol ethers in *Vibrio fischeri*: checking the environmental impact of glycerol-derived solvents. *Green Chemistry*, 17(8), 4326-4333.
- García-Lázaro, M., Pulido, M. A., Rivero, A., & Torre-Cisneros, J. (2010). Cólera y otras infecciones del género *Vibrio*. *Medicine-Programa de Formación Médica Continuada Acreditado*, 10(52), 3489-3496.
- Gillings, M. R., Gaze, W. H., Pruden, A., Smalla, K., Tiedje, J. M., & Zhu, Y.-G. (2015). Using the class 1 integron-integrase gene as a proxy for anthropogenic pollution. *The ISME Journal*, 9(6), 1269-1279. doi: 10.1038/ismej.2014.226
- Goh, S. G., Bayen, S., Burger, D., Kelly, B. C., Han, P., Babovic, V., & Gin, K. Y.-H. (2017). Occurrence and distribution of bacteria indicators, chemical tracers and pathogenic vibrios in Singapore coastal waters. *Marine pollution bulletin*, 114(1), 627-634.
- Gomez-Gil, B., Soto-Rodríguez, S., García-Gasca, A., Roque, A., Vazquez-Juarez, R., Thompson, F. L., & Swings, J. (2004). Molecular identification of *Vibrio harveyi*-related isolates associated with diseased aquatic organisms. *Microbiology*, 150(6), 1769-1777. doi: <https://doi.org/10.1099/mic.0.26797-0>

- González-Fernández, D., Garrido-Pérez, M., Nebot-Sanz, E., & Sales-Márquez, D. J. E. (2010). Fecal pollution in coastal marine sediments from a semi-enclosed deep embayment subjected to anthropogenic activities: an issue to be considered in environmental quality management frameworks development. *7*(4), 473-484.
- González-González, M., Torres, T., & Chiroles, S. (2003). Calidad microbiológica de aguas costeras en climas tropicales. *Revista Cuba, medio ambiente y desarrollo*, *4*, 1-5.
- Gonzalez, A.M., Paranhos, R. & Lutterbach, M.S. Relationships between fecal indicators and pathogenic microorganisms in a tropical lagoon in Rio de Janeiro, Brazil. *Environ Monit Assess* *164*, 207–219 (2010). <https://doi.org/10.1007/s10661-009-0886-9>
- González-Zuarth, C. A., Vallarino, A., Pérez-Jiménez, J. C., & Low-Pfeng, A. M. (2014). Bioindicadores: guardianes de nuestro futuro ambiental. ECOSUR, México.
- Hakami, B. A. (2015). Impacts of Soil and Water Pollution on Food Safety and Health Risks. *Technology*, *6*(11), 32-38.
- Hong, S., Park, J. K., Thompson, L. G., Boutron, C. F., Ferrari, C. P., Franco, B., & Maurice-Bourgoin, L. (2003). Changes in the occurrence of heavy metals in the tropical atmosphere during the past 22,000 years as recorded in Bolivian ice core. *Journal de Physique IV (Proceedings)*, *107*, 633–636. doi:10.1051/jp4:20030383
- INEGI. (2016). Panorama sociodemográfico de Veracruz de Ignacio de la Llave 2015. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. INEGI-c2016.
- Ishii, S., & Sadowsky, M. J. (2008). *Escherichia coli* in the environment: implications for water quality and human health. *Microbes and Environments*, *23*(2), 101-108.
- ISO 21872-1:2017 Microbiology of the food chain. Horizontal method for the determination of *Vibrio* spp. Part 1: Detection of potentially enteropathogenic *Vibrio parahaemolyticus*, *Vibrio cholerae* and *Vibrio vulnificus*
- ISO-7899-2:2002 Water quality-Detection and enumeration of intestinal enterococci-Part 2: Membrane filtration method.
- Jara Jara, H. J. (2019). Evaluación de la probabilidad de contaminación por ciclohexano en zonas portuarias: aplicación en la Bahía de Santander.
- Jiménez, B. E. (2001). La contaminación ambiental en México. Editorial Limusa.

- Jin, G., Engle, A., Bradford, H. and Jeng, H.-W. (2004), Comparison of E.Coli, Enterococci, and Fecal Coliform as Indicators for Brackish Water Quality Assessment. *Water Environment Research*, 76: 245-255. doi:10.2175/106143004X141807.
- Jain, A., Singh, B. N., Singh, S. P., Singh, H. B., & Singh, S. (2010). Exploring biodiversity as bioindicators for water pollution. In National Conference on Biodiversity, Development and Poverty Alleviation. On 22nd May.
- Hakami, B. A. (2015). Impacts of Soil and Water Pollution on Food Safety and Health Risks. *Technology*, 6(11), 32-38.
- Khan, M. A., & Ghouri, A. M. (2011). Environmental pollution: Its effects on life and its remedies. *Researcher World: Journal of Arts, Science & Commerce*, 2(2), 276-285.
- Larrea-Murrell, J. A., Rojas-Badía, M. M., Romeu-Álvarez, B., Rojas-Hernández, N. M. & Heydrich-Pérez, M. (2013). Bacterias indicadoras de contaminación fecal en la evaluación de la calidad de las aguas: Revisión de la literatura. *Revista CENIC. Ciencias Biológicas*, 44(3).
- Leyton, Y., & Riquelme, C. (2008). Vibrios en los sistemas marinos costeros. *Revista de biología marina y oceanografía*, 43(3), 441-456.
- Malani P, Kauffman C, Zervos M. 2002. Enterococcal Disease, Epidemiology, and Treatment, p 385-408. In Gilmore M, Clewell D, Courvalin P, Dunny G, Murray B, Rice L (ed), *The Enterococci*. ASM Press, Washington, DC. doi: 10.1128/9781555817923.ch10
- Massone, H., Corleto, B., Albornoz, D., Lima, L., Pertini, I., Damiano, F., & Fresta, P. (2016). Inventario de fuentes puntuales de contaminación potencial del agua subterránea: caso de estudio Mar del Plata.
- Miller, W. A., Miller, M. A., Gardner, I. A., Atwill, E. R., Byrne, B. A., Jang, S., Harris, M., Ames, J., Jessup, D., & Paradies, D. (2006). *Salmonella* spp., *Vibrio* spp., *Clostridium perfringens*, and *Plesiomonas shigelloides* in marine and freshwater invertebrates from coastal California ecosystems. *Microbial ecology*, 52(2), 198-206.
- NMX-AA-120-SCFI-2016 Que establece los requisitos y especificaciones de sustentabilidad de calidad de playas, declaratoria de vigencia publicada en el Diario Oficial de la Federación el 7 de diciembre de 2016.
- NMX-AA-167-SCFI-2017 Que establece los requisitos y especificaciones de sustentabilidad de calidad de playas, declaratoria de vigencia publicada en el Diario Oficial de la Federación el 7 de agosto de 2017.

- Nathanson, J. A. 2019. Pollution. Enciclopedia Britanica. Consultada en <https://www.britannica.com/science/pollution-environment> [4 de febrero del 2020]
- Nriagu, J. O. (1996). *A History of Global Metal Pollution*. *Science*, 272(5259), 223–0. doi:10.1126/science.272.5259.223
- Okpokwasili, G.C. & Akujobi, T.C. (1996), Bacteriological indicators of tropical water quality. *Environ. Toxicol. Water Qual.*, 11: 77-81. doi:10.1002/(SICI)1098-2256(1996)11:2<77::AID-TOX1>3.0.CO;2-5
- OMS. (2016). Preventing disease through healthy environments: a global assessment of the burden of disease from environmental risks pdf. consultado el 2 de febrero del 2020.
- Ortiz Lozano, L. D., Arceo Briseño, P., Granados Barba, A., Salas Moreal, D., & Jiménez Badillo, M. d. L. (2010). Zona costera.
- Ortiz-Lozano, L., Martínez-Esponda, F. X., Escorcía-Quintana, M., García-Maning, G., Ramos-Pedruza Ceballos, X., & Colmenares-Campos, C. (2018). El corredor arrecifal del suroeste del golfo de México. Retos y Oportunidades Para su Protección, 26-29.
- Osores Plenge, F., Roca Reyes, J. C., Rosas Ramos, W., & Domínguez, N. (2009). Presencia de bacterias patógenas en las aguas de la desembocadura del Río Surco y la Playa La Chira, Lima, Perú, Junio 2009. *Acta Médica Peruana*, 26(4), 243-246.
- Payment, P., & Locas, A. (2011). Pathogens in water: value and limits of correlation with microbial indicators. *Groundwater*, 49(1), 4-11.
- Perdomo, C., Casanova, O., & Ciganda, V. (2001). Contaminación de aguas subterráneas con nitratos y coliformes en el litoral sudoeste del Uruguay. *Agrociencia-Sitio en Reparación*, 5(1), 10-22.
- Petra, A., & Odagiu, A. (2018). Soil Pollution. Causes, Effects and Solutions. *ProEnvironment Promediu*, 11(34).
- Reyes, V. (2016). Determinación de la eficiencia del aserrín y la fibra de coco utilizados como empaques para la remoción de contaminantes en biofiltros para el tratamiento de aguas residuales. *Enfoque UTE*, 7(3), 41-56.
- Reyes-Velázquez, C., Castañeda-Chávez, M. D. R., Landeros-Sánchez, C., Galaviz-Villa, I., Lango-Reynoso, F., Minguez-Rodríguez, M. M., & Nikol'skii-Gavrilov, I. (2010). Pathogenic vibrios in the oyster *Crassostrea virginica* in

the lagoon system of Mandinga, Veracruz, Mexico. *Hidrobiologica*, 20(3), 238-245.

Riojas-Rodríguez H, Soares da Silva A, Texcalac-Sangrador JL, & Moreno-Banda GL. (2016). Air pollution management and control in Latin America and the Caribbean: implications for climate change. *Rev Panam Salud Publica*;40(3):150–59.

Riveron-Enzastiga, M. L., Carbajal, N., & Salas-Monreal, D. (2016). Tropical coral reef system hydrodynamics in the western Gulf of Mexico. *Scientia Marina*, 80(2), 237-246.

Robertson, W., & Tobin, R. S. (1983). The relationship between three potential pathogens and pollution indicator organisms in Nova Scotian coastal waters. *Canadian journal of microbiology*, 29(10), 1261-1269.

Romero, H., Irrarázaval, F., Opazo, D., Salgado, M., & Smith, P. (2010). Climas urbanos y contaminación atmosférica en Santiago de Chile. *EURE (Santiago)*, 36, 35-62.

SAGARPA. (2017). Infraestructura de apoyo a la actividad pesquera por oficina en el 2016. Subdelegación de pesca Veracruz. Recuperado el 05 de febrero del 2020. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Website: <https://view.officeapps.live.com/op/view.aspx?src=http%3A%2F%2Fwww.veracruz.gob.mx%2Fwpcontent%2Fuploads%2Fsites%2F2%2F2016%2F02%2FVer.-15-Pesca.xls>

Salas-Monreal, D., Salas-de-León, D. A., Monreal-Gómez, M. A., & Riverón-Enzástiga, M. L. (2009). Current rectification in a tropical coral reef system. *Coral Reefs*, 28(4), 871–879. doi:10.1007/s00338-009-0521-9

Salas-Pérez, J. J., Vargas-Hernández, J.M., Arenas-Fuentes, V., y Balderas Cruz, P. (2007). Trayectoria de masas de agua en el Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano y modelos numéricos: circulación de verano. En A. Granados-Barba, L. Abarca-Arenas, y J. M. Vargas-Hernández (Eds.), *Investigaciones Científicas en el Sistema Arrecifal Veracruzano* (pp. 17-26). Campeche, México: Universidad Autónoma de Campeche.

Samboni Ruiz, N. E., Carvajal Escobar, Y., & Escobar, J. C. (2007). Revisión de parámetros fisicoquímicos como indicadores de calidad y contaminación del agua. *Ingeniería e investigación*.

Sánchez Domínguez, B. E. (2015). El género *Enterococcus* como contaminante en la zona intermareal en playas arenosas de Veracruz-Boca del Río.

Saravia-Arguedas, A. Y., Lugioyo, G. M., Serrano, A. S., Watson, A. G., & Sierra, L. S. (2019). Fuentes terrestres de contaminación que impactan la zona marino-costera del Golfo de Papagayo, Costa Rica. *Journal of Marine and Coastal Sciences*, 69-84.

- Saulović Đ, Biočanin R, Rodriguez B (2007) Bioindicators in human environment. Zbornik radova Tehnološkog fakulteta, Leskovac, pp: 140-147.
- Scheerer, S., Gomez, F., & Lloyd, D. (2006). Bioluminescence of *Vibrio fischeri* in continuous culture: Optimal conditions for stability and intensity of photoemission. *Journal of Microbiological Methods*, 67(2), 321–329. doi:10.1016/j.mimet.2006.04.010
- Sectur. (2019). Información de afluencia turística de los municipios de Veracruz, Boca del Río y Alvarado. Secretaria de turismo y cultura. Sectur/DGST/048/2019.
- Shibata, T., Solo-Gabriele, H. M., Sinigalliano, C. D., Gidley, M. L., Plano, L. R. W., Fleisher, J. M., Wang, J. D., Samir, E. M., He, G., Wright, M. E., Abdelzaher, A. M., Ortega, C., Wanless, D., Garza, A. C., Kish, J., Scott, T., Hollenbeck, J., Backer, L. C., & Fleming, L. E. (2010). Evaluation of Conventional and Alternative Monitoring Methods for a Recreational Marine Beach with Nonpoint Source of Fecal Contamination. *Environmental Science & Technology*, 44, 8175–8181. . doi: 10.1021/es100884w
- Socas, M. (2018). Contaminación por residuos: Islas de plástico Trabajo de fin de grado Escuela Politécnica Superior de Ingeniería, Sección de náutica, máquinas y radioelectrónica naval. Universidad de La Laguna.
- Sumampouw, O. J., & Risjani, Y. (2014). Bacteria as Indicators of Environmental Pollution. *International Journal of Ecosystem*, 4(6), 251-258.
- Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.(2012). American Public Health Association/American Water Works Association/Water Environment Federation, Eaton, A., Clesceri, L., Greenberg, A. (eds) 22th edn. Partes 9230, 9230 B, 9230 C. Washington DC, USA.
- Stewart, J. R., Gast, R. J., Fujioka, R. S., Solo-Gabriele, H. M., Meschke, J. S., Amaral-Zettler, L. A., del Castillo, E., Polz, M. F., Collier, T. K., Strom, M. S., Sinigalliano, C. D., Moeller, P. DR., & Holland, A. F. (2008). The coastal environment and human health: microbial indicators, pathogens, sentinels and reservoirs. *Environmental Health*, 7(2), S3. doi: 10.1186/1476-069x-7-s2-s3
- Svitil, A. L., Chadhain, S., Moore, J. A., & Kirchman, D. L. (1997). Chitin Degradation Proteins Produced by the Marine Bacterium *Vibrio harveyi* Growing on Different Forms of Chitin. *Applied and Environmental Microbiology*, 63(2), 408-413.
- Teixeira, L. M., & Merquior, V. L. C. (2012). Enterococcus. Molecular Typing in Bacterial Infections, 17–26. doi:10.1007/978-1-62703-185-1_2
- Twomey, S. (1974). Pollution and the planetary albedo. *Atmos. Environ*, 8(12), 1251-1256.

- Vezzulli, L., Pezzati, E., Moreno, M., Fabiano, M., Pane, L., & Pruzzo, C. (2009). Benthic ecology of *Vibrio* spp. and pathogenic *Vibrio* species in a coastal Mediterranean environment (La Spezia Gulf, Italy). *Microbial Ecology*, 58(4), 808–818. doi:10.1007/s00248-009-9542-8
- Yates, M. V. 2007. Classical indicators in the 21st century—far and beyond the coliform. *Water environment research*, 79(3): 279-286

ANEXOS 1

Datos obtenidos de INEGI, SECTUR, SAGARPA, CONAPESCA Y API VER para la determinación de actividades por sitio de muestreo.

1. Número de hoteles en la zona conurbada de Veracruz-Boca del río y Alvarado durante el 2019. Información proporcionada por la secretaria de turismo.



Sectur/DGST/048/2019

C. Tamara Carvajal Gómez

Xalapa, Ver. 08 de febrero del 2019

En atención a su amable escrito, dirigido al Gobernador del Estado, el Ing. Cuicláhuac García Jiménez, por medio de Atención Ciudadana Web, registrado con folio 2018/32676, en el cual solicita información de afluencia turística en los municipios de Veracruz, Boca del Río y Alvarado. Hago de su conocimiento, que fue turnado a esta Secretaría.

En tal virtud, muy atentamente, me permito hacer llegar la información con la que esta Dirección cuenta.

MUNICIPIO	NÚMERO DE HOTELES
Veracruz	194
Boca del Río	87
Alvarado	16

Así también, me permito anexar una tabla con la ocupación hotelera del 2018, de los dos primeros municipios de la tabla. En cuanto a la afluencia, le comento que, cada municipio lo maneja individualmente.

Esperando esta información le sea útil, aprovecho la ocasión para enviarle un cordial saludo.

Atentamente,


Dr. Omar Castro Prado
Director General de Servicios Turísticos



C.c.p. Arq. Tirso Merín Santiago.- Coordinador Ejecutivo de Vinculación.- En atención a su folio 0054

Av. 20 de Noviembre, Ote 374,
Fraccionamiento Los Angeles
CP 91064, Xalapa, Veracruz
Tel. 01 228 812 7585, Ext. 3220



2. Porcentaje de la ocupación hotelera registrada en los diferentes meses del año registrada en los municipios de Veracruz, Boca del río y Alvarado.



Anexo

Ocupación Hotelera Veracruz – Boca del Río.

Enero	39.52
febrero	55.63
marzo	65.10
abril	73.72
mayo	65.51
junio	60.41
julio	85.26
Agosto	65.37
Septiembre	49.98
Octubre	53.83
Noviembre	57.17
Total	61.05

Fuente (Asociación de hoteles y moteles de Veracruz- Boca del Río)

Av. 20 de Noviembre, Ote 374,
 Fraccionamiento Los Ángeles
 CP 91064, Xalapa, Veracruz
 Tel. 01 228 812 7585, Ext. 3220



3. Número de embarcaciones menores con motor abordo atracadas en los puertos de los municipios de Veracruz, Boca del río y Alvarado. Información proporcionada por la Comisión nacional de pesca (CONAPESCA).

LONGITUD DE ATRAQUE DE LOS PUERTOS PESQUEROS NACIONALES POR TIPO DE PESQUERÍA, LITORAL GOLFO Y CARIBE, SEGÚN ENTIDAD Y PUERTO, 2017. (METROS)

CUADRO 5.2.2

LITORAL, ENTIDAD Y PUERTO	TOTAL	PESCA DE ALTURA				PESCA RIBEREÑA
		ATÚN	SARDINA ANCHOVETA	CAMARÓN	ESCAMA	
LITORAL DEL GOLFO Y CARIBE	34,149	100	*	4,157	2,017	27,875
TAMAULIPAS	1,225	*	*	580	*	645
EL MEZQUITAL	260	-	-	-	-	260
LA PESCA	141	-	-	-	-	141
TAMPICO	824	-	-	580	-	244
VERACRUZ	3,160	100	*	1,106	246	1,708
TAMIAHUA	1,103	-	-	187	-	916
TUXPAN	323	100	-	163	-	60
TECOLUTLA	178	-	-	156	-	22
NAUTLA	13	-	-	-	-	13
PLAYÓN DE HORNOS	195	-	-	-	-	195
ALVARADO	1,132	-	-	600	246	286
COATZACOALCOC	58	-	-	-	-	58
BOCA DEL RIO	158	-	-	-	-	158
TABASCO	1,747	*	*	*	231	1,516
SÁNCHEZ MAGALLANES	606	-	-	-	-	606
CHILTEPEC	86	-	-	-	-	86
FRONTERA	480	-	-	-	231	249
BARRA DE SAN PEDRO	575	-	-	-	-	575
CAMPECHE	16,546	*	*	2,191	*	14,355
CIUDAD DEL CARMEN	5,197	-	-	866	-	4,331
ARROYO GRANDE	1,678	-	-	-	-	1,678
LERMA	1,684	-	-	1,325	-	359
BARRIO DE SAN FRANCISCO	2,944	-	-	-	-	2,944
CHAMPOTÓN	2,800	-	-	-	-	2,800
ISLA ARENA	1,580	-	-	-	-	1,580
KILA (LERMA)	359	-	-	-	-	359
SIETE DE AGOSTO	304	-	-	-	-	304
YUCATÁN	9,533	*	*	*	1,540	7,993
CELESTÚN	695	-	-	-	220	475
SISAL	656	-	-	-	-	656
YUKALPETÉN	2,726	-	-	-	1,320	1,406
TELCHAC	648	-	-	-	-	648
DZILAM DE BRAVO	966	-	-	-	-	966
SAN FELIPE	948	-	-	-	-	948
RÍO LAGARTOS	1,375	-	-	-	-	1,375
EL CUYO	648	-	-	-	-	648
CHABIHUJ	182	-	-	-	-	182
CHUBURNA	689	-	-	-	-	689
QUINTANA ROO	1,938	*	*	280	*	1,658
HOLBOX	117	-	-	-	-	117
CHIQUILA	260	-	-	-	-	260
ISLA MUJERES	360	-	-	-	-	360
PUERTO JUÁREZ	280	-	-	280	-	-
PUERTO MORELOS	110	-	-	-	-	110
MAJAHUAL	105	-	-	-	-	105
XCALAK	150	-	-	-	-	150
CHETUMAL	76	-	-	-	-	76
PUNTA ALLEN	330	-	-	-	-	330
PUNTA HERRERO	150	-	-	-	-	150

FUENTE: SAGARPA, COMISIÓN NACIONAL DE ACUICULTURA Y PESCA. DIRECCIÓN GENERAL DE INFRAESTRUCTURA.

4. Información de la actividad pesquera en los municipios de Veracruz y Alvarado en el 2016. Información por SAGARPA.

Infraestructura de apoyo a la actividad pesquera por oficina
Al 31 de diciembre de 2016 [Cuadro 15.3](#)

Oficina	Congeladoras	Embarcaderos	Fábricas de Hielo	Muelles	Varaderos	Astilleros	Enlatadoras
Total	99	96	67	24	5	4	2
Alvarado	34	42	6	3	4	1	0
Catmaco	3	6	5	0	0	0	0
Ciudad Cuauhtémoc a/	6	2	3	0	0	0	0
Coatzacoalcos	4	4	10	1	1	1	0
La Laja b/	3	8	1	0	0	0	0
Naranjos c/	3	2	5	0	0	0	0
Nautla	4	1	6	2	0	0	0
Pánuco	5	6	6	1	0	0	0
Tamiahua	4	5	2	2	0	0	0
Tecolutla	4	2	3	1	0	0	0
Tlacotalpan	2	2	2	1	0	0	0
Tuxpan	6	13	5	3	0	1	1
Veracruz	21	3	13	10	0	1	1

a/ Esta oficina pertenece al municipio de Pueblo Viejo.

b/ Esta oficina pertenece al municipio de Ozuluama de Mascareñas.

c/ Esta oficina pertenece al municipio de Naranjos Amatlán.

Fuente: SAGARPA, Delegación en el Estado. Subdelegación de Pesca; Unidad de Infraestructura Pesquera.

5. Padrón de prestadores de servicios turísticos, que se enlista a continuación, incluyendo las autorizaciones vigentes (año 2014) en la modalidad “Buceo” en el municipio de Veracruz

Nombre de la empresa o razón social	No. de permiso	Embarcación autorizada	Matrícula	Máquinas	N° de pasajeros autorizados	Eslora	Manga	Puntal	Tipo de actividad autorizada
DIVERSIÓN ACUÁTICA DE VERACRUZ S.A. DE C.V.	897	SOTAVENTO	3002104211-2	1/200HP	13P/T2	10.05 m	2.34 m	0.85 m	PRESTACIÓN DE SERVICIOS TURÍSTICOS RECREATIVOS CON VEHÍCULO CONSISTENTE EN: SERVICIOS DE TURISMO NÁUTICO EN SU MODALIDAD DE BUCEO
CLAUDIO ISRAEL RINCÓN ROBLES	389	BARRACUDA	3002198414-7	1/150HP	10P/T2	8 m	1.9 m	0.85 m	RECORRIDOS EN EMBARCACIÓN MENOR A 12 METROS (SERVICIO DE TURISMO NÁUTICO EN SU MODALIDAD DE RECORRIDOS TURÍSTICOS), BUCEO AUTÓNOMO (SCUBA), BUCEO LIBRE (SNORKEL)
SANTOS ROQUET VICTOR HUGO	448	CIRILIN	3002095414-3	1/115HP	6P/T2	8 m	2 m	0.9 m	PRESTACIÓN DE SERVICIOS TURÍSTICOS RECREATIVOS CON VEHÍCULOS, CONSISTENTES EN SERVICIOS DE TURISMO NÁUTICO EN SU MODALIDAD DE BUCEO
SERVICIOS SUBACUÁTICOS EL DORADO S.A. DE C.V.	388	MORENA	3002014511-8	FB/225	13P/T2	10.05 m			RECORRIDO TURÍSTICOS, BUCEO LIBRE (ESNÓRQUEL) Y BUCEO AUTÓNOMO (SCUBA)
SERVICIOS SUBACUÁTICOS EL DORADO,S.A. DE C.V.	386	LAIRON	3002093911-7	/200	13P/T2	10.5m			RECORRIDO EN EMBARCACIÓN, BUCEO AUTÓNOMO Y BUCEO LIBRE (SNORKEL)
SERVICIOS SUBACUÁTICOS DEL GOLFO S.A. DE C.V.	362	MAMACITA	3002092311-5	1/225HP	12P/T2	9 m	2.75 m	1 m	BUCEO AUTONOMO (SCUBA), BUCEO LIBRE (ESNÓRQUEL), RECORRIDOS EN EMBARCACIÓN

La capacidad instalada de los prestadores de servicios en la modalidad “Buceo” corresponde a: 16 embarcaciones con un promedio de 12 pasajeros por embarcación, cuya capacidad mínima por embarcación es de seis pasajeros y la máxima de 20 pasajeros.

6. Embarcaciones con autorización para realizar actividades turístico-recreativas, consistentes en buceo libre (esnórquel), y paseos al 2014, para el municipio de Veracruz.

NÚM	NOMBRE DE LA EMPRESA O RAZÓN SOCIAL	No .DE PERMISO	NOMBRE	MATRÍCULA	MOTOR	N° PASAJEROS/TRIPULANTES AUTORIZADOS	ESLORA
1	CASTILLO AGUIRRE LUIS OSCAR	488	YARA	3002114011-2	1/60HP	10P/2T	7.61 m
2	JAIME MORENO MENDOZA	338	GLORIA RUTH	3002193714-3	1/50HP	10P/2T	7.62 m
3	GUZMAN MORALES LEVI	770	SUSANA I	3002060911-7	60HP	12P/2T	7.6 m
4	GUZMAN MORALES LEVI	768	SUSANA II	3002099611-3	1/60HP	12P/2T	7.62 m
5	GUZMAN MORALES LEVI	769	SUSANA III	3002092811-5	1/75HP	12P/2T	7.62 m
6	HERNANDEZ SALVADOR- M.H.C.	748	ROSANGELA IV	3002035011-2	1/48 HP	12P/2T	7.6 m
7	HERNANDEZ SALVADOR M.H.C.	746	ROSANGELAIII	3002097311-2	1/60HP	23P/2T	8.56 m
8	GERARDO SÁNCHEZ SERRANO	170	PISCIS	3002005311-	1/60HP	12P/2T	7.61 m
9	MARTÍNEZ PÉREZ ARACELI	384	PISCIS II	3002026611-6	1/60HP	12P/2T	7.6 m
10	MARTÍNEZ PÉREZ ARACELI	339	EL PAPERERO I	3002103211-8	1/200HP	25P/2T	10.05 m
11	MARTÍNEZ SÁNCHEZ ARMANDO	394	CUERUDO I	3002122914-5	1/60HP	12P/2T	7.62 m
12	MARTÍNEZ SÁNCHEZ ARMANDO	777	CUERUDO II	3002150214-71	1/60HP	12P/2T	7.61 m
13	MARTÍNEZ SÁNCHEZ ARMANDO	778	CUERUDO III	3002168114-8	63.41/85	20P/2T	8.83 m
14	RUVALCABA CONTRERAS VERÓNICA	445	KRYSTOFF	3002021611-7	1/70HP	12P/2T	7.5 m
15	ARACELI MARTÍNEZ PÉREZ	171	ESTRELLA	3002123814-5	60HP	12P/2T	7.61 m
16	SÁNCHEZ SERRANO GERARDO	169	LA GEMELA	3002112711-4	1/200HP	25P/2T	10.05 m
17	SERRANO VÁZQUEZ LETICIA/ ARACELI MTZ. LÓPEZ	390	GALAPAGO	3002722314-6	1/60HP	10P/2T	6.63 m

18	LUIS ARMANDO MARTINEZ MARTINEZ	577	TAMAULIPECA	3002191914-7	1/60HP	10P/2T	7.61 m
19	SILVAN IZQUIERDO JULIO ALFONSO	361	ROMIS	3002162214-6	41.03/50	10P/2T	7.6 m
20	MARCELO HERNANDEZ CASTILLO	702	ASDIC 08	3002013511-7	149.20/	25P/2T	10.5 m
21	JULIO ALFONSO SILVAN IZQUIERDO/ MARCELO HERNANDEZ CASTILLO	742	ROMANOSKI	3002095111-4	1/50HP	10P/2T	7.61 m
22	FRANCISCO MOISES HERNANDEZ CASTILLO	805	ASDIC 07	3002013811-5	1/75HP	12P/2T	7.6 m
23	FRANCISCO ANTONIO HERNANDEZ FERNANDEZ	744	ASDIC 6	3002013711-7	1/65HP	10P/2T	7.6 m
24	ENRIQUE CHAPINA GUIZAR	387	MANJUA 2	3002096911-3	1/60HP	12P/2T	7.61 m
25	ENRIQUE CHAPINA GUIZAR	384	MANJUA	3002024111-2	1/60HP	12P/T2	7.62 m
26	ENRIQUE CHAPINA GUIZAR	385	LA MANJUITA	3002158014-5	/200	25P/T2	10.5 m
27	ENRIQUE CHAPINA GUIZAR	383	LA MANGUA	3002024011-7	/75	12P/T2	7.62 m
28	GUILLERMO ADOLFO HERNANDEZ ESPINOSA	662	DELFIN II	3002718414-6	1/60HP	10P/T2	7.6 m
29	MARIA TERESA OCHOA FERNANDEZ	661	DELFIN	3002718314-4	1/60HP	10P/T2	7.6 m
30	CECILIA CABRERA ALVAREZ	551	LA COBRA 1	3002159214-3	1/60HP	10P/T2	7.61 m
31	SANTA CLARA MIJAREZ MÁRQUEZ	774	NINFA DEL MAR	3002159514-2	1/50HP	10P/T2	7.6 m
32	JESUS VELAZQUEZ CONDE	845	MARGALEES	3002014911-2	48.49/65	12P/T2	7.6 m
33	FRANCISCO ANTONIO HERNANDEZ CASTILLO		ASDIC 09-U	3002109011-5	1/200HP	23P/T2	9 m
34	FRANCISCO ANTONIO HERNANDEZ CASTILLO		ASDIC 10	3002026411-6	1/60HP	12P/T2	7.6 m
35	PASEOS Y DIVERSIONES ECOTURISTICAS, S.S.S.		JADE	3002158414-5	1/60HP	10P/T2	7.6 m

La capacidad instalada de los prestadores de servicios en la modalidad "Recorridos en Embarcaciones Motorizadas" corresponde a: 35 embarcaciones con una capacidad total para 478 pasajeros, es decir, máximo 25 pasajeros por embarcación.

7. Embarcaciones con autorización para realizar actividades turístico-recreativas, consistentes en buceo libre (esnórquel), y paseos al 2014 en la localidad de Antón Lizardo.

NOMBRE DE LA EMPRESA O RAZÓN SOCIAL	No .DE PERMISO	NOMBRE	MATRÍCULA	MOTOR	N° PASAJEROS/TRIPULANTES AUTORIZADOS	ESLORA
SALAZAR HERNÁNDEZ RUBÉN	382	BERE II	3002654014-5	1/60HP	8P/2T	7.62 m
SALAZAR HERNÁNDEZ RUBÉN	773	HANIA	3002892114-1	1/70HP	10/2	7.62 m
RAMÓN SANDOVAL ANTONIO	526	LA PALOMA BLANCA	3002388214-3	1/60HP	10P/2T	7.62 m
FERNANDO ZAPATA FERNÁNDEZ	775	LA PRINCESA	3002159614-2	1/60HP	10P/2T	7.62 m
FERNANDO ZAPATA FERNÁNDEZ	772	LA PRINCESA II	3002168414-7	1/60HP/	10P/2T	7.62 m
INÉS AGUSTÍN MARES CHÁVEZ	565	ALTAHIR	3002907011-3	1/60HP	10P/2T	7.62 m
TOMÁS MEDINA HERNÁNDEZ	771	ADELITA	3002398714-8	1/60HP	10P/2T	7.62 m
BENITO CRUZ HERNÁNDEZ	776	MIRNA	3002846714-4	1/60HP	8P/2T	7.62 m
LÓPEZ MORENO JOSÉ ALEJANDRO	446	FROG'S	3002318624-3	1/60HP	8P/2T	7.62 m
LÓPEZ MORENO JOSÉ ALEJANDRO	447	OLAF	3002015011-7	1/60HP	8P/2T	7.6 m

La capacidad instalada de los prestadores de servicios en la modalidad "Recorridos en Embarcaciones Motorizadas" corresponde a: 10 embarcaciones con capacidad total para 92 pasajeros y un promedio de 9 pasajeros por embarcación.

8. Autorizaciones otorgadas por el PNSAV a embarcaciones particulares, en el periodo que incluye vacaciones de Semana Santa y de verano en 2014.

No.	EMBARCACIÓN	ISLA	TIPO DE PERMISO	NO. DE PASAJEROS
1	ESTACIÓN 5	Enmedio	Particular	9
2	SOLEÁ	Enmedio	Particular	15
3	JOSE	Enmedio	Particular	15
4	CHAPARRAL	Enmedio	Particular	14
5	SIERRITA	Enmedio	Particular	12
6	ALCYONE	Enmedio	Particular	10
7	DON GATO	Enmedio	Particular	16
8	BARRACUDA	Enmedio, Salmedina	Particular	10
9	SARAHÍ	Enmedio, Salmedina	Particular	12
10	RUBÍ	Enmedio, Salmedina	Particular	12
11	ADRI-ANA	En medio, Salmedina	Particular	10
12	AQUA	En medio, Salmedina	Particular	10
13	KARINA	En medio, Salmedina	Particular	14
14	LA CHIQUITA	En medio, Salmedina	Particular	10
15	AQUILINA	En medio, Salmedina	Particular	17
16	SALMEDINA	En medio, Salmedina	Particular	12
17	ENMAR	En medio, Salmedina	Particular	10
18	CHUDY	En medio, Salmedina	Particular	10
19	LA PATRONA	En medio, Salmedina	Particular	10
20	MIRIS	En medio, Salmedina	Particular	10
21	SCORPIO	En medio, Salmedina	Particular	8
22	SANTO	En medio, Salmedina	Particular	8
23	LA MORENITA	En medio, Salmedina	Particular	12
24	BELEN	En medio, Salmedina	Particular	10
25	MARY PATY	En medio, Salmedina	Particular	12
26	GAMES	En medio, Salmedina	Particular	12
27	SAGAPÚ	En medio, Salmedina	Particular	7
28	LA WERA	En medio, Salmedina	Particular	10
29	CHATIS II	En medio, Salmedina	Particular	10
30	CHIQUITA	En medio, Salmedina	Particular	17
31	MAJITA	En medio, Salmedina	Particular	12
32	LA SOLE	En medio, Salmedina	Particular	10
33	ALEJANDRA	En medio, Salmedina	Particular	10

9. Movimiento portuario registrado en el periodo de enero a octubre del 2019.
Información de APIVer y la secretaria de comunicaciones.

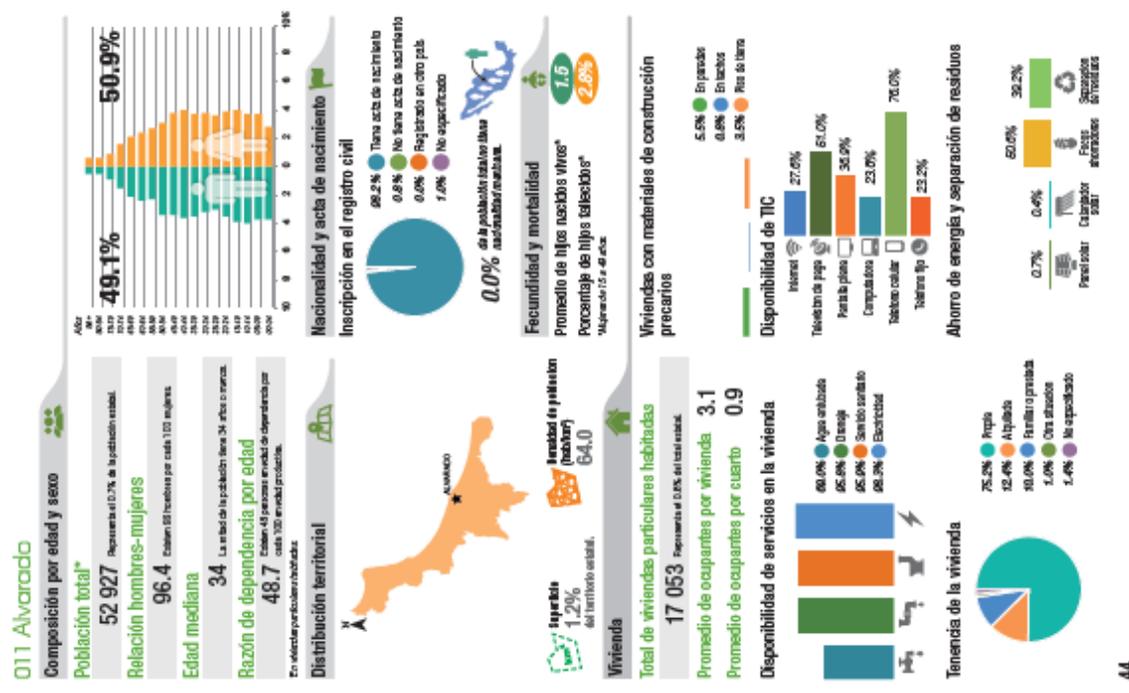
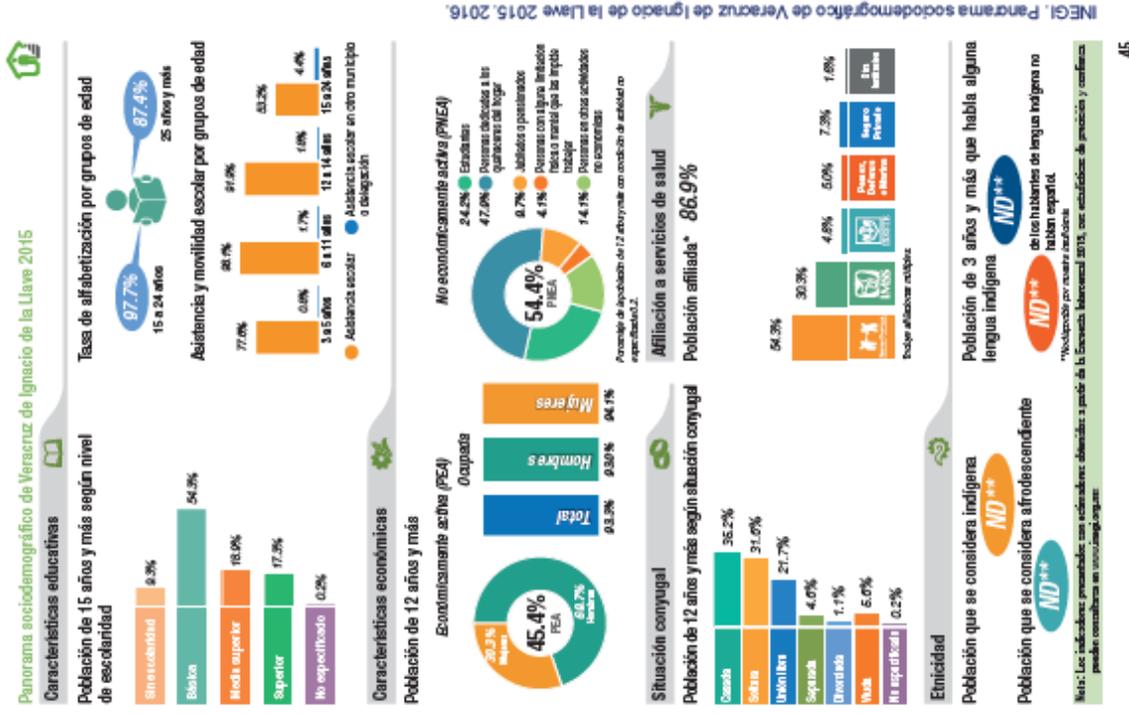
MUELLE-BANDA	CARGA SUELTA		AUTOMOVILES		CONTENERIZABRANEL		AGRÍCOGRANEL		MINERÁ		BIDOS E HIDROCARBUR		TOTAL	
	BOQUES	TUN	BOQUE	TUN	BOQUE	TUN	BOQUE	TUN	BOQUE	TUN	BOQUE	TUN	BOQUE	TUN
1-S	28	203,471	-	2,351	2	44,806	3	36,345	-	-	-	-	33	286,972
1-N	16	102,014	84	284,811	-	-	6	64,728	-	-	-	-	106	451,553
2-S	16	200,991	-	7,202	12	358,000	9	206,229	-	-	-	-	39	772,421
2-E	1	27	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	27
2-N	21	229,531	7	5,618	5	118,041	9	167,997	-	-	-	-	43	549,960
4-S	32	143,646	-	720	15	316,482	42	908,014	-	-	-	-	89	1,368,862
4-E	6	14,464	-	316	1	7,102	5	34,189	-	-	-	-	12	56,071
4-N	16	81,961	-	715	17	356,397	15	268,431	-	-	-	-	48	707,504
5-S	3	18,670	-	-	14	385,208	-	-	-	-	-	-	17	403,878
5-N	-	-	-	-	43	1,403,203	-	-	-	-	-	-	43	1,403,203
6-S	29	323,656	16	73,411	1	13,826	5	135,809	13	221,646	-	-	64	768,348
6-N	12	83,266	91	461,159	41	439,948	-	-	2	52,697	-	-	146	1,037,071
7-S	23	86,103	2	4,744	101	688,397	2	67,739	9	204,764	-	-	137	1,051,746
7-E	-	20,323	80	427,857	-	-	-	-	-	-	59	485,243	139	933,424
CEMENTOS	-	-	-	-	-	-	-	-	1	30,973	90	540,229	91	571,202
8-O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	36	1,513,767
8-E	-	-	-	-	43	1,518,527	-	-	-	-	-	-	43	1,518,527
CONT (BAHÍA SUR	1	398	-	306	6,321,974	-	-	-	-	-	-	-	307	6,322,372
CAYE BAHÍA NORT	-	-	-	95	1,856,408	-	-	-	-	-	-	-	95	1,856,408
PETRA	1	461	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	461
P E M E X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	178	2,197,851	178	2,197,851
T O T A L	205	##	280	##	547	##	195	##	114	##	327	##	##	23,771,628

TIPO DE CARGA POR MUELLE

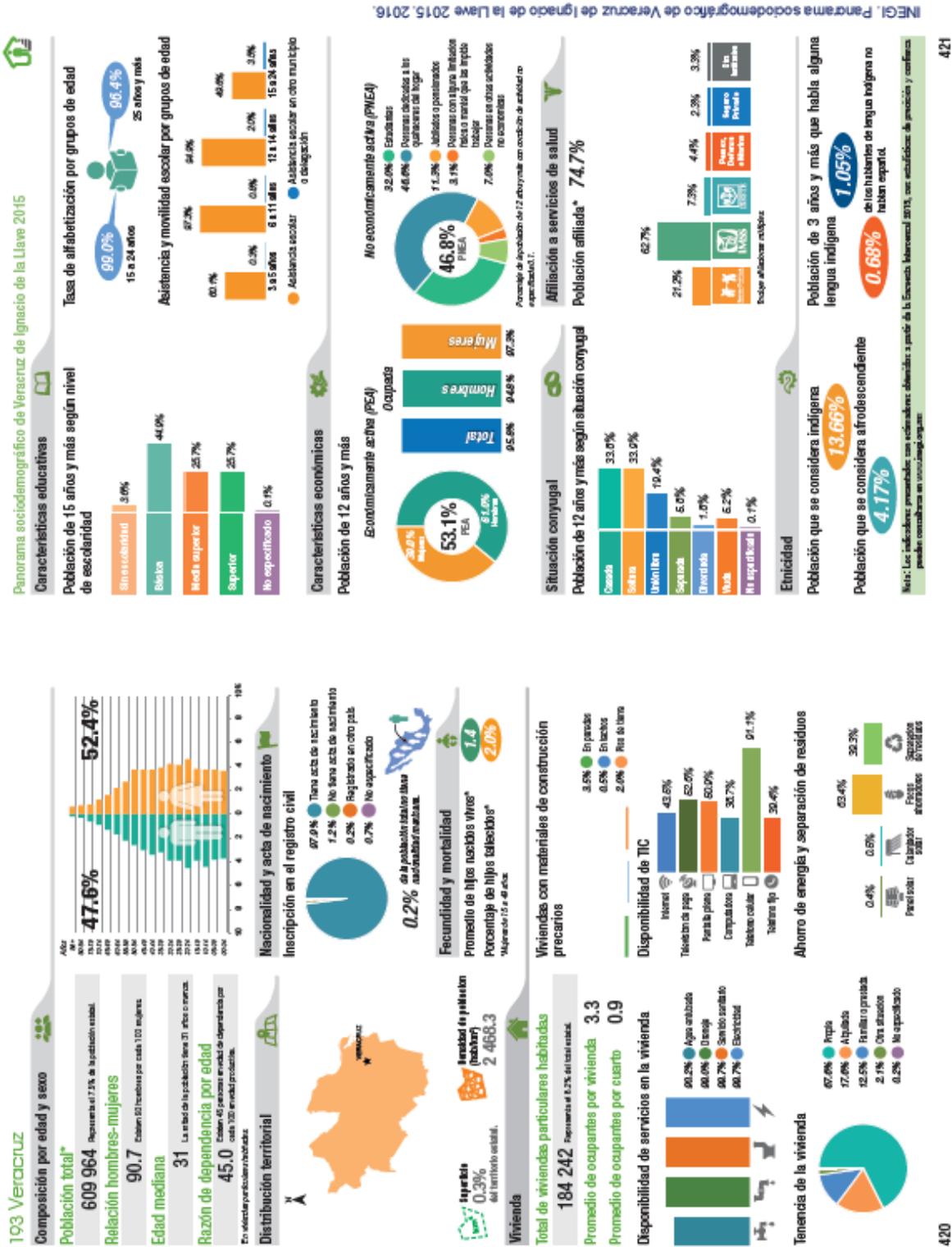
PERIODO: enero-octubre de 2019



10. Crecimiento poblacional y demográfico del municipio de Alvarado hasta el 2010. Datos reportados en el estadístico del INEGI 2010.



12. Crecimiento poblacional y demográfico del municipio de Veracruz hasta el 2010. Datos reportados en el estadístico del INEGI 2010.



ANEXO 2

PREPARACIÓN DE MATERIALES Y MEDIOS

1. Esterilización de material del proyecto.

Material.

Pipetas de 2 ml.

Pipetas de 5 ml.

Pipetas de 10 ml.

Matraz Erlenmeyer de 250 ml.

Matraz kitasato de 500 ml.

Matraz de bola fondo plano de 5 l.

Tubo de ensayo 9825 con tapa de 10 ml.

Caja Petri de cristal

Embudo de vidrio de 50 mm.

Vaso de precipitado de 100 ml.

Probetas

Pinzas planas de metal.

Membrana de nitrocelulosa (Whatman de 0.45 μm).

Manguera de hule.

Agitadores magnéticos (moscas)

Gradillas de metal

Preparación del material limpio.

Todos los materiales excepto los filtros de nitrocelulosa se lavan, posteriormente se enjuaga el material con un poco de agua destilada y se pone a secar el material en la estufa a 40 °C por 2 horas. Con el fin de evitar residuos que evitaran realizar las pruebas correctamente.

Posteriormente se colocan tapones de algodón a los matraces y las pipetas y se recubren de papel estraza y aluminio; las pipetas y las pinzas e envuelven en papel estraza. Los embudos se envuelven con papel aluminio, mientras que las probetas y vasos de precipitado se les coloca una tapa de aluminio y dentro de uno de los vasos se coloca la manguera de hule. Las membranas de nitrocelulosa (Whatman de 0.45 μm) se colocan dentro de la caja Petri para su esterilización. Mientras que a los tubos de ensayo se les colocó la tapa sin cerrar completamente.

Después, se mete a esterilizar en la autoclave horizontal donde paso por un ciclo de esterilización de 20 minutos a una presión de 15 libras tanto en camisa como en cámara y un ciclo de secado de 20 minutos con presión menor a 15 libras en cámara y 15 libras en camisa. Sin embargo, el material no se puede sacar hasta que la presión de ambas camisa y cámara se encuentren en 0.

Por último, se dejó el material sobre una mesa de trabajo para que tomara temperatura ambiente y poderlo guardar hasta su uso.

Limpieza de material sucio.

En el caso del material sucio, primero se le colocan los tapones y se envuelve en papel estraza y aluminio, posteriormente se mete a esterilizar en la autoclave vertical cilíndrica durante 20 minutos a una presión de 15 libras. Después se espera a que la presión baje a 0 y se saca el material. Por último, el material se lava con jabón neutro y un poco de cloro y se le da un último enjuague con agua destilada. Se deja escurrir y se seca en la estufa a 40 °C por 2 horas y se guarda en las gavetas correspondientes.

2. Preparación del agua peptonada alcalina (APA).

Se pesan 15 g del medio y se suspende en 1 litro de agua destilada. Para que el medio se encuentre al 3% de salinidad debe agregársele cloruro de sodio (NaCl). El pH se ajusta a 8 ± 0.2 usando hidróxido de sodio (NaOH).

Se calienta la mezcla y se agita posteriormente se deja hervir durante 1 minuto. Se vierte en los matraces Erlenmeyer de 250 ml y en los tubos de ensayo de 10 ml y se esterilizan en la autoclave a 121°C, a 15 lb de presión, por 15 minutos.

Al sacar de la autoclave, se tapa adecuadamente, se deja enfriar y se guarda en el refrigerador hasta su uso. Para utilizar el medio se debe dejar tomar temperatura ambiente antes de trabajar con él. El color del medio debe ser ámbar y no presentar turbidez antes de su uso.

Este medio es efectivo en el crecimiento de las siguientes colonias de bacterias.

CEPAS	RESULTADOS DEL CRECIMIENTO
<i>Escherichia coli</i> ATCC 25922	Vira el medio a ámbar turbio
<i>Escherichia coli</i> ATCC 8739	Vira el medio a ámbar turbio
<i>Salmonella Typhimurium</i> ATCC 14028	Vira el medio a ámbar turbio
<i>Staphylococcus aureus</i>	Vira el medio a ámbar turbio
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	Vira el medio a ámbar turbio
<i>Vibrio</i> spp.	Vira el medio a ámbar turbio
Sin inocular	No presenta cambios

3. Preparación de Agar Tiosulfato Citrato Bilis Sacarosa (TCBS).

Se pesan 89 gramos de medio seco con una báscula granataria, y se hidrata y disuelve en 1 litro de agua, se deja reposar por 5 minutos. Posteriormente se calienta agitando frecuentemente hasta la ebullición con el fin de que se disuelva completamente.

Se deja enfriar y se vierte 20 ml del medio aproximadamente en cajas Petri estériles, las cuales se sellan con parafilm y se giran boca abajo dentro de una bolsa hermética, para refrigerarse de 2 a 8 °C.

Para utilizar el medio se debe dejar tomar temperatura ambiente antes de trabajar con él. El color del medio en las cajas Petri debe ser verde azulado y no presentar crecimiento de colonias antes de su siembra.

Este medio es efectivo en el crecimiento de las siguientes colonias de bacterias.

CEPAS	RESULTADOS DEL CRECIMIENTO
<i>Vibrio cholerae</i>	Colonias de 2-3 mm de diámetro con bordes translucidos.
<i>Vibrio parahaemolyticus</i>	Colonias con centro verde y borde traslucido.
<i>Proteus mirabilis</i> ATCC 43071	Colonias con centro verde y borde traslucido.
<i>Vibrio alginolyticus</i>	Colonias amarillas, lisas y opacas de bordes delgados.
<i>Vibrio furnissi</i>	Colonias amarillas (sacarosa positiva)
<i>Vibrio vulnificus</i>	Colonias verde azuladas (sacarosa negativa)
Sin inocular	No presenta cambios

4. Preparación de medio Endo para coliformes totales.

Se pesan 41,5 g del medio y se disuelve en 1 litro de agua destilada. Se calienta la mezcla agitando frecuentemente hasta que se haya disuelto por completo. Se esteriliza en la autoclave a 121°C, a 15 lb de presión, por 15 minutos.

Al sacar de la autoclave, se deja enfriar sin que llegue a aglutinarse, se agita la mezcla para homogeneizar antes de servir. Se vierte 20 ml del medio aproximadamente en las placas de Petri estériles.

Se dejan solidificar las placas, se invierte y se envuelve con papel aluminio antes de guardar en el refrigerador.

Para utilizar las placas que se guardaron en el refrigerador se deben dejar a temperatura ambiente antes de usar las placas.

CEPAS	RESULTADOS DEL CRECIMIENTO
<i>Escherichia coli</i>	Colonias rosas oscuro a rojizo con un brillo verde metálico. Puede ocurrir un marcado enrojecimiento del medio
<i>Salmonella Typhimurium</i>	Colonias incoloras o rosa tenue
<i>Shigella flexneri</i>	Colonias incoloras o rosa tenue y ligeramente más rosa que las colonias de Salmonella
<i>Enterococcus faecalis</i>	Inhibido
<i>Enterobacter / Klebsiella</i>	Colonias grandes, mucoides, de color rosa
<i>Proteus Proteus</i>	Colonias desde incoloras hasta rosa muy pálido, proliferativas.
<i>Pseudomonas</i>	Colonias irregulares, incoloras
Sin inocular	Aceptable crecimiento moderado. Colonias pequeñas, de color rosa a rojizo.

5. Preparación de medio Bilis Esculina Azida (BEA).

Se pesan 56.6 gramos del medio seco en la balanza granataria, se suspende e hidrata en un litro de agua. Posteriormente se mezcla agitando vigorosamente y se calienta hasta la dilución completa. Se esteriliza en la autoclave a 121°C, a 15 lb de presión, por 15 minutos.

Al sacar de la autoclave, se deja enfriar sin que llegue a aglutinarse, se agita la mezcla para homogeneizar antes de servir. Se vierte 20 ml del medio aproximadamente en las placas de Petri estériles.

Se dejan solidificar las placas, se invierte y se envuelve con parafilm antes de guardar en el refrigerador. Con el fin de proteger de la humedad.

Para utilizar las placas que se guardaron en el refrigerador se deben dejar a temperatura ambiente antes de usar las placas.

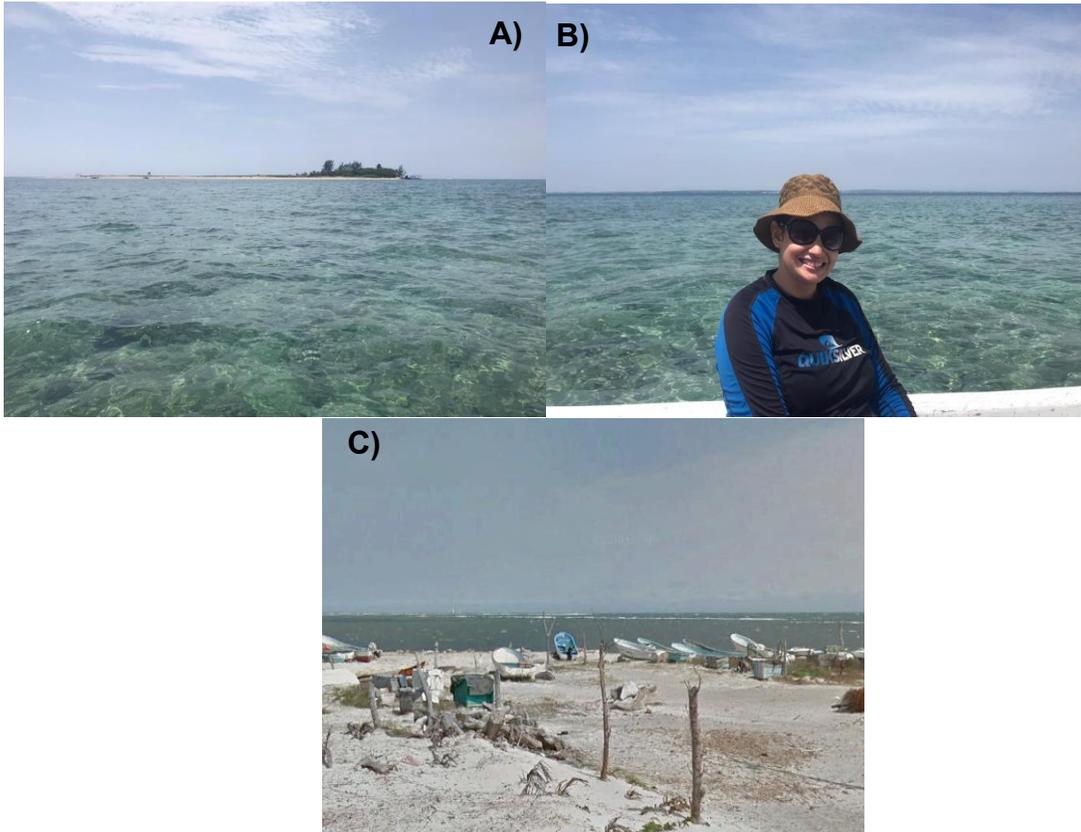
Este medio es efectivo en el crecimiento de las siguientes colonias de bacterias.

CEPAS	RESULTADOS DEL CRECIMIENTO
<i>Escherichia coli</i>	Inhibido
<i>Enterococcus faecalis</i> ATCC 19433	Colonias color marrón oscuro
<i>Enterococcus faecalis</i> ATCC 29212	Colonias grandes, de color marrón
<i>Enterococcus faecium</i> ATCC 6057	Colonias color marrón oscuro
<i>Enterococcus durans</i> ATCC 6056	Colonias redondas de color negro
<i>Enterococcus hirae</i> ATCC 8043	Colonias marrón oscuro a negras
<i>Streptococcus pyogenes</i> ATCC 12344	Inhibido
<i>Listeria monocytogenes</i>	Inhibido
Sin inocular	No existen cambios en el medio

ANEXO 3

REGISTRO FOTOGRÁFICO

1. Imágenes del sitio de muestreo.



En la imagen se muestran los sitios de muestreo. A) arrecife de Emedio, B) Arrecife Chopas, C) Arrecife la Gallega

2. Equipo utilizado para procesar las muestras.



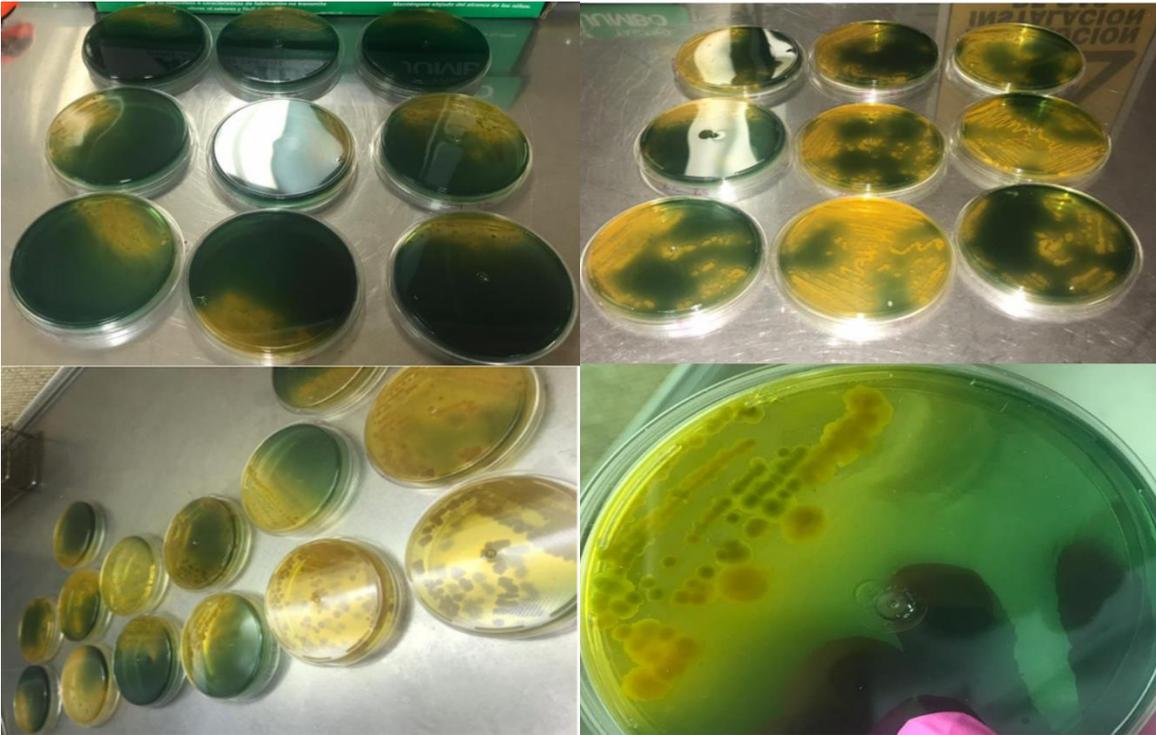
De izquierda a derecha: autoclave, potenciómetro, autoclave vertical, parrilla eléctrica y agitador magnético, abajo a la izquierda: incubadoras, campana de extracción.

3. Trabajo de laboratorio y compañeros de trabajo que colaboraron en el proyecto.



Procesamiento de las muestras en el Laboratorio de Investigación y Recursos Acuáticos.

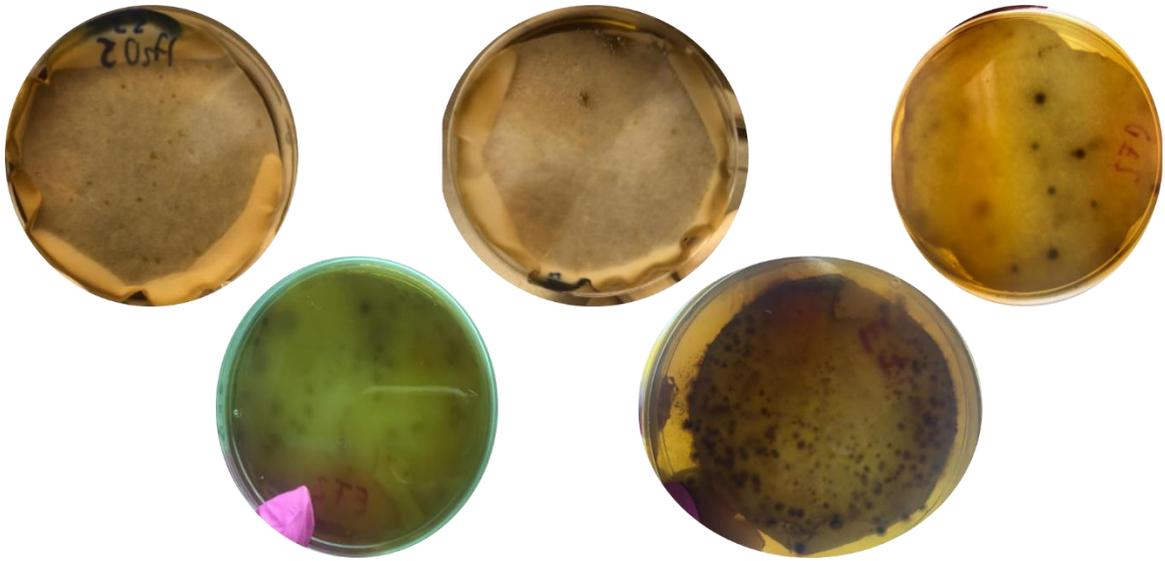
4. Resultado de las muestras procesadas.



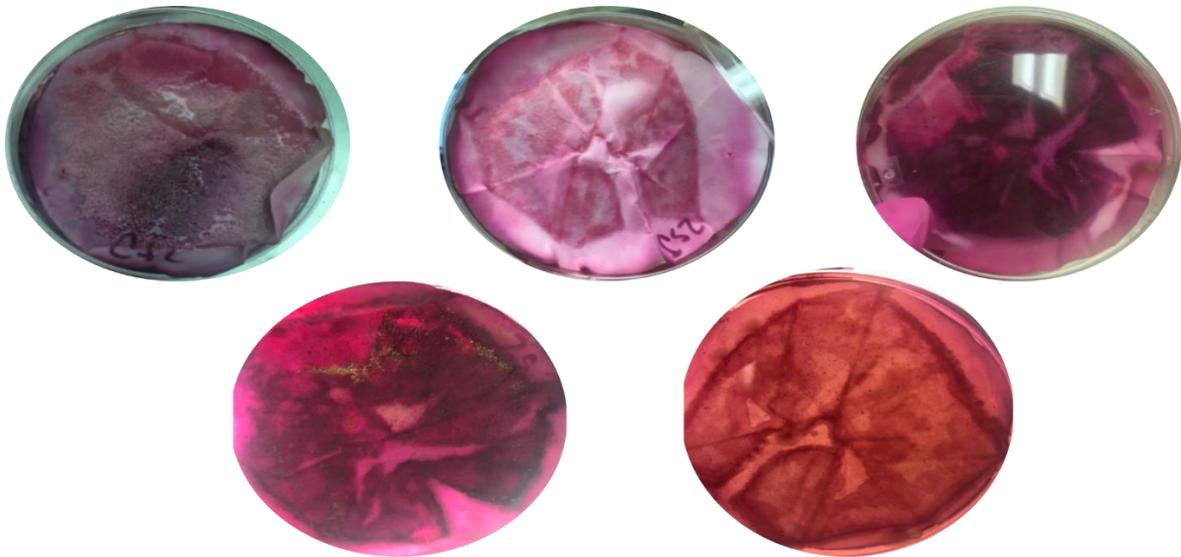
Cajas Petri con agar TCBS donde se observa el crecimiento de colonias típicas de las bacterias *Vibrio sp.*



Cambio de color en el Agua Peptonada Alcalina debido al crecimiento de bacterias.



Crecimiento de colonias bacterianas del genero *Enterococcus*, en medio Bilis Esculina Azida.



Medio Endo para bacterias coliformes, donde se observa crecimiento de bacterias coliformes totales.